ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

ปริญญา

วิศวกรรมชลประทาน	วิศวกรรมชลประทาน
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาสภาพอุทกพลศาสตร์และการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

The Study of Hydrodynamic Conditions and Salinity Intrusion in Thachin River

นามผู้วิจัย นายณัฐวุฒิ อินทบุตร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(อาจารย์วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ, วศ.ด.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาสภาพอุทกพลศาสตร์และการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

The Study of Hydrodynamic Conditions and Salinity Intrusion in Thachin River

โดย

นายณัฐวุฒิ อินทบุตร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณัฐวุฒิ อินทบุตร 2557: การศึกษาสภาพอุทกพลศาสตร์และการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน) สาขาวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ, วศ.ด. 236 หน้า

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล เพื่อใช้เป็นแนวทางบริหารจัดการน้ำในการบรรเทาปัญหาความเดือดร้อนที่เกิดขึ้นจากการรุกล้ำความเค็ม โดยการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนแรกทำการศึกษาสภาพอุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำ และอ่าวไทยตอนบน รวมทั้งการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสม ส่วนที่สองทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำที่แท้จริงซึ่งได้ปรับแก้การทรุดตัวของแผ่นดินที่ปากแม่น้ำแล้ว ส่วนที่สามทำการพยากรณ์การแพร่กระจายการรุกล้ำความเค็มตามความยาวของลำน้ำในแม่น้ำท่าจีน และส่วนที่สี่ทำการศึกษาหามาตรการในการควบคุมความเค็มเพื่อลดผลกระทบจากการรุกล้ำความเค็ม โดยค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในแม่น้ำท่าจีน ในอ่าวไทยตอนบน และสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายความเค็มในแม่น้ำท่าจีนได้จากการปรับเทียบโดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดอัตราการไหล ระดับน้ำ และความเค็มในปี พ.ศ. 2551-2553 ผลที่ได้พบว่าค่าดัชนีทางสถิติระหว่างค่าจากแบบจำลองกับค่าที่ตรวจวัดได้จริงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากนั้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นในบริเวณปากแม่น้ำจะสูงกว่าระดับน้ำทะเลในบริเวณอื่นของอ่าวไทยซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลประมาณปีละ 3.1มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลทั่วโลก โดยบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลประมาณปีละ 19.2 มิลลิเมตร ซึ่งค่าดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดจากผลกระทบของการทรุดตัวของแผ่นดินประมาณ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงจึงคิดเป็นประมาณ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลดังกล่าวจะทำให้ค่าความเค็มรุกล้ำไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้น ผลการพยากรณ์การรุกล้ำของความเค็มในอนาคตของปี พ.ศ. 2558 2563 2568 และ 2573 พบว่าค่าความเค็มจะรุกล้ำเข้าไปเป็นระยะทางสูงสุด 55.5 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำโดยคิดเป็นระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากสภาพปัจจุบัน 3.5 กิโลเมตรตามแนวยาวลำน้ำ การควบคุมความเค็มเพื่อลดผลกระทบดังกล่าวควรใช้มาตรการเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำท่าจีน ผลการวิเคราะห์พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลจะแปรผันโดยตรงกับระยะทางการขับไล่ความเค็มที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของระยะทางการขับไล่ความเค็มไม่ได้เป็นสัดส่วนเดียวกับในทุกๆ ช่วงของการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล โดยอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการขับไล่ความเค็มของแม่น้ำท่าจีนจะอยู่ที่ประมาณ 20-40 ลบ.ม.ต่อวินาที เพราะอัตราการไหลดังกล่าวนี้จะขับไล่ความเค็มให้ออกไปได้ระยะทางไกลกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มอัตราการไหลที่สูงกว่านี้ และอีกประการหนึ่งคือการเพิ่มอัตราการไหลในปริมาณที่มากเกินกว่าความจุลำน้ำอาจก่อให้เกิดปัญหาน้ำล้นตลิ่งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรริมฝั่งแม่น้ำได้

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Nuttawut Intaboot 2014: The Study of Hydrodynamic Conditions and Salinity Intrusion in Thachin River. Doctor of Engineering (Irrigation Engineering), Major Field: Irrigation Engineering, Department of Irrigation Engineering. Thesis Advisor: Mr. Wisuwat Taesombat, D.Eng. 236 pages.

This study aimed to predict the salinity intrusion in the Thachin River due to rising sea level at the mouth of the river in order to setup water management guidelines in alleviating the suffering caused by the intrusion of salinity. The study was divided into four parts: first, a study on hydrodynamic conditions in the river and upper Gulf of Thailand was carried out including model calibration to find out proper parameters. Second, a study on the rise in sea level at the river mouth is determined by taking an adjustment of the effects of land subsidence at the river mouth into the account. Third, a prediction on the longitudinal saltwater intrusion along the Thachin River. Finally, a study on the measures for the control of salinity in order to minimize saltwater intrusion impact. The roughness coefficients along the Thachin River, the upper Gulf of Thailand and the diffusion coefficient were calibrated from the observed flow rate, water level and salinity in the year 2008-2010. The results founded that statistical induces between simulated and observed values were acceptable. The study of sea level change later revealed that the average sea level rise in the estuarine was higher than those in other parts of the Gulf in which the value was approximately 3.1 mm/year and corresponded to the world wide rate of sea level rise. While in the estuarine was around 19.2 mm/year. This high sea level rise was mainly caused by land subsidence of about 14.5 mm/year. Thus, the sea level rises by the sea itself was around 4.7 mm/year. The large rate of the sea level rises would cause salinity to intrude into the river to a longer distance. The predicted salinity intrusion in the year 2015, 2020, 2025 and 2030 indicated that the salinity would intrude as far as 55.5 river km from the estuarine which would be around 3.5 km further upstream along the river than the current intrusion distance. To control the salinity for reducing the impact, the increasing of flow rate in Thachin River was considered as a suitable measure. The results showed that the increasing flow rate is directly proportional to the increasing distance downstream of repel salinity. However, the increasing distance of repel salinity is not the same proportion for every range of the increasing flow rate. The appropriate flow rates for repelling salinity in Thachin River are around 20-40 cms. Because these flow rates will repel salinity to leave more distance downstream comparing with other higher flow rates. In addition, the higher flow rates in excessive amounts of river capacity may cause inundation problems, which will affect the farmers along the river.

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับอาจารย์ ดร.วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษาเสนอแนะแนวทางในการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ปัญญา พลแสน ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณา ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์ ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนด้วยดีตลอดมารวมถึงบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ ขอขอบคุณ กรมชลประทานสามเสน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนแม่กลอง สำนักชลประทานที่ 13 กรมเจ้าท่า โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโพธิ์พระยา และกรมยุทธศาสตร์ทหารเรือ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรวมทั้งให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณ นายสุทธิพงษ์ ฉลวย นางสาวนฤมล นาวายนต์ และนางสาวอรุณทิพย์ แม้นประเสริฐ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณรัฐบาลในนามกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มอบทุนในการศึกษาในระดับปริญญาเอก และขอขอบคุณต้นสังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่มอบโอกาสในการลาศึกษาต่อแบบเต็มเวลาจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

และที่ลืมไปเสียมิได้ ต้องขอกราบขอบพระคุณ นายสมควร อินทบุตร บิดา และนางจันทร์ อินทบุตร มารดา พร้อมกับพี่สาวที่รัก ที่ได้เลี้ยงดูอบรมสั่งสอนและให้กำลังใจมาตลอด พร้อมด้วยนางคณิตตา อินทบุตร ด.ญ.ณัฐทิตา อินทบุตร และด.ญ.ณัฐฐาพร อินทบุตร ครอบครัวที่น่ารักของข้าพเจ้าที่ได้เป็นกำลังใจต่อสู้ และอยู่เคียงข้างเมื่อเกิดปัญหาต่างๆ มาโดยตลอดจนสามารถสำเร็จเป็นดุษฎีบัณฑิตได้

ณัฐวุฒิ อินทบุตร

กรกฎาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	87
อุปกรณ์	87
วิธีการ	87
ผลและวิจารณ์	102
ผลการศึกษา	102
วิจารณ์ผลการศึกษา	138
สรุปและข้อเสนอแนะ	140
สรุป	140
ข้อเสนอแนะ	143
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	145
ภาคผนวก	151
ภาคผนวก ก ระดับน้ำทะเลรายชั่วโมงที่สถานีวัดระดับน้ำสัตหีบ และหัวหิน	152
ภาคผนวก ข รวมบทความที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์นี้	195
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	236

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณน้ำรายปีของแม่น้ำท่าจีนท้ายประตูระบายน้ำต่างๆ	18
2	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องลำน้ำของทางน้ำเปิด	43
3	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย	71
4	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย	74
5	ผลการประเมินประสิทธิผลของการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD	103
6	แสดงการเปรียบเทียบผลของการปรับเทียบแบบจำลองการแพร่กระจาย	111
7	แสดงการเปรียบเทียบผลของการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE21 HD	115
8	การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน	122
9	การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในปากแม่น้ำท่าจีนจากการวิเคราะห์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์	123
10	แสดงตำแหน่งของค่าความเค็มที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในการเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็ม	133

ตารางผนวกที่

ก1	ระดับน้ำทะเลรายชั่วโมงที่สถานีวัดระดับน้ำสัตหีบในปี พ.ศ.2553	153
ก2	ระดับน้ำทะเลรายชั่วโมงที่สถานีวัดระดับน้ำหัวหินในปี พ.ศ.2553	174

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	พื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน	6
2	สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำท่าจีน	7
3	การใช้ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน	13
4	แสดงฝนเฉลี่ยในเขตลุ่มน้ำท่าจีน	15
5	แสดงทิศทางลมมรสุมและลมจรพัดผ่านประเทศไทย	16
6	ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ปตร.พลเทพ ในปีพ.ศ.2554-พ.ศ.2556	20
7	ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ปตร.ท่าโบสถ์ ในปีพ.ศ.2554-พ.ศ.2556	20
8	ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ปตร.สามชุก ในปีพ.ศ.2554-พ.ศ.2556	21
9	ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ลำน้ำกระเสียว ในปีพ.ศ.2554-พ.ศ.2556	22
10	ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ปตร.โพธิ์พระยา ในปีพ.ศ.2554-พ.ศ.2556	22
11	ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำท่าจีน	23
12	โครงข่ายการไหลของน้ำในลุ่มน้ำท่าจีน	24
13	การไหลเวียนของน้ำในอ่าวไทยจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้	25
14	การไหลเวียนของน้ำในอ่าวไทยจากอิทธิพลของลมมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ	26
15	ลักษณะกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนในช่วงมรสุมต่างๆ	27
16	แสดงการแบ่งเขตบริเวณปากแม่น้ำ	31
17	ความหมายของการจำลองการไหลแบบสามมิติ	32
18	การกระจายตัวของความเค็มบริเวณปากแม่น้ำ	33
19	การผสมกันของน้ำจืดและน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำตามระยะทางในแนวดิ่ง	33
20	การผสมกันของน้ำจืดและน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำตามระยะเวลาต่างๆ	34
21	การกระจายตัวของความเร็วการไหลแบบ 3 มิติด้วยแบบจำลอง RMA-10	36
22	หลักการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในโปรแกรม SOBEK โดยวิธี Sacramento	37
23	แสดงผังแนวคิดและกรรมวิธีในการเกิดน้ำฝน-น้ำท่าโดยวิธี Sacramento	37
24	โครงสร้างของ Modules ต่างๆ ในแบบจำลอง MIKE 11 ตลอดจน การเชื่อมโยงแต่ละModule เข้าด้วยกัน	39

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ตำแหน่งที่คำนวณอัตราการไหล และระดับน้ำ	41
26	ช่วงลำน้ำแสดงหน้าตัดที่กำหนดอัตราการไหล	49
27	ประเภทของการสร้าง Bathymetry	56
28	ตัวอย่างของการสร้าง Mesh แบบ 3 มิติ	57
29	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE21 ในต่างประเทศ	59
30	การจำลองสภาพทางกายภาพของระบบแหล่งน้ำด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์	60
31	หลักการของ Ecohydrology	61
32	แผนภาพการจำลองทางด้าน Ecohydrology	62
33	แผนภาพแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานีที่ใช้ในการศึกษาและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล	64
34	แผนภาพแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานีและพื้นที่ในการศึกษา	65
35	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล	66
36	แผนภาพแสดงตำแหน่งของสถานีวัดระดับน้ำสัตหีบ สถานีวัดระดับน้ำเกาะหลัก และสถานีรังวัดจีพีเอส CHON และ BANH	69
37	แผนภาพแสดงการกระจายการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยจากปี 1993-2004 (ซ้าย) และจากปี 1993-2009 (ขวา) จาก Multi-satellite altimetry	70
38	แผนภาพแสดงตำแหน่งของพื้นที่อ่าวไทยตอนบนที่ทำการศึกษา	73
39	กราฟแสดงการแพร่กระจายความเค็มสูงสุดตามแนวแม่น้ำเจ้าพระยา	76
40	กราฟแสดงการแพร่กระจายความเค็มเฉลี่ยตามแนวแม่น้ำเจ้าพระยา	77
41	กราฟแสดงการแพร่กระจายความเค็มสูงสุดตามแนวแม่น้ำแม่กลอง	78
42	กราฟแสดงการแพร่กระจายความเค็มเฉลี่ยตามแนวแม่น้ำแม่กลอง	79
43	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการรุกล้ำความเค็มกับอัตราการไหลในแม่น้ำเจ้าพระยา	80
44	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการรุกล้ำความเค็มกับอัตราการไหลในแม่น้ำแม่กลอง	81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
45	แผนภาพขั้นตอนการศึกษา	88
46	แผนผังสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำ และระดับน้ำของแม่น้ำท่าจีน ตอนล่าง	89
47	ระดับน้ำรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า T1 ในปี 2553	90
48	ระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนช่วงปี พ.ศ. 2553	91
49	แผนผังสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำของแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง	92
50	สภาพภูมิประเทศท้องน้ำของอ่าวไทยตอนบนในแบบจำลอง อุทกพลศาสตร์ (HD Model)	95
51	อัตราการไหลรายวันในแม่น้ำเจ้าพระยาที่ไหลลงอ่าวไทยในปี 2553	96
52	อัตราการไหลรายวันในแม่น้ำแม่กลองที่ไหลลงอ่าวไทยในปี 2553	96
53	อัตราการไหลรายวันในแม่น้ำท่าจีนที่ไหลลงอ่าวไทยในปี 2553	97
54	อัตราการไหลรายวันในแม่น้ำบางปะกงที่ไหลลงอ่าวไทยในปี 2553	97
55	ผลการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ประตูระบายน้ำบางยี่หน (กม.25)	103
56	ผลการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ประตูระบายน้ำพระพิมล (กม.82)	104
57	ผลการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ประตูระบายน้ำมหาสวัสดิ์ (กม.116)	104
58	แสดงขยะหรือวัชพืชที่อยู่ในแม่น้ำ (กม.121)	106
59	แสดงสิ่งปลูกสร้างหรือแพริมน้ำที่รุกล้ำอยู่ในแม่น้ำ (กม.141)	106
60	แสดงการก่อสร้างสะพานที่มีการขวางการไหลในแม่น้ำ (กม.141)	107
61	แสดงความกว้างของแม่น้ำในบริเวณตอนล่างใกล้กับปากแม่น้ำ (กม.200)	107
62	ภาพแนวยาว (longitudinal profile) ของแม่น้ำท่าจีนที่ใช้ในการศึกษา	108
63	ตำแหน่งของสถานีตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง	110
64	ผลการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็มที่สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย Df = 300 m^2/s	111

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
65	ผลการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็มที่สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย Df = 400 m^2/s	112
66	ผลการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็มที่สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย Df = 500 m^2/s	112
67	ผลการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็มที่สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย Df =1000 m^2/s	113
68	ผลการปรับเทียบค่าความขรุขระท้องน้ำ Chezy number (C)=30 $m^{1/2}/s$	115
69	ผลการปรับเทียบค่าความขรุขระท้องน้ำ Chezy number (C)=50 $m^{1/2}/s$	116
70	ผลการปรับเทียบค่าความขรุขระท้องน้ำ Chezy number (C)=70 $m^{1/2}/s$	117
71	ผลการปรับเทียบค่าความขรุขระท้องน้ำ Chezy number (C)=100 $m^{1/2}/s$	118
72	ผลการปรับเทียบค่าความขรุขระท้องน้ำ Chezy number (C)=120 $m^{1/2}/s$	119
73	แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีน ในปี พ.ศ. 2520-2554	120
74	แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สถานีแหลมงอบ ในปี พ.ศ. 2527-2554	121
75	แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สถานีวัดระดับน้ำ ในอ่าวไทยตอนบน	122
76	อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนจากแบบจำลอง	124
77	การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สถานีต่างๆ	126
78	อัตราการทรุดตัวของพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลา กุมภาพันธ์ 1996 – มกราคม 2000	127
79	การเปรียบเทียบการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการพยากรณ์ ในปีต่างๆ (มี.ค.)	129
80	การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2558 (ช่วงเดือน มีนาคม)	130
81	การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2563 (ช่วงเดือน มีนาคม)	131
82	การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2568(ช่วงเดือน มีนาคม)	131

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
83	การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2573 (ช่วงเดือน มีนาคม)	132
84	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2558	134
85	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2563	134
86	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2568	135
87	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2573	135
88	แผนภาพแสดงความจุลำน้ำในแม่น้ำท่าจีน (ในกรณีไม่พิจารณาผลของระดับน้ำทะเล)	136
89	แผนภาพแม่น้ำท่าจีน ก) ความสามารถในการระบายน้ำตามอิทธิพลของระดับน้ำทะเล ข) ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำ	137

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาสภาพอุทกพลศาสตร์และการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

The Study of Hydrodynamic Conditions and Salinity Intrusion in Thachin River

คำนำ

ลุ่มน้ำท่าจีนเป็นลุ่มน้ำที่สำคัญในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลางเป็นอันดับสองรองจากลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีการใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การประมง และการชลประทานอื่นๆ ในลุ่มน้ำมีแม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำสายหลักที่ไหลผ่านลุ่มน้ำดังกล่าว โดยไหลผ่านจังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี นครปฐม ไปลงอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสาคร ในอดีตแม่น้ำท่าจีนนับว่าเป็นลำน้ำสายหนึ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ สามารถหล่อเลี้ยงพื้นที่ทำนา ทำสวน และทำไร่ ในบริเวณสองฝั่งลำน้ำเป็นอย่างดีรวมทั้งเป็นแหล่งอาหาร และเป็นเส้นทางคมนาคมทางน้ำให้ประชาชนได้อาศัยสัญจรไปมา (กรมชลประทาน, 2541)

ปัญหาความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำและการรุกล้ำของน้ำเค็มในแม่น้ำท่าจีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณตอนล่างของแม่น้ำก่อนที่ระบายออกสู่อ่าวไทยเป็นปัญหาที่นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น เพราะมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้ประโยชน์ของลำน้ำและระบบนิเวศ โดยจะเริ่มมีปัญหาตั้งแต่พื้นที่ชายทะเลขึ้นไป ปัญหาแรกคือการขาดแคลนน้ำจืดเพื่อใช้ทำการเกษตรในฤดูแล้งโดยมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร ปัญหาต่อมาก็คือการรุกล้ำของน้ำเค็มเข้าไปตามลำน้ำท่าจีน มีระยะทางยาวขึ้น ซึ่งแต่เดิมเคยมีปัญหาน้ำเค็มในเฉพาะเขต อ.เมือง จ.สมุทรสาคร แต่ในปัจจุบันความเค็มก็ได้เคลื่อนตัวขึ้นไปถึงเขต อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม แล้ว ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายแก่พื้นที่การเกษตรบริเวณสองฝั่งของลำน้ำ (กรมชลประทาน, 2541) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมกราคมถึงพฤษภาคมจะเกิดการลุกล้ำของน้ำเค็มเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการขาดแลนน้ำจืดในการผลักดันน้ำเค็ม

นอกจากการขาดแคลนน้ำจืดในช่วงฤดูแล้งแล้วปัญหาของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่เกิดจากปัญหาสภาวะเรือนกระจก จากการพยากรณ์ของนักวิทยาศาสตร์นับวันยิ่งมีความรุนแรงมากขึ้น ซึ่งผลกระทบดังกล่าวได้เกิดขึ้นแล้ว และที่กำลังจะตามมาโดยมีหลากหลายและระดับความรุนแรงที่แตกต่างกัน แล้วแต่สถานภาพของทรัพยากรและตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละประเทศซึ่งจะต้องรับผลกระทบจากการสูงขึ้นของน้ำทะเล เมื่อภูเขาน้ำแข็งขั้วโลกละลาย และน้ำทะเลพองตัวขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยปัญหาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลนี้ยังส่งผลกระทบต่อการรุกล้ำของน้ำเค็มในแม่น้ำท่าจีนอีกด้วย

จากปัญหาดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงสภาพทางอุทกพลศาสตร์และการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน ซึ่งมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก และเพื่อเป็นการตรวจสอบถึงสถานภาพในอนาคตเพื่อใช้เป็นแนวทางในการหามาตรการต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว และประกอบกับในปัจจุบันการพัฒนาระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความก้าวหน้าไปมากจึงช่วยอำนวยความสะดวกในการจำลองแบบระบบทางด้านอุทกวิทยา อุทกพลศาสตร์ และคุณภาพน้ำ ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการคาดการณ์พฤติกรรมของระบบที่ศึกษา ซึ่งสร้างขึ้นโดยอาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์แทนกรรมวิธีและกลไกของระบบต้นแบบ เชื่อมโยงความสัมพันธ์เข้าด้วยกันเป็นระบบ จากความคล้ายคลึงกันของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับระบบจริงที่ได้มาจากการเปรียบเทียบพฤติกรรมของตัวแปรที่กำหนดทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพจุดเด่นของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือนอกจากการใช้จัดการปัญหาที่ยุ่งยากและซับซ้อนของระบบแล้วยังสามารถใช้แบบจำ ลองมาทดลองปรับปรุงแก้ไขระบบหรือจัดการกับปัญหาที่ไม่สามารถดำเนินการทดลองกับระบบจริงได้ แล้วตรวจสอบผลที่ได้จากการดำเนินการ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบจริง ทำให้สามารถช่วยในการตัดสินใจและวางแผนการจัดการระบบจริงได้ดียิ่งขึ้น และที่สำคัญคือเสียค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก โดยแบบจำลองที่นิยมใช้จะจำลองการไหลของน้ำได้ทั้งในลักษณะหนึ่งมิติ (1- Dimension Flow Model) และสองมิติ (2-Dimension Flow Model) ซึ่งมีความเหมาะสมในการศึกษาการไหลของน้ำบริเวณปากแม่น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนที่ส่งผลกระทบต่อแม่น้ำท่าจีน ทั้งในอดีต ปัจจุบันและอนาคต

2. เพื่อศึกษาถึงการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนทั้งในปัจจุบันและอนาคต ที่ได้รับอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน

3. เพื่อศึกษาหาวิธีการป้องกันการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการปัญหาดังกล่าวในอนาคต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา คือ บริเวณแม่น้ำท่าจีน ตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตร

2. ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำ (River Cross Section) ในแม่น้ำและบริเวณปากแม่น้ำและข้อมูลสภาพภูมิประเทศใต้ท้องทะเล (Bathymetry) ซึ่งใช้ในการจัดทำแบบจำลองด้านอุทกพลศาสตร์ ได้จากการรวบรวมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยแต่ละจุดที่สำรวจจะเป็นข้อมูลในลักษณะของ text file ที่มีค่าระดับอ้างอิงจากระดับน้ำทะเล หรือเรียกว่า ม.รทก. ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้กันในประเทศไทย

3. ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MIKE 11-1D (HD/AD) และ MIKE 21-2D ในการจัดทำแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ 1 มิติ กับ 2 มิติ ในการจำลองการไหลของน้ำ และการรุกล้ำความเค็มในพื้นที่ศึกษา

4. ศึกษาการรุกล้ำความเค็มของแม่น้ำท่าจีน ในสภาพปัจจุบัน (พ.ศ. 2553) และพยากรณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอนาคตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล ในปีพ.ศ. 2558 พ.ศ. 2563 พ.ศ. 2568 และ พ.ศ.2573 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำท่าจีน

ในการศึกษาถึงสภาพทางอุทกวิทยา-อุทกพลศาสตร์ของพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนนั้น เป็นการศึกษาถึงลักษณะการไหล 2 มิติของบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น ลักษณะทางกายภาพของปากแม่น้ำ ลักษณะนิเวศวิทยาบริเวณปากแม่น้ำ และลักษณะนิเวศบริเวณชายฝั่งเช่นระดับน้ำทะเล ความเค็มของน้ำทะเล เป็นต้น ซึ่งการศึกษาพิจารณาลักษณะทางนิเวศอุทกวิทยาจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับการจัดการลุ่มน้ำ (River Basin Management) โดยจะมีความเชื่อมโยงกันระหว่างสภาพทางชีววิทยา และสภาพทางกายภาพ (Wolanski, 2007) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะต่างๆดังต่อไปนี้

1.1 ลักษณะและสภาพทั่วไป

1.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

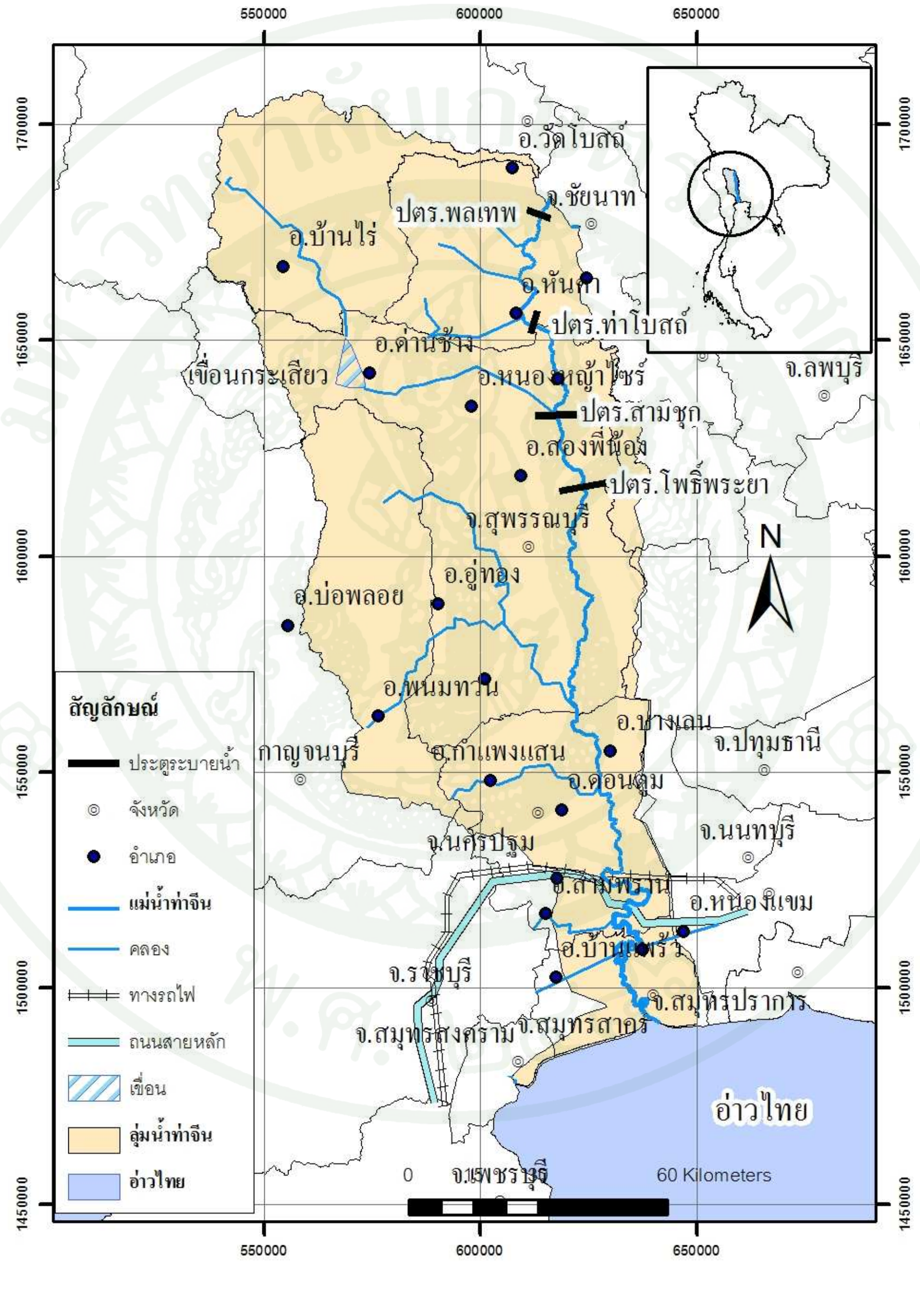
ลุ่มน้ำท่าจีนมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 13,588.97 ตารางกิโลเมตร หรือ 8,493,106 ไร่ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยลุ่มน้ำท่าจีนมีแม่น้ำสายหลักคือแม่น้ำท่าจีนไหลผ่านแยกมาจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท ไหลผ่านจังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี นครปฐมและไหลออกสู่อ่าวไทยที่ตำบลบางหญ้าแพรก อำเภอเมือง สมุทรสาคร มีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 325 กิโลเมตรและมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามพื้นที่ที่แม่น้ำไหลผ่าน ถ้าไหลผ่านจังหวัดชัยนาทเรียกว่าแม่น้ำมะขามเฒ่า ไหลผ่านจังหวัดสุพรรณบุรีเรียกว่าแม่น้ำสุพรรณบุรี ไหลผ่านจังหวัดนครปฐมเรียกว่าแม่น้ำนครชัยศรีและไหลผ่านจังหวัดสมุทรสาครเรียกว่าแม่น้ำท่าจีน (บัญชา, 2554)

1.1.2 สภาพภูมิประเทศ

สภาพทั่วไปของลุ่มน้ำท่าจีน เป็นที่ราบลุ่มริมแม่น้ำซึ่งเป็นที่ราบเดียวกันกับที่ราบลุ่มน้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันตกดังภาพที่ 2 ตอนบนของลุ่มน้ำเป็นที่เชิงเขาแต่มีระดับไม่สูงมากนัก ส่วนตอนกลางและตอนล่างเป็นที่ราบลุ่มติดต่อกับที่ราบลุ่มของลุ่มน้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีนแยกออกมาทางฝั่งขวาของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ตำบลมะขามเฒ่า อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท ไหลผ่าน

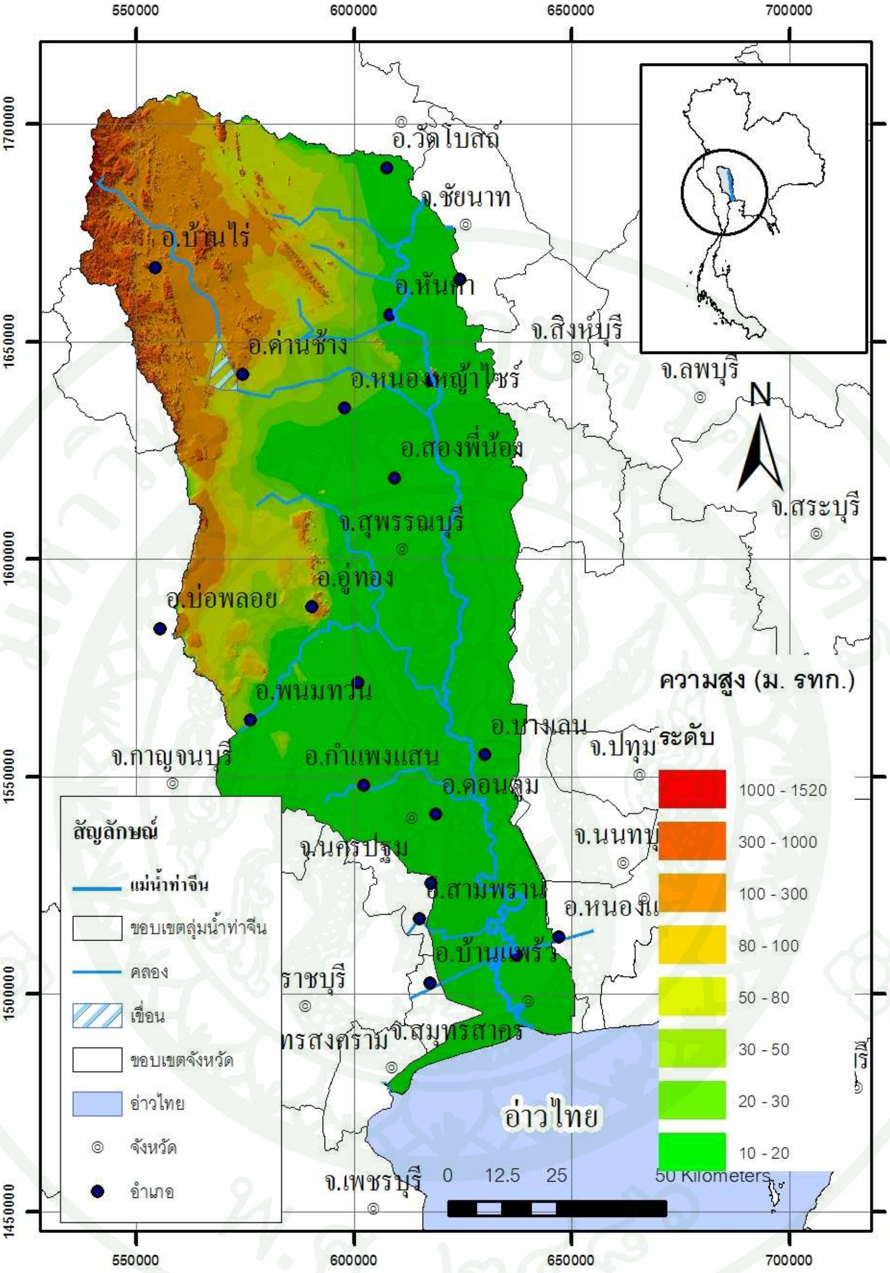
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จังหวัดสุพรรณบุรีนครปฐม และออกสู่อ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสาคร แม่น้ำท่าจีนมีชื่อเรียกต่างๆ กันตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปากแม่น้ำ คือ คลองมะขามเฒ่า แม่น้ำสุพรรณบุรี แม่น้ำนครชัยศรี และแม่น้ำท่าจีน



ภาพที่ 1 พื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 สภาพภูมิประเทศลุ่มน้ำท่าจีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แม่น้ำท่าจีนมีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 325 กิโลเมตร มีความลาดเอียงของพื้นท้องน้ำเปรียบเทียบกับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง แบ่งได้ 2 ระยะ ตามรายงานของกองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2535) คือ

ระยะที่ 1 จากต้นน้ำถึงบริเวณเหนือตลาดอำเภอเมืองสุพรรณบุรี (กิโลเมตรที่ 194) มีความลาดเอียงสูงจากระดับ 11.6 เมตร จนเหลือ 0 เมตร

ระยะที่ 2 จากบริเวณเหนือตลาดอำเภอเมืองสุพรรณบุรี (กิโลเมตรที่ 194) ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ มีระดับความลาดเอียงลดลงจาก 0 เมตรจนถึง –13 เมตร จากระดับน้ำทะเล

ความกว้างของแม่น้ำท่าจีนจะเพิ่มตามระยะทาง ตามหลักของการเพิ่มขึ้นของของความกว้างของแม่น้ำ โดยจะมีความกว้างน้อยที่สุดบริเวณต้นน้ำ และกว้างมากขึ้นในช่วงปลายแม่น้ำ

1.1.2 การขึ้นลง และความเค็ม ของน้ำในแม่น้ำท่าจีน

แม่น้ำท่าจีนไหลลงสู่อ่าวไทย จึงได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล (Tidal effect) มีการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลในแต่ละวัน โดยน้ำทะเลขึ้นสูงสุดที่บริเวณเหนือตลาดอำเภอเมืองสุพรรณบุรี แต่ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณน้ำจืดที่ระบายลงมาผลักดัน ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำทะเลที่ขึ้นเต็มที่กับระดับน้ำทะเลที่ลงเต็มที่ ตลอดจนความลึกของแม่น้ำเป็นต้น (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2535)

จากการศึกษาการแปรผันความเค็มของแม่น้ำท่าจีน พบว่าบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนถึงอำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร มีความเค็มเฉลี่ยมากกว่า 2 ส่วนในพัน โดยมีการควบคุมความเค็มของน้ำในฤดูแล้งด้วยการระบายน้ำจากโครงการแม่น้ำแม่กลองมาช่วยโดยผ่านทางคลองจระเข้สามพันและคลองท่าสาร-บางปลา (กรมชลประทาน, 2541ก) เพื่อมิให้ความเค็มของน้ำรุกล้ำเกินบริเวณอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 สภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของแม่น้ำท่าจีน

1.2.1 สภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลภูมิอากาศรวบรวมโดยกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด ต่ำสุด และเป็นค่าเฉลี่ยระยะยาว พ.ศ. 2524-2553 (30 ปี) ซึ่งสถานีตรวจวัดภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำ คือ ที่อำเภอเมืองนครสวรรค์ และอำเภอเมืองสุพรรณบุรี สรุปสภาพภูมิอากาศของแม่น้ำท่าจีน ได้ดังนี้

1.2.1.1 ฤดูกาล

ฤดูฝน จะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม จนถึงเดือนตุลาคมเนื่องจาก ได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีลักษณะเป็นลมร้อน มีความชื้นสูง เพราะมีแหล่งกำเนิด จากมหาสมุทรอินเดีย เมื่อพัดผ่านพื้นดินจึงทำให้มีเมฆมากและเกิดฝนตกในระยะนี้อาจจะมีพายุ หมุนเขตร้อน เคลื่อนตัวเข้าสู่ประเทศไทย และมีอิทธิพลทำให้ฝนตกชุกโดยปกติจะมีฝนตกชุกมาก ในช่วงเดือนกันยายน

ฤดูหนาว จะเริ่มตั้งแต่ประมาณต้นเดือนพฤศจิกายนจนถึงกลางเดือน กุมภาพันธ์ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีลักษณะเป็นลมหนาว อากาศแห้ง เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดจากประเทศจีน ในช่วงนี้ท้องฟ้าโปร่งเป็นส่วนมาก มีฝนตกน้อย และเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำสุดของปี

ฤดูร้อน จะเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์จนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ในระยะนี้โดยทั่วไปจะมีอากาศร้อน ความชื้นในอากาศต่ำ ฝนตกน้อย และมีอุณหภูมิสูงสุด ประมาณเดือนเมษายน

1.2.1.2 ภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของลุ่มน้ำท่าจีนจะร้อนมากในฤดูร้อนแต่ไม่หนาวเย็น จัดในฤดูหนาว และจะระเหยมากที่สุด ในระหว่างเดือนมีนาคมถึงเมษายน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.2 อุทกวิทยา

แม่น้ำท่าจีนประกอบด้วยประตูระบายน้ำ 4 ประตู คือ ประตูระบายน้ำพลเทพ ที่อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท ประตูระบายน้ำท่าโบสถ์ อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท ประตูระบายน้ำชลมารค์วิจารณ์ อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งทำหน้าที่กักเก็บน้ำเพื่อการระบายน้ำเข้าระบบชลประทานแก่พื้นที่การเกษตรในจังหวัดชัยนาทและสุพรรณบุรีในฤดูแล้ง ส่วนในฤดูฝนจะมีการระบายน้ำออกสู่แม่น้ำท่าจีน ตั้งแต่ใต้ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาลงมาในตอนกลางของแม่น้ำท่าจีนมีคลองเชื่อมต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำแม่กลองทั้งหมด 36 คลอง ทำให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำท่าจีนขึ้นกับการใช้น้ำชลประทาน และการเปิดปิดของประตูระบายน้ำที่กั้นคลองต่างๆ ไว้ นอกจากนี้แม่น้ำท่าจีนในตอนล่างยังมีโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองมีความลาดเอียงสูงกว่าพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน จึงสามารถส่งน้ำจากแม่น้ำแม่กลองสู่แม่น้ำท่าจีนได้

1.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ลุ่มน้ำท่าจีนครอบคลุมพื้นที่ 13,681 ตารางกิโลเมตร สามารถแบ่งการใช้ที่ดินตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ดังนี้ (กรมชลประทาน, 2541 ข)

1.3.1 พื้นที่การเกษตร

ส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณที่ราบสองฝั่งของแม่น้ำ คิดเป็นร้อยละ 76 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยประกอบกิจกรรมด้านการเกษตร แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือการทำนาข้าว การเพาะปลูกพืชไร่พืชสวน และการเลี้ยงสัตว์

การทำนาข้าวส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณสองฝั่งแม่น้ำท่าจีน เป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของแม่น้ำ โดยมีการใช้พื้นที่การทำนาปี และทำนาปรัง โดยพื้นที่ปลูกข้าวแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ นาข้าวที่ได้รับน้ำชลประทาน และนาน้ำฝน โดยอาจมีบางพื้นที่ที่ปลูกข้าวสลับกับพืชชนิดอื่นๆ มีรายละเอียดดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่นาน้ำฝน หรือพื้นที่ปลูกข้าวที่อยู่นอกเขตส่งน้ำชลประทาน มีเนื้อที่ทั้งหมด 192.1 ตารางกิโลเมตร เกือบทั้งหมดอยู่ในเขตจังหวัดสมุทรสาคร และฝั่งตะวันตกของแม่น้ำท่าจีน แถบอำเภอสองพี่น้องและอำเภอบางเลน การทำนามีทั้งนาหว่านและนาดำ โดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก หรือได้รับน้ำจากคลองน้ำธรรมชาติ โดยไม่มีการส่งน้ำจากชลประทาน มีบางพื้นที่ที่มีการใช้ที่ดินในการทำนาสลับกับการปลูกไม้ผล

พื้นที่นาในเขตชลประทานมีเนื้อที่ทั้งหมด 1,654 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเป็นหน่วยการใช้ที่ดินที่ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด พื้นที่ทำนาในเขตชลประทานพบมากทางฝั่งตะวันออกของแม่น้ำท่าจีน ตั้งแต่บริเวณจังหวัดสุพรรณบุรีลงมา ส่วนฝั่งตะวันตกพบปรากฏตั้งแต่อำเภอดอนตูมลงมาจนถึงอำเภอนครชัยศรีและทางตอนใต้ของจังหวัดนครปฐม ส่วนในจังหวัดสมุทรสาครมีพื้นที่นาชลประทานทางตอนบนของจังหวัด พื้นที่ทำนาในเขตชลประทานสลับกับการปลูกไม้ผลมีเนื้อที่ 148.4 ตารางกิโลเมตร พบบริเวณอำเภอนครชัยศรี

1.3.1.1 การเพาะปลูกพืชไร่พืชสวน

จะใช้พื้นที่บริเวณที่ราบเชิงเขาด้านทิศตะวันตกของแม่น้ำ และพื้นที่ที่ให้ผลผลิตข้าวต่ำ มีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 676.6 ตารางกิโลเมตร โดยแบ่งเป็นผลไม้ทั่วไป เช่น มะม่วง ชมพู่ ส้มโอ กระท้อน มะพร้าวน้ำหอม เป็นต้น พบปลูกหนาแน่นในจังหวัดนครปฐม บริเวณอำเภอสามพราน อำเภอเมือง อำเภอกำแพงแสน และอำเภอดอนตูมลักษณะการปลูกเป็นการปลูกไม้ผลหลายชนิดในแปลงเดียวกัน มีบางพื้นที่ที่มีการปลูกไม้ผลร่วมกับการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดอื่นๆ เช่น ไม้ผล-พืชสวนผสม ไม้ผล-หมู่บ้าน ไม้ผล-สวนองุ่น เป็นต้น

พื้นที่ปลูกมะพร้าว มีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 112.8 ตารางกิโลเมตร ส่วนใหญ่อยู่ทางตอนใต้ของลุ่มน้ำในเขตจังหวัดสมุทรสาคร ในพื้นที่ปลูกมะพร้าว มักมีการใช้ที่ดินประเภทอื่นร่วมอยู่ด้วย เช่น มะพร้าว -นาน้ำฝน มะพร้าว-สวนผลไม้ มะพร้าว-ป่าชายเลน

พื้นที่ปลูกพืชผักมีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 42.8 ตารางกิโลเมตร พบมากบริเวณจังหวัดนครปฐม และสมุทรสาคร ชนิดของผักที่ปลูก ได้แก่ ผักกินใบชนิดต่างๆ องุ่น และไม้ดอกไม้ประดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3.1.2 การเลี้ยงสัตว์

ประกอบด้วยการปศุสัตว์ ได้แก่ โค กระบือ สุกร เป็ด และไก่ พบกระจายทั่วไป โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ164.5 ตารางกิโลเมตร โดยเป็นนากุ้งมากกว่าบ่อปลา การกระจายตัวของพื้นที่บ่อปลา และนากุ้ง พบอยู่ทั่วไปบริเวณที่มีน้ำคุณภาพดี แต่จะพบหนาแน่นในจังหวัดสมุทรสาคร (กรมชลประทาน, 2541 ข)

ส่วนพื้นที่เลี้ยงสัตว์ปีกและสุกร มีเนื้อที่ประมาณ 1.5 ตารางกิโลเมตร มีมากบริเวณจังหวัดนครปฐม (กรมชลประทาน, 2541 ข)

1.3.2 พื้นที่เขตชุมชน

โดยมีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 8.33 เช่นเขตเทศบาลเมืองจังหวัดสุพรรณบุรี เทศบาลเมืองสมุทรสาคร โดยมีแนวโน้มการขยายตัวของพื้นที่มากขึ้น ทั้งในระดับเทศบาลเมือง เทศบาลตำบล ตลอดลำน้ำท่าจีน

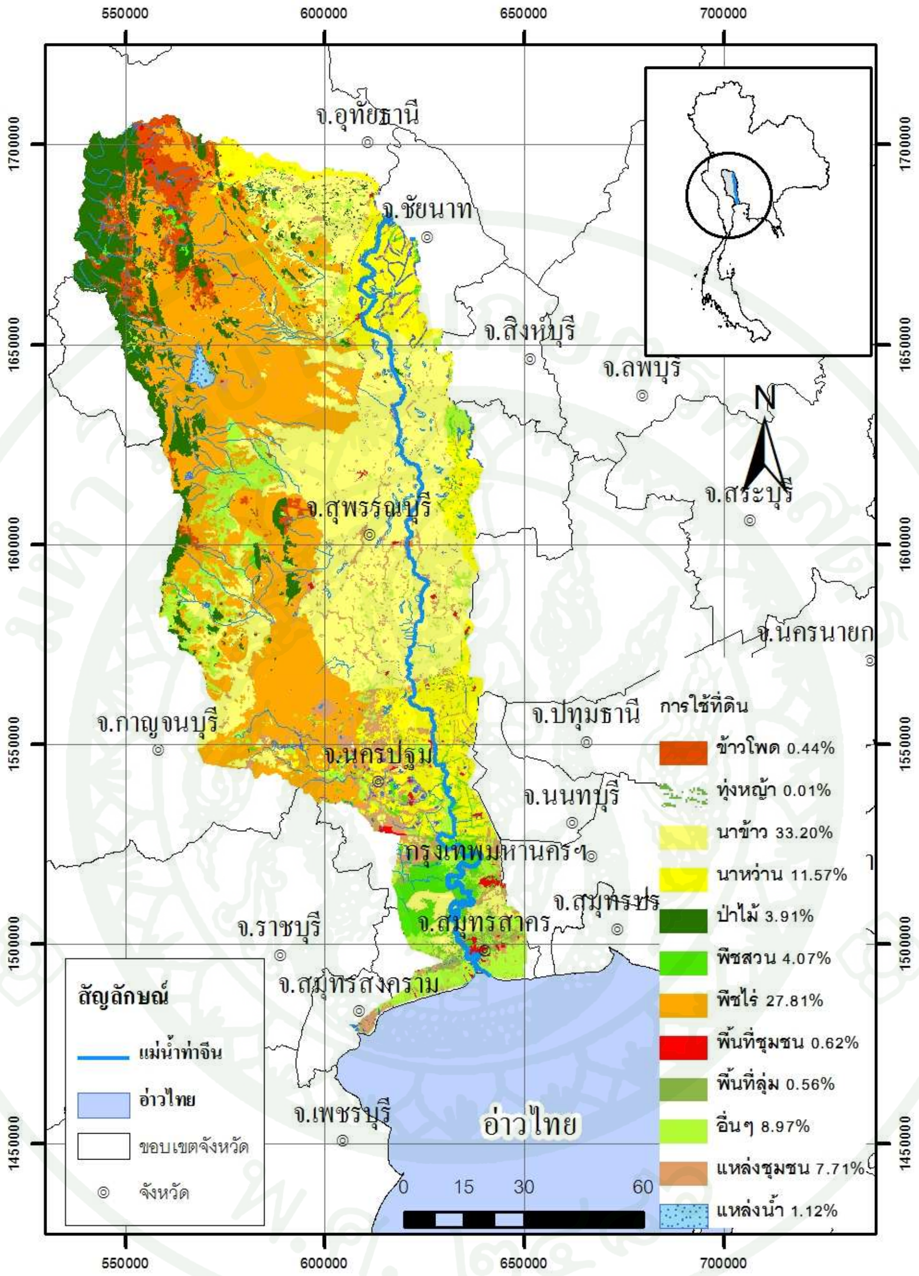
หมู่บ้านริมน้ำ มีเนื้อที่ประมาณ 133.5 ตารางกิโลเมตร กระจายตัวอยู่ทั่วไปตามเส้นทางสัญจรและริมแม่น้ำ ซึ่งไม่รวมหมู่บ้านที่อยู่ในสวนไม้ผล (กรมชลประทาน, 2541 ข)

ตัวเมืองและย่านธุรกิจ มีเนื้อที่ 31.4 ตารางกิโลเมตร ได้แก่ บริเวณที่ตั้งจังหวัด อำเภอต่างๆ (กรมชลประทาน, 2541 ข)

1.3.3 พื้นที่เขตอุตสาหกรรม

มีเนื้อที่ประมาณ 6.16 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.1 ของลุ่มน้ำ ตั้งอยู่หนาแน่นเรียงรายอยู่สองฝั่งแม่น้ำท่าจีนบริเวณตั้งแต่อำเภอสามพรานลงไปอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ไม่หนาแน่น และเป็นอุตสาหกรรมด้านอาหารเช่น โรงงานน้ำตาลในเขตจังหวัดสุพรรณบุรีและนครปฐม ส่วนพื้นที่ตอนล่างของแม่น้ำโดยเฉพาะในเขตจังหวัดสมุทรสาครประกอบด้วยโรงงานขนาดใหญ่จำนวนมาก ได้แก่ โรงฟอกย้อมกระดาษ อาหาร และเคมีภัณฑ์ เป็นต้น มีการก่อมลพิษทางน้ำสูง (กรมชลประทาน, 2541 ข)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 การใช้ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ปริมาณน้ำฝน น้ำท่าในลุ่มน้ำท่าจีน

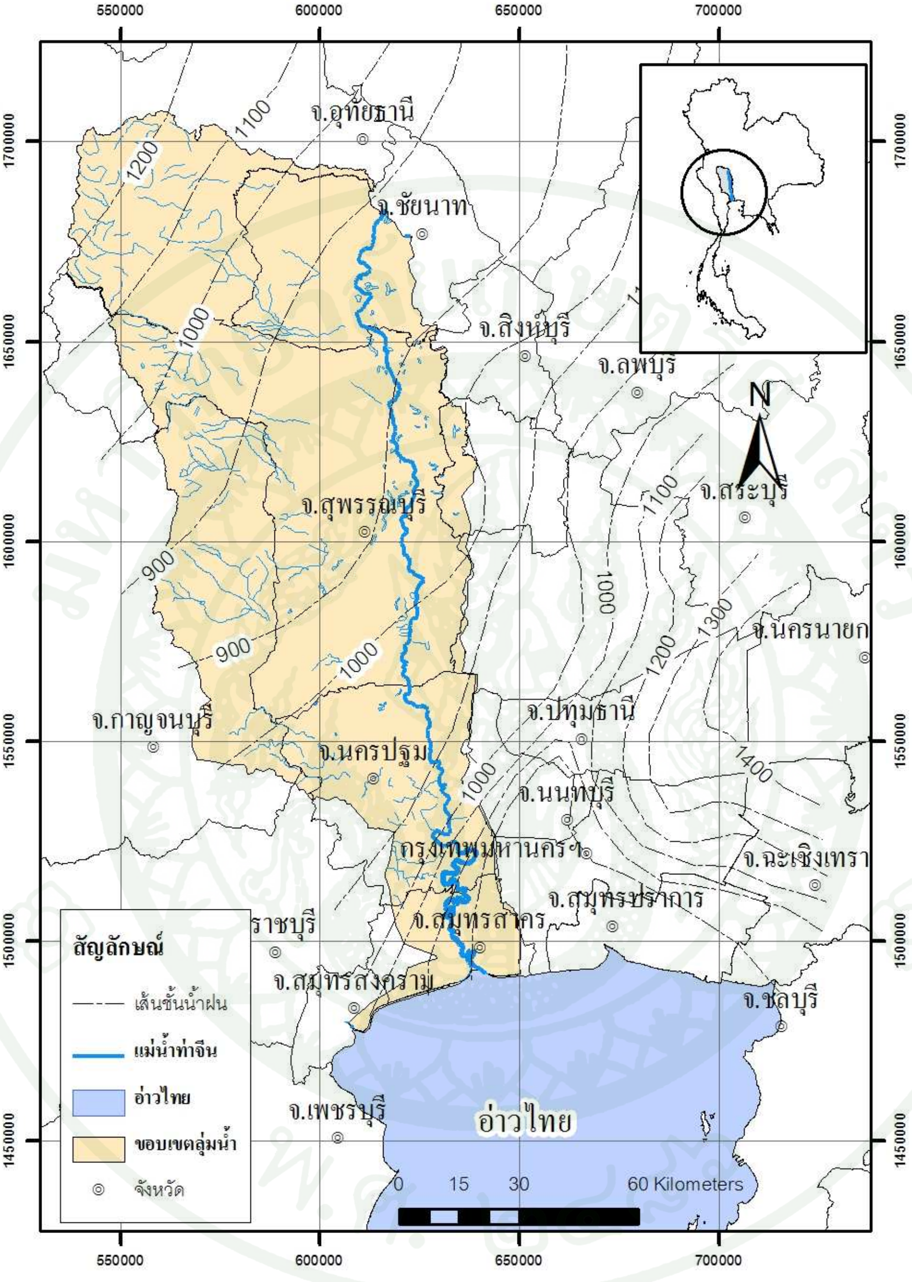
1.4.1 ปริมาณน้ำฝน

แม่น้ำท่าจีนตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 13°– 30’ และ 15°– 30’ เหนือ กับเส้นแวงที่ 99°– 15’ และ100°– 30’ ตะวันออก อยู่ใกล้บริเวณเส้นศูนย์สูตรในซีกโลกเหนือ จึงมีลักษณะอากาศประเภทเขตร้อน มีความกดอากาศโดยเฉลี่ยประมาณ 1,009 มิลลิบาร์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประมาณ 72.3% อัตราการระเหยเฉลี่ยประมาณ 1,870 มม.ต่อปี ปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปี 1,136.7 มม.ต่อปี จำนวนวันที่ฝนตกประมาณ 102 วันต่อปี ปริมาณฝนทางด้านตะวันตกของลุ่มน้ำ น้อยกว่าตะวันออก เพราะอยู่หลังสันเขาสูงของลุ่มน้ำแม่กลอง และปริมาณฝนทางส่วนล่างของลุ่มน้ำ ทางด้านที่อยู่ติดทะเลจะมีปริมาณฝนสูงกว่าทางส่วนบนของลุ่มน้ำ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4

สำหรับแม่น้ำท่าจีนมีโอกาสได้รับอิทธิพลจากฝนซึ่งมีแหล่งกำเนิดทั้งจากมหาสมุทรอินเดีย และจากทะเลจีนใต้ อิทธิพลของฝนที่มีแหล่งกำเนิดในมหาสมุทรอินเดียคือฝนเนื่องจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีอิทธิพลครอบคลุมประเทศไทยทั่วประเทศ และเป็นแหล่งฝนหลักประจำปีของประเทศไทยด้วย นอกจากนี้ในช่วงเวลาเดียวกันอาจได้รับฝน เนื่องจากอิทธิพลของลมจรจากทะเลจีนใต้ในรูปของพายุโซนร้อน ดีเปรสชัน หรือ พายุใต้ฝุ่น ซึ่งตามปกติปริมาณฝนเนื่องจากอิทธิพลของภายุจากทะเลจีนใต้จะมีปริมาณ 35-40 % ของฝนรวมทั้งปี ปีใดที่ประเทศไทยได้รับอิทธิพลของฝนจากทะเลจีนใต้มาก ปริมาณฝนรวมทั้งประเทศก็มากหรือเรียกว่ามีฝนตกชุก แต่ปีใดได้รับฝนจาก อิทธิพลของพายุจากทะเลจีนใต้น้อยปีนั้นก็จะมีฝนแล้ง

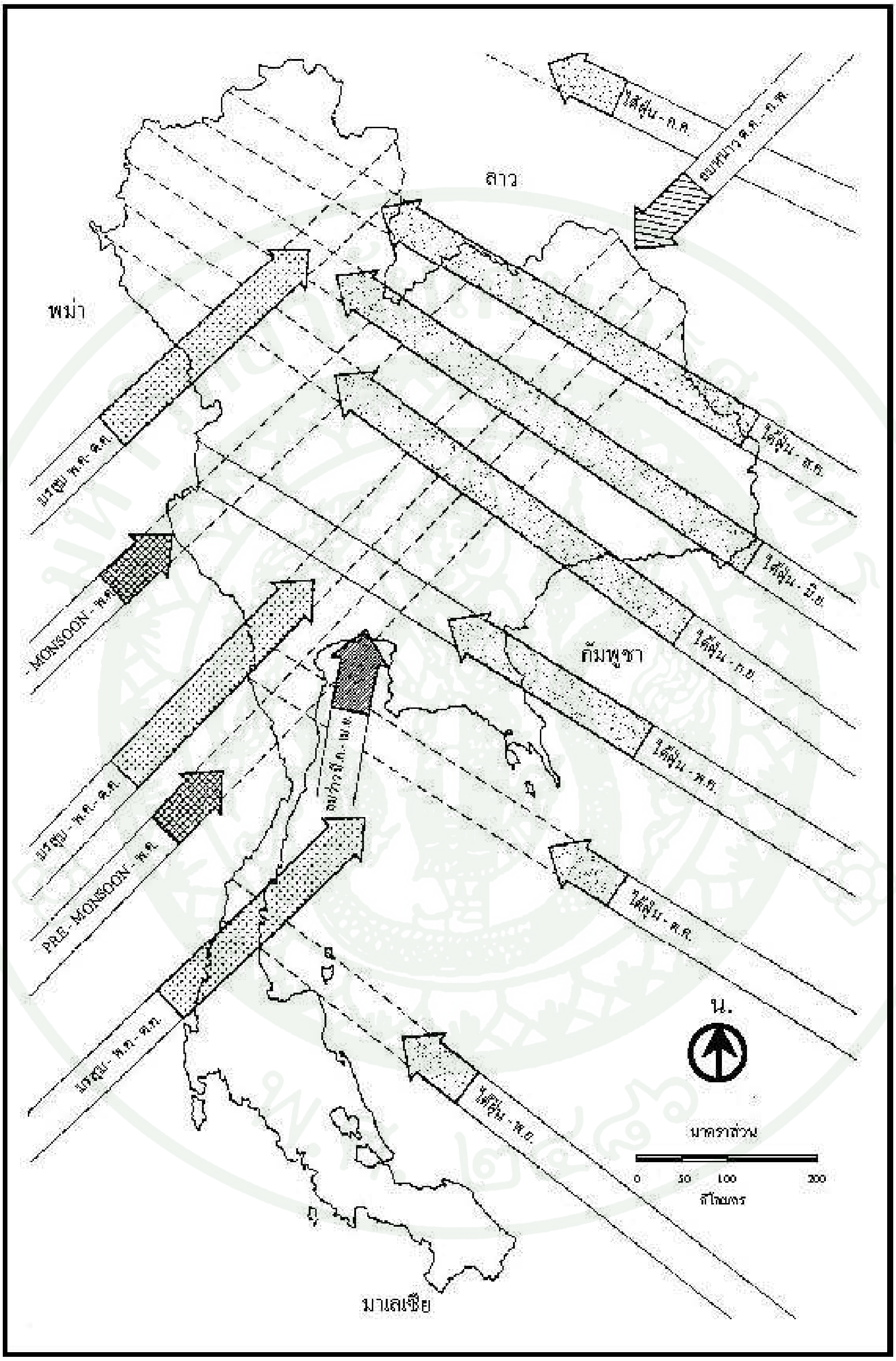
นอกจากฝนเนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมจรจากทะเลจีนใต้ดังกล่าวแล้วประเทศไทยบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกยังได้รับฝนเสริมจากฝนเนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดอยู่ในประเทศมองโกเลีย จะพัดพาอากาศหนาวเย็นมาปกคลุมประเทศไทย เมื่อลมนี้พัดผ่านอ่าวไทยจะพัดพาเมฆฝนไปตกบริเวณจังหวัดชายทะเลทางภาคตะวันออกของอ่าวไทย สำหรับฝนเนื่องจากอิทธิพลของลมอื่น เช่นลมก่อนลมมรสุม และลมว่าว ซึ่งมีอิทธิพลไม่ครอบคลุมลุ่มน้ำท่าจีนจึงไม่กล่าวถึงในที่นี้ ซึ่งแสดงทิศทางลมมรสุมและลมจรดังภาพที่ 5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 แสดงฝนเฉลี่ยในเขตลุ่มน้ำท่าจีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 แสดงทิศทางลมมรสุมและลมจรพัดผ่านประเทศไทย

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (ม.ป.ป.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4.2 ปริมาณน้ำท่า

เนื่องจากปริมาณน้ำท่า ที่ไหลอยู่ในแม่น้ำท่าจีนนั้น ได้ถูกควบคุมโดยประตูบังคับน้ำตั้งแต่ต้นแม่น้ำมาโดยตลอด โดยจะมีประตูระบายพลเทพ เป็นอาคารบังคับน้ำที่จะกำหนดค่าปริมาณน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาให้ไหลเข้าสู่แม่น้ำท่าจีนตามจำนวนที่ต้องการ นอกจากนั้นในช่วงถัดมาก็ยังมีประตูบังคับน้ำอีก 3 แห่ง คือ ประตูระบายน้ำท่าโบสถ์ ประตูระบายสามชุก และประตูระบายโพธิ์พระยา สำหรับลำน้ำสาขาขนาดใหญ่ที่มีปริมาณน้ำไหลลงสู่แม่น้ำท่าจีนค่อนข้างมากแห่งหนึ่ง คือห้วยกระเสียว ซึ่งแต่เดิมมีภาวะเป็นลุ่มน้ำสาขา ของแม่น้ำท่าจีนและเป็นต้นกำเนิดของน้ำป่า ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอุทกภัยของแม่น้ำท่าจีน ปัจจุบันได้มีการสร้างอ่างเก็บน้ำกระเสียวขึ้นทางตอนบนของลุ่มน้ำกระเสียวทำให้จำนวนน้ำป่าที่จะเป็นต้นเหตุการณ์เกิดอุทกภัยลดน้อยไปเป็นอย่างมาก สถิติข้อมูลปริมาณน้ำที่ผันน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาผ่านประตูระบายน้ำของแม่น้ำท่าจีนทั้งสี่แห่ง ตลอดช่วงเวลา 42 ปี (ตั้งแต่ พ.ศ.2515 ถึง พ.ศ.2556) แสดงเป็นค่าของปริมาณน้ำรายปีดังตารางที่ 1

เมื่อพิจารณาข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนในปัจจุบัน (ปี พ.ศ.2554-พ.ศ.2556) พบว่า ปริมาณน้ำไหลเข้าแม่น้ำท่าจีนผ่าน ปตร.พลเทพ มีปริมาณใกล้เคียงกันในแต่ละเดือน ประมาณเฉลี่ย 4 ล้าน ลบ.ม. โดยในช่วงฝนมีปริมาณสูงกว่าช่วงแล้งเล็กน้อย เมื่อพิจารณา ปตร.ในลำดับถัดมา พบว่าปริมาณจะลดลงเป็นลำดับ ยกเว้นในช่วงเดือน กันยายน และตุลาคม ปริมาณน้ำที่ผ่าน ปตร.ต่างๆ จะมีปริมาณมากเพราะได้รับน้ำเพิ่มเติมจากคลองระบาย และจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ ปตร.โพธิ์พระยา ซึ่งเป็นประตูระบายน้ำตัวสุดท้ายที่ควบคุมอัตราการไหลในแม่น้ำท่าจีน พบว่าในช่วงฤดูแล้ง (ม.ค. ถึง มิ.ย.) ปริมาณน้ำในแม่น้ำท่าจีนมีปริมาณน้อยมาก เพราะเนื่องจากน้ำต้นทุนที่แม่น้ำเจ้าพระยามีปริมาณน้อย ทำให้ปริมาณน้ำโดยรวมที่ไหล ปตร.พลเทพ มีจำนวนน้อย ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำในแม่น้ำท่าจีน เพราะในช่วงดังกล่าวส่งผลให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำท่าจีนลดต่ำลง เกิดการขาดแคลนน้ำจืด และประสบปัญหาการรุกล้ำความเค็ม ในช่วงเวลาดังกล่าวด้วย โดยปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ปตร.ต่างๆ ในแม่น้ำท่าจีนดังแสดงในภาพที่ 6 -10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำรายปีของแม่น้ำท่าจีนท้ายประตูระบายน้ำต่างๆ (หน่วย- ล้านลูกบาศก์เมตร)

พ.ศ.	ประตูระบายบังคับน้ำ			
	พลเทพ	ท่าโบสถ์	สามชุก	โพธิ์พระยา
2515	1,986	1,482	1,297	1,326
2516	2,916	2,803	2,158	1,639
2517	2,131	1,989	1,659	1,527
2518	2,843	2,611	2,174	1,766
2519	2,880	2,671	2,167	1,754
2520	3,448	3,266	2,476	1,416
2521	3,110	2,840	2,453	1,785
2522	3,110	2,915	2,476	1,282
2523	2,204	2,155	2,007	1,443
2524	2,664	2,538	2,378	1,612
2525	3,264	3,112	2,654	1,853
2526	2,446	2,326	2,420	2,159
2527	3,467	3,346	2,946	1,884
2528	2,794	2,677	2,458	1,492
2529	2,357	2,232	1,939	1,150
2530	2,557	2,390	2,023	1,107
2531	1,640	1,557	1,700	1,659
2532	2,232	2,106	1,792	1,032
2533	2,025	1,911	1,779	1,071
2534	1,893	1,769	1,640	834
2535	1,428	1,331	1,276	742
2536	1,703	1,607	1,246	603
2537	2,275	2,179	1,796	1,133
2538	2,971	2,851	2,592	2,229
2539	2,496	2,364	2,280	1,584
2540	2,526	2,415	2,015	999
2541	1,672	1,569	1,285	678
2542	967	968	1,249	1,547
2543	1,914	1,711	1,713	1,442
2544	1,932	1,759	1,557	1,161

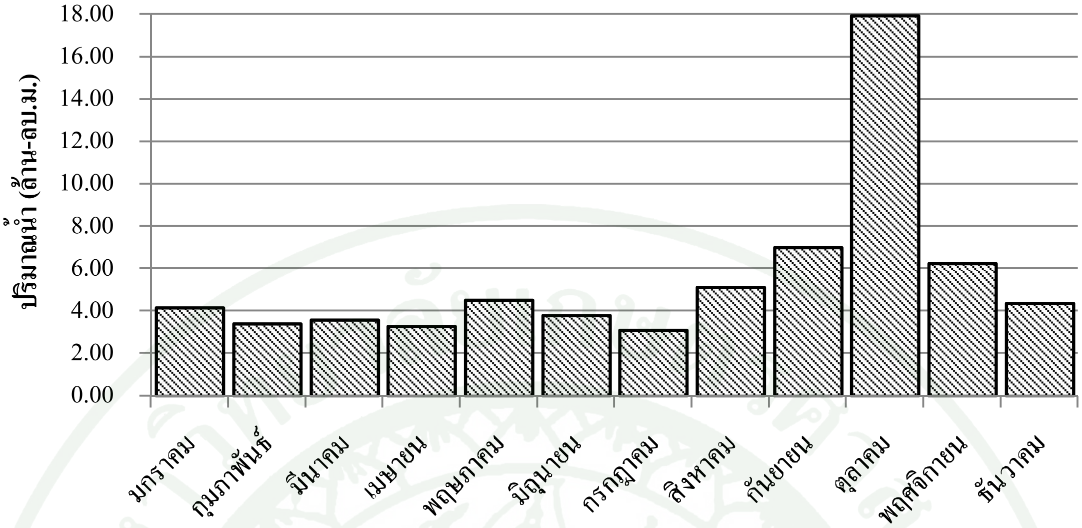
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 (ต่อ)

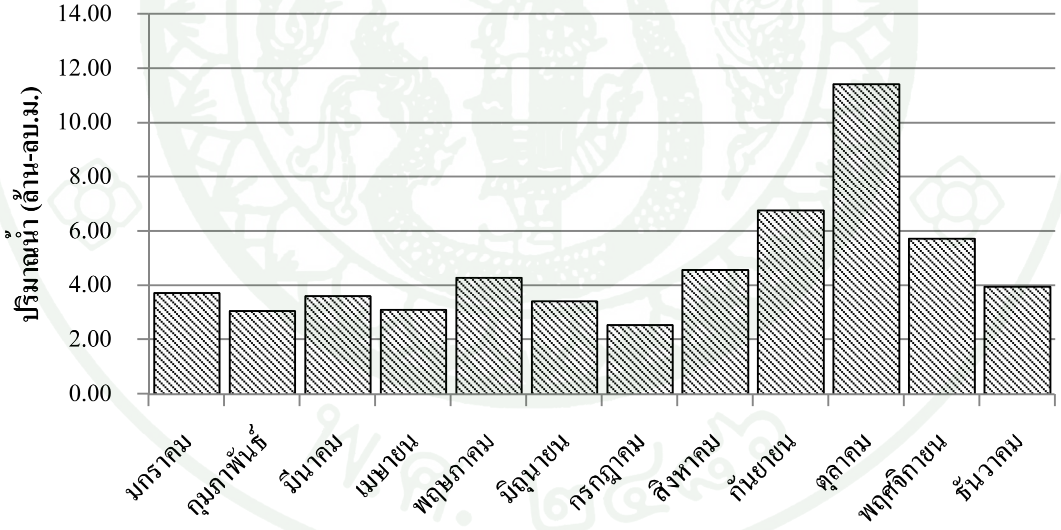
พ.ศ.	ประตูระบายบังคับน้ำ			
	พลเทพ	ท่าโบสถ์	สามชุก	โพธิ์พระยา
2545	2,349	2,124	1,747	1,216
2546	1,801	1,552	1,287	845
2547	1,731	1,463	1,373	692
2548	1,900	1,472	1,494	1,201
2549	2,177	1,671	1,775	1,395
2550	1,623	1,274	1,212	1,008
2551	1,340	1,075	1,271	1,306
2552	1,186	1,171	954	752
2553	1,048	1,011	935	854
2554	2,901	2,606	2,177	1,739
2555	1,415	1,107	845	760
2556	1,991	1,389	1,307	1,007
ผลรวม	93,313	85,365	75,982	54,684
เฉลี่ย	2,222	2,033	1,809	1,302
สูงสุด	3,467	3,346	2,946	2,229

ที่มา: กรมชลประทาน (2541) และเอกสิทธิ์ และคณะ (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

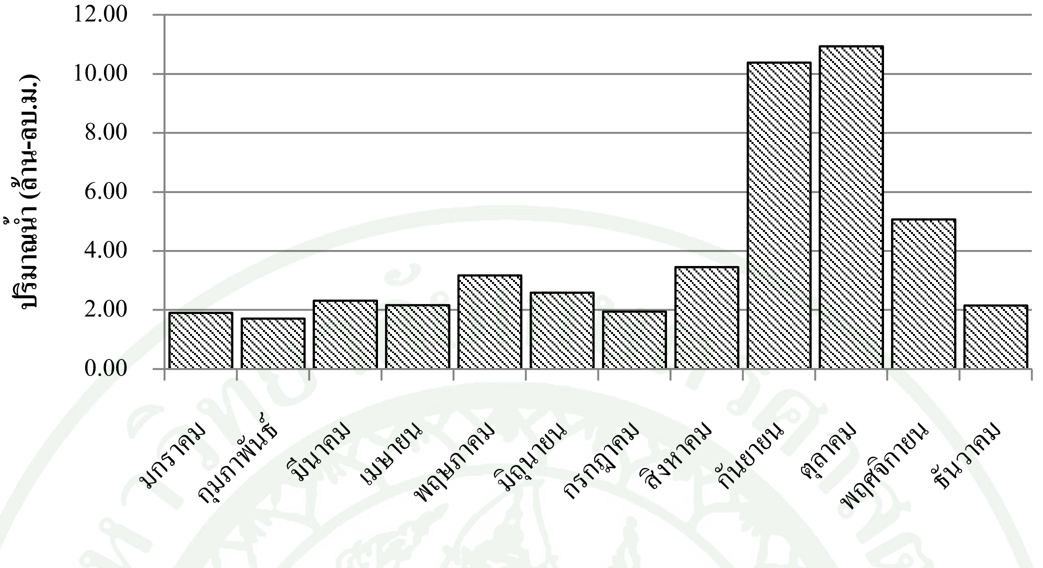


ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ปตร.พลเทพ ในปี พ.ศ.2554 - พ.ศ.2556

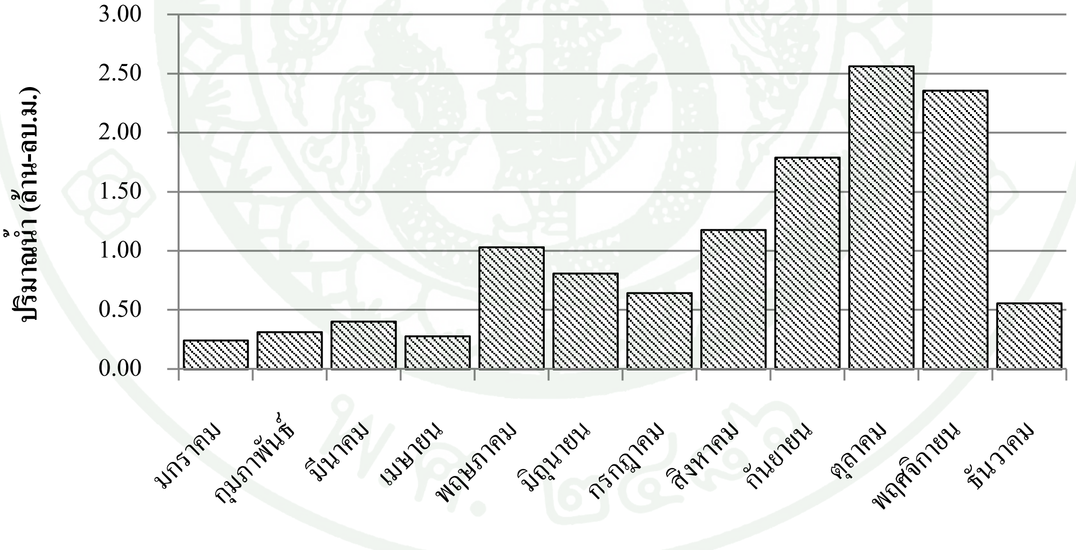


ภาพที่ 7 ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ปตร.ท่าโบสถ์ ในปี พ.ศ.2554 - พ.ศ.2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

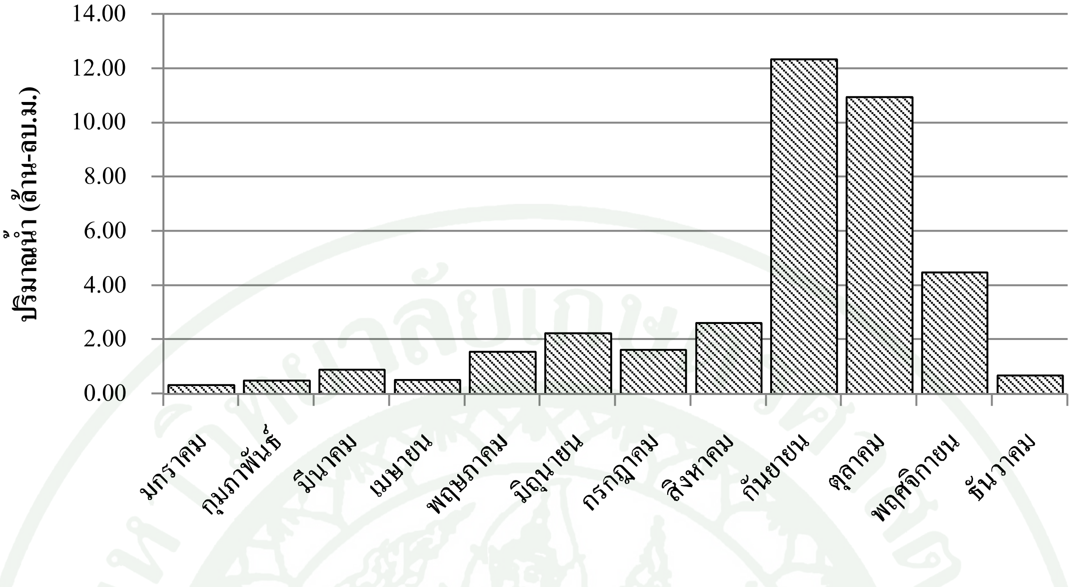


ภาพที่ 8 ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ปตร.สามชุก ในปี พ.ศ.2554 - พ.ศ.2556



ภาพที่ 9 ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ลำน้ำกระเสียว ในปี พ.ศ.2554 - พ.ศ.2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 ปริมาณน้ำเฉลี่ยรายเดือนที่ ปตร.โพธิ์พระยา ในปี พ.ศ.2554 - พ.ศ.2556

1.5 ระบบนิเวศลุ่มน้ำท่าจีน

1.5.1 ความหมายของระบบนิเวศ

ระบบนิเวศ (Ecosystem) หมายถึง การอยู่ร่วมกัน การมีความสัมพันธ์กันของสิ่งมีชีวิตต่างๆ หรือสิ่งมีชีวิตกับปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ที่ไม่มีชีวิต ที่เกิดขึ้นบนพื้นที่หนึ่งๆ ก่อให้เกิดการถ่ายทอดพลังงาน การหมุนเวียนธาตุอาหาร มีการรักษาสมดุลของระบบ ทำให้ระบบนั้นธำรงอยู่ได้

1.5.2 องค์ประกอบของระบบนิเวศลุ่มน้ำท่าจีน

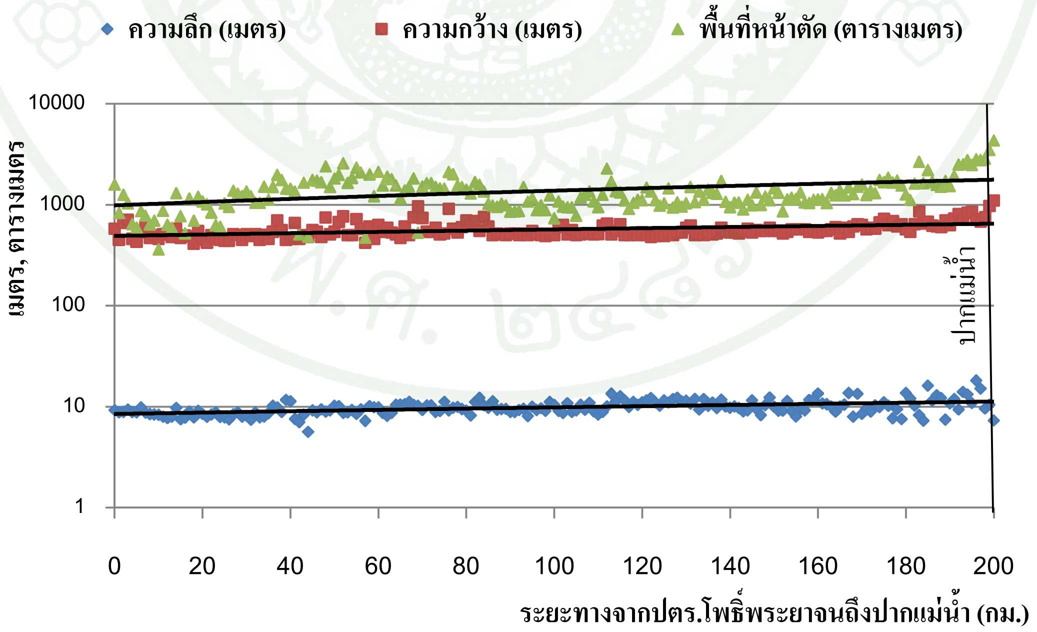
ลุ่มน้ำท่าจีนประกอบไปด้วยสภาพภูมิประเทศแตกต่างกันจากต้นของพื้นที่ลุ่มน้ำจนถึงท้ายของลุ่มน้ำซึ่งความแตกต่างกันของพื้นที่นี้ทำให้ระบบนิเวศลุ่มน้ำท่าจีนมีความแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ โดยระบบนิเวศที่เกิดจากความแตกต่างกันสามารถแบ่งได้เป็น นิเวศป่าต้นน้ำ, นิเวศเกษตร, นิเวศเมืองและอุตสาหกรรม และนิเวศชายฝั่งทะเล ซึ่งระบบนิเวศทั้งหมดของลุ่มน้ำท่าจีนนี้ได้ถูกบุกรุกและทำลายไปโดยมนุษย์และธรรมชาติทำให้ระบบนิเวศเสื่อมโทรมลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.6 สถานภาพทางกายภาพของระบบแม่น้ำท่าจีน

แม่น้ำท่าจีนที่ใช้ในการศึกษาเริ่มตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมืองจังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตร แม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำสายเดี่ยว (Single Branch) ที่ไหลผ่านลุ่มน้ำท่าจีนดังแสดงในภาพที่ 1 โดยแม่น้ำมีความลาดชันในตอนต้นและราบเรียบในตอนล่างเพราะมีสภาพภูมิประเทศเป็นลักษณะราบลุ่ม ลาดเทจากเหนือลงใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นา สวนผลไม้ สวนผัก และบ่อปลา มีพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) และป่าชายเลนอยู่ประปราย บริเวณที่น้ำทะเลขึ้นมาถึง (กรมชลประทาน, 2541ข)

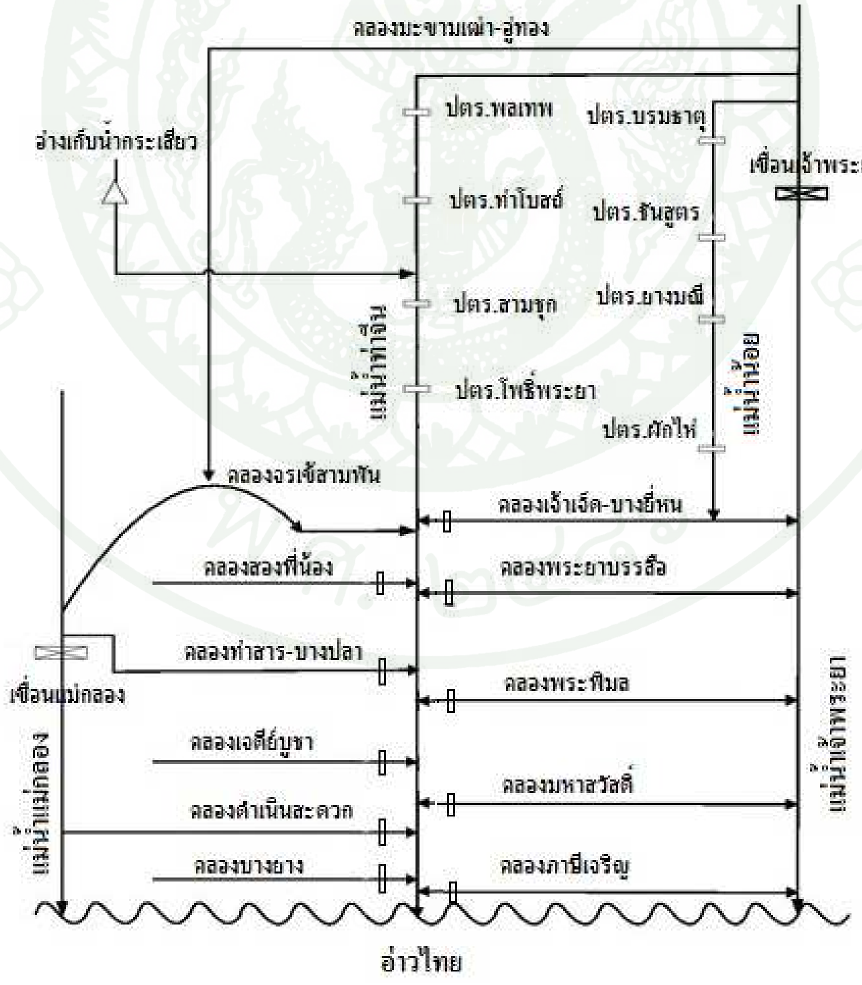
แม่น้ำท่าจีนแยกจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่อำเภอวัดสิงห์จังหวัดชัยนาทและไหลลงสู่อ่าวไทยที่อำเภอเมืองจังหวัดสมุทรสาคร โดยมีแหล่งน้ำหลักมาจากแม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำทำหน้าที่เปรียบเสมือนคลองส่งน้ำสายใหญ่สายหนึ่งของโครงการให้กับเกษตรกรในลุ่มน้ำท่าจีน แม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำที่มีขนาดไม่ใหญ่มากมีความกว้างเฉลี่ย ความลึกเฉลี่ย และมีพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำเฉลี่ย ประมาณ 570 เมตร, 10 เมตร และ1380 ตารางเมตร ตามลำดับโดยที่ความกว้างของแม่น้ำท่าจีนจะเพิ่มตามระยะทางซึ่งเป็นไปตามหลักของการเพิ่มขึ้นของความกว้างของแม่น้ำโดยจะมีความกว้างน้อยที่สุดบริเวณต้นน้ำและกว้างมากขึ้นในช่วงปลายแม่น้ำ ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำท่าจีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบโครงข่ายหรือการไหลของแม่น้ำจะเริ่มต้นจากการรับน้ำมาจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดชัยนาทไหลผ่านลงมาบรรจบกับลำน้ำกระเสียวในเขต อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี โดยที่แม่น้ำท่าจีนทำหน้าที่เป็นทั้งคลองส่งน้ำและระบายน้ำ โดยมีประตูระบายน้ำหลักกลางแม่น้ำ 4 แห่ง เพื่อทำหน้าที่บริหารจัดการน้ำให้กับโครงการชลประทานต่างๆ โดยประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาเป็นประตูระบายน้ำตัวสุดท้ายที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำในแม่น้ำให้มีความเพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกรทางตอนล่างของแม่น้ำ และพื้นที่ส่วนล่างซีกตะวันตกของลุ่มน้ำท่าจีนมีอาณาเขตติดต่อกับลุ่มน้ำแม่กลอง มีแม่น้ำแม่กลองเป็นแม่น้ำสายหลักในลุ่มน้ำทำหน้าที่จัดสรรน้ำให้กับโครงการชลประทานในลุ่มน้ำท่าจีนตอนล่าง โดยมีเขื่อนแม่กลองซึ่งเป็นเขื่อนทดน้ำให้กับพื้นที่ดังกล่าว และยังช่วยผันน้ำจากแม่น้ำแม่กลองมาสู่แม่น้ำท่าจีนในช่วงฤดูแล้ง และช่วยเพิ่มปริมาณน้ำในแม่น้ำท่าจีนเพื่อผลักดันน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้งอีกด้วย โดยผ่านทางคลองจระเข้สามพันและคลองท่าสาร-บางปลา ซึ่งเป็นคลองที่เชื่อมต่อของทั้งสองแม่น้ำ ดังในแสดงในภาพที่ 12



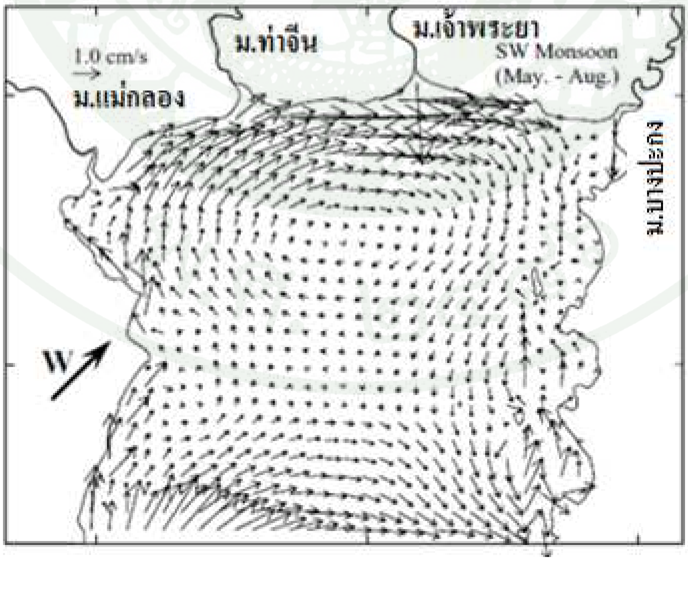
ภาพที่ 12 โครงข่ายการไหลของน้ำในลุ่มน้ำท่าจีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ลักษณะและส่วนประกอบของปากแม่น้ำ (Estuary)

2.1 ลักษณะกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบน

โดยปกติสิ่งที่ก่อให้เกิดการไหลเวียนของน้ำ มี 4 ประการ คือ น้ำขึ้น-น้ำลง ลมเหนือผิวน้ำ น้ำท่า และความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำ โดยการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยได้รับอิทธิพลจากลมเป็นหลัก และจากการศึกษาของ อนุกูล, 2551 พบว่าการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยได้รับอิทธิพลจากลมโดยที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนพฤษภาคม-กันยายน) พัดพาน้ำชั้นบนออกไปจากอ่าวไทย ทำให้ระดับน้ำทะเลทั่วทั้งอ่าวต่ำลง เกิด Upwelling ของน้ำชั้นล่างที่ชายฝั่งอ่าวไทยฝั่งตะวันตกบางบริเวณ และที่ด้านในสุดของอ่าวไทยตอนล่าง กระแสน้ำไหลแยกตัวออกจากกัน ทำให้เกิด Upwelling บริเวณกลางอ่าวเช่นกัน น้ำจากทะเลจีนใต้ไหลเข้าอ่าวไทยทางฝั่งตะวันออกของปากอ่าวไทยที่ทุกๆ ระดับความลึก โดยน้ำไหลเข้ามาได้ระยะทางหนึ่งแล้วไหลวนออกทะเลจีนใต้ทางฝั่งตะวันตกของปากอ่าวเป็นลักษณะน้ำไหลแบบทวนเข็มนาฬิกา มีน้ำไหลเป็นวงแบบตามเข็มนาฬิกาที่ด้านในสุดของอ่าวไทยตอนล่าง ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เป็นการเปลี่ยนถ่ายน้ำชั้นล่างของอ่าวไทยจากการเกิด Upwelling และการได้รับน้ำใหม่จากทะเลจีนใต้ทางฝั่งตะวันออกของปากอ่าวไทย

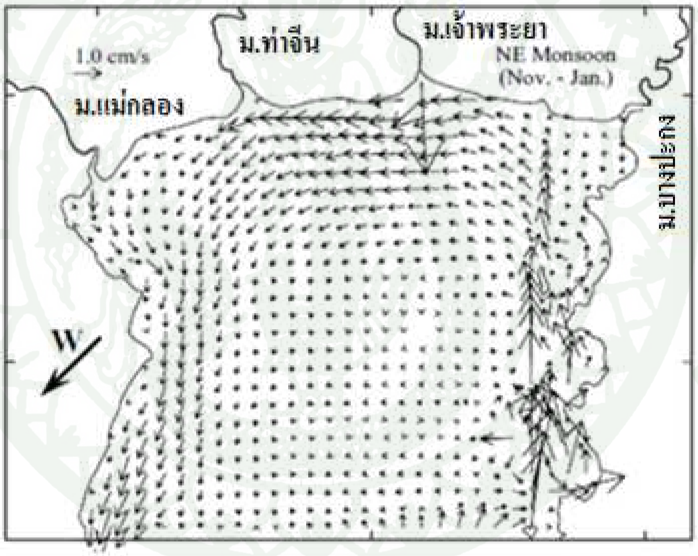


ภาพที่ 13 การไหลเวียนของน้ำในอ่าวไทยจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ที่มา: อนุกูล (2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ช่วงเปลี่ยนฤดูลมมรสุมในเดือนตุลาคม สถานการณ์ยังคล้ายกับช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ความเร็วลมลดลงทำให้ขบวนการ Upwelling ลดน้อยลง น้ำชั้นบนมีการไหลเวียนแบบทวนเข็มนาฬิกาทั้งอ่าวไทย ในขณะที่น้ำระดับล่างลงไปยังมีการไหลเวียนเป็นวงแบบตามเข็มนาฬิกาที่ด้านในของอ่าวไทย และในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) มีน้ำจากทะเลจีนใต้พัดเข้าสู่อ่าวไทยรวมทั้งน้ำท่าจากแม่น้ำโขงด้วย หากน้ำท่าออกมาล่าช้ากว่าปกติ มวลน้ำที่ลมพัดเข้ามาทำให้ระดับน้ำในอ่าวเพิ่มสูงขึ้น เกิดน้ำทะเลหนุนที่ปากแม่น้ำที่ก้นอ่าวไทยตอนบน การเกิด Upwelling จะลดน้อยลง และช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมในเดือนมีนาคม-เมษายน สถานการณ์ยังคล้ายกับฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ความเร็วของลมลดลงทำให้น้ำทะเลลดลง



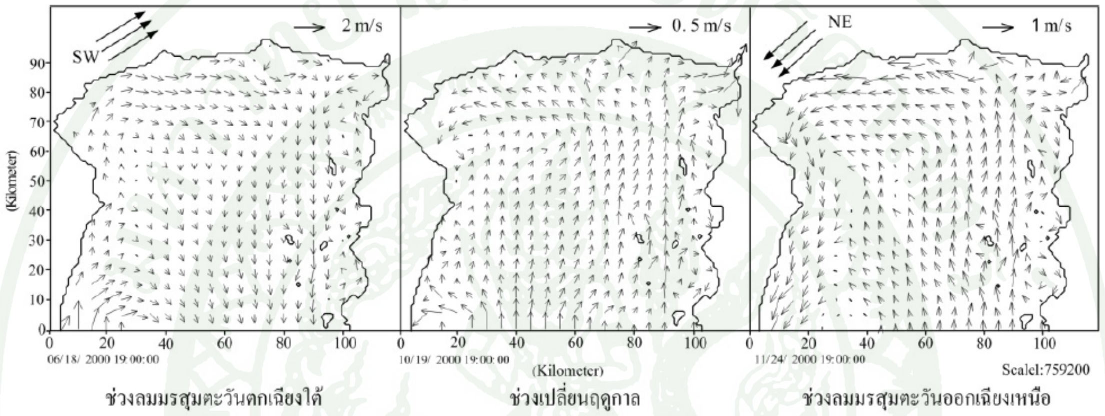
ภาพที่ 14 การไหลเวียนของน้ำในอ่าวไทยจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ที่มา: อนุกูล (2551)

นอกจากนี้ นาฝีซ๊ะ และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์สภาพชลศาสตร์ในอ่าวไทยตอนบนโดยจะพบว่าลักษณะกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนจะมีทิศทางและความเร็วการไหลขึ้นอยู่กับฤดูกาลและลมมรสุมเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ อนุกูล (2551) ซึ่งในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลักษณะกระแสน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนบนจะไหลเข้ามาทางด้านทิศตะวันตกแล้วเกิดเป็นวงกระแสน้ำที่มีทิศตามเข็มนาฬิกาไหลเลียบชายฝั่งจากด้านทิศตะวันตกไปสู่ด้านทิศตะวันออก โดย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อเข้าสู่ช่วงเปลี่ยนฤดูกระแสน้ำจะไหลเข้ามาจากทางด้านทิศใต้ของอ่าวไทยแล้วเกิดเป็นวงกระแสน้ำบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออก 3 วง และชายฝั่งด้านตะวันตกอีก 1 วง และวงกระแสน้ำนี้ยิ่งมีความชัดเจนมากขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยทิศทางกระแสน้ำที่ไหลเข้าจะเริ่มเบี่ยงจากทางทิศใต้มาในแนวทิศตะวันออกมากขึ้นทำให้วงกระแสน้ำชายฝั่งด้านตะวันตกมีขนาดใหญ่ขึ้นจนเกิดเป็นการไหลแบบไหลเลียบชายฝั่งในทิศทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ลักษณะกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนในช่วงมรสุมต่างๆ

ที่มา: นาฝีซ๊ะ และคณะ (2553)

2.2 ปากแม่น้ำ (Estuary)

ปากแม่น้ำ คือ จุดที่อยู่ต่ำสุดของแม่น้ำ เป็นที่ซึ่งน้ำในแม่น้ำไหลสู่ทะเล บริเวณนี้เป็นพื้นที่ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของความเค็มอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากบริเวณปากแม่น้ำจะได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดที่ไหลจากแม่น้ำลงสู่ทะเล และได้รับความเค็มจากพื้นที่ทะเลเปิด ดังนั้นลักษณะของน้ำบริเวณปากแม่น้ำนี้จะมีลักษณะเป็นน้ำกร่อย แต่ทั้งนี้การที่น้ำจะกร่อยมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำจืดที่ไหลมาจากแผ่นดินและน้ำทะเลที่หนุนเข้ามา เพราะในฤดูฝนปริมาณน้ำจืดที่ไหลมาจากแผ่นดินจะมีปริมาณมากจะส่งผลให้ความเค็มบริเวณปากแม่น้ำลดลง เนื่องจากน้ำจืดจะเจือจางและดันน้ำเค็มออกไป ทำให้ความเค็มบริเวณนี้ในช่วงฤดูฝนมีค่าลดลง แต่เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งปริมาณน้ำจืดที่ไหลจากแม่น้ำมีน้อย ดังนั้นน้ำเค็มก็จะรุกน้ำจืดเข้าไป ทำให้ค่าความเค็มของน้ำบริเวณปากแม่น้ำมีค่าสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเค็มเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณปากแม่น้ำ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่สำคัญในบริเวณปากแม่น้ำ ได้แก่ น้ำขึ้นน้ำลง เพราะเมื่อน้ำขึ้นความเค็มบริเวณปากแม่น้ำก็จะสูงขึ้น และเมื่อน้ำลงความเค็มบริเวณปากแม่น้ำก็จะลดลงเช่นกัน นอกจากทำให้ความเค็มบริเวณปากแม่น้ำเปลี่ยนแล้ว น้ำขึ้นน้ำลงก็ยังเป็นปัจจัยจำกัดของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณนี้เช่นเดียวกับความเค็ม เนื่องจากเป็นตัวกำหนดเวลาการหายใจและการหาอาหารของสิ่งมีชีวิต เกี่ยวกับภาวการณ์สูญเสียน้ำของสิ่งมีชีวิต และขอบเขตการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตบางชนิด

คลื่น ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากคลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปากแม่น้ำ เพราะจะกัดเซาะทำให้ปากแม่น้ำมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดตะกอน และอาจจะพัดพาตะกอนบางส่วนออกไปนอกฝั่งทำให้เกิดเป็นสันทรายขวางบริเวณปากแม่น้ำ ส่วนปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน ปริมาณสารอาหาร ความขุ่นของน้ำ การหมุนเวียนของน้ำ และสภาพพื้นท้องน้ำก็ล้วนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเช่นเดียวกัน เพราะปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมานี้ล้วนส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตบริเวณปากแม่น้ำ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตที่จะอาศัยอยู่ในบริเวณนี้ได้ทั้งพืชและสัตว์จะมีจำนวนน้อยมาก เนื่องจากสภาพแวดล้อมทั้งทางกายภาพและเคมีมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยเฉพาะความเค็ม อีกทั้งลักษณะพื้นทะเลบริเวณปากแม่น้ำมีลักษณะเป็นดินโคลนหรือทรายละเอียดสิ่งมีชีวิตที่จะอยู่ได้ก็ต้องมีการปรับตัวเช่นเดียวกัน แม้ว่าจะมีสิ่งมีชีวิตจำนวนน้อยที่จะอาศัยอยู่บริเวณนี้ได้ แต่หากสิ่งมีชีวิตกลุ่มใดสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมแบบนี้ได้ ก็จะส่งผลให้สิ่งมีชีวิตชนิดนั้นมีปริมาณมาก เพราะตัวที่จะมาแก่งแย่งอาหารบริเวณนี้มีน้อย และเมื่อมีการปรับตัวเพื่อให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงแบบนี้แล้วมันก็จะคงสภาพเช่นนี้เอาไว้ชั่วลูกชั่วหลาน โดยสิ่งมีชีวิตที่พบบริเวณนี้ ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์หน้าดิน สาหร่าย

2.3 หญ้าทะเล (Sea Grass)

หญ้าทะเลเป็นพืชชั้นสูงที่มีลำต้นใต้ดิน มีส่วนของลำต้นและใบตั้งตรงขึ้นมาจากพื้นดิน จัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว แหล่งหญ้าทะเลเป็นระบบนิเวศหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่ามีความสำคัญในปัจจุบัน เนื่องจากมีสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ เข้ามาอยู่ร่วมกันเป็นองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ นอกเหนือจากความสามารถในการเป็นผู้ผลิตขั้นต้นที่ให้ผลผลิตสูงแล้ว โครงสร้างของหญ้าทะเลยังมีองค์ประกอบที่เหมาะสมสำหรับเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน แหล่งหลบภัย และเป็นแหล่งอาหารที่มีความสมบูรณ์ เพราะบนใบของหญ้าทะเลมีสิ่งมีชีวิตเล็กๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกาะอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น สาหร่ายบางชนิด ไส้เดือนทะเล หอยตัวเล็กๆ เป็นต้น นอกจากนี้หญ้าทะเลยังมีส่วนช่วยป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง ช่วยลดการพังทลายของหน้าดินได้อีกด้วย

2.4 ระบบนิเวศปากแม่น้ำ

บริเวณปากแม่น้ำหรือบริเวณน้ำกร่อย เป็นบริเวณที่น้ำจืดจากแม่น้ำไหลมาบรรจบกับทะเล ทำให้น้ำบริเวณนี้มีการเปลี่ยนแปลงของความเค็มอยู่ตลอดเวลา แต่อย่างไรก็ตามบริเวณนี้นับว่ามีความอุดมสมบูรณ์มาก เนื่องจากแม่น้ำได้พัดพาเอาตะกอนแร่ธาตุ สารอาหารต่างๆ จากต้นน้ำลงมาด้วย ทำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตต่างๆ มากมาย นอกจากนี้แล้ว ในบริเวณนี้เรายังพบป่าชายเลนซึ่งมีพรรณไม้ต่างๆ เช่น ต้นโกงกาง แสม ลำพู ลำแพน เป็นต้น ซึ่งเป็นต้นไม้ที่อาศัยอยู่บริเวณน้ำกร่อย และเป็นดินเลนได้เป็นอย่างดี ป่าชายเลนนี้นับว่ามีคุณประโยชน์มากมายต่อระบบนิเวศทางทะเล รากของต้นโกงกาง และแสมจะรุงรังซับซ้อน เพื่อช่วยยึดลำต้นที่เจริญอยู่บนดินเลน ทำให้มีช่องเล็กช่องน้อย เหมาะสมสำหรับการหลบซ่อนของสัตว์น้ำวัยอ่อน บริเวณนี้จึงเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำเป็นจำนวนมาก รากของต้นไม้ยังช่วยดักดินตะกอนไม่ให้พัดพาลงสู่ทะเลมากนัก และเกิดเป็นแผ่นดินใหม่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา ป่าชายเลนยังช่วยกำบังคลื่นลมได้เป็นอย่างดี แต่เป็นที่น่าวิตกอย่างยิ่งที่ในปัจจุบัน บริเวณปากแม่น้ำและป่าชายเลนกำลังสูญเสียและเสื่อมโทรมลง โดยปัญหามลพิษต่างๆ จากแม่น้ำและการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จึงควรที่จะช่วยป้องกันรักษาเอาไว้ให้ดำรงอยู่ตลอดไป

2.5 แหล่งน้ำกร่อย

แหล่งน้ำกร่อย หมายถึง บริเวณที่เป็นเขตติดต่อระหว่างทะเลและแม่น้ำ หรือบริเวณปากแม่น้ำ ทำให้มีการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม อาจจัดเป็นแหล่งน้ำชายฝั่งกึ่งปิด (Semi-Closed) ความเค็มของแหล่งน้ำกร่อยอยู่ระหว่าง 0.5-30 %

การแบ่งเขตบริเวณปากแม่น้ำโดยคำนึงถึงหลักตามนิเวศอุทกวิทยาซึ่งจะมีส่วนประกอบหลัก คือ แม่น้ำ, น้ำกร่อย, ตะกอน, สาหร่ายพื้นที่ชุ่มน้ำ และสายใยอาหารสัตว์น้ำ ดังแสดงในภาพที่ 11 (Wolanski, 2007) และยังสามารถแบ่งตามแหล่งน้ำกร่อย ได้ 2 แบบ คือ แบ่งตามระดับเขตความเค็มของน้ำ และแบ่งตามระดับการขึ้นลงของน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบ่งตามระดับเขตความเค็มของน้ำได้ 3 เขต คือ

1) Tidal River Zone เป็นเขตส่วนบนของแหล่งน้ำกร่อย ซึ่งจะยังคงอยู่ในแม่น้ำ ความเค็มของน้ำทะเลยังคงเข้าไปไม่ถึงเต็มที่ ทั้งส่วนใหญ่ยังเป็นน้ำจืดแต่จะมีการขึ้นลงของน้ำจาก อิทธิพลของน้ำทะเล เช่น จังหวัดนนทบุรีของแม่น้ำเจ้าพระยา

2) Mixing Zone เป็นบริเวณที่มีการผสมกันของน้ำจืดและน้ำทะเลอย่างเต็มที่ทำให้ คุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ เปลี่ยนแปลงไป เช่น บริเวณ กรุงเทพมหานครและ จังหวัดสมุทรปราการ ของแม่น้ำเจ้าพระยา

3) Neae shore Turbid Zone เป็นเขตที่อยู่ถัดจาก Mixing Zone ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ชายฝั่ง ทะเลบริเวณน้ำลงต่ำสุดของน้ำจืดที่ไหลไปถึง เช่น บริเวณปากน้ำสมุทรปราการ

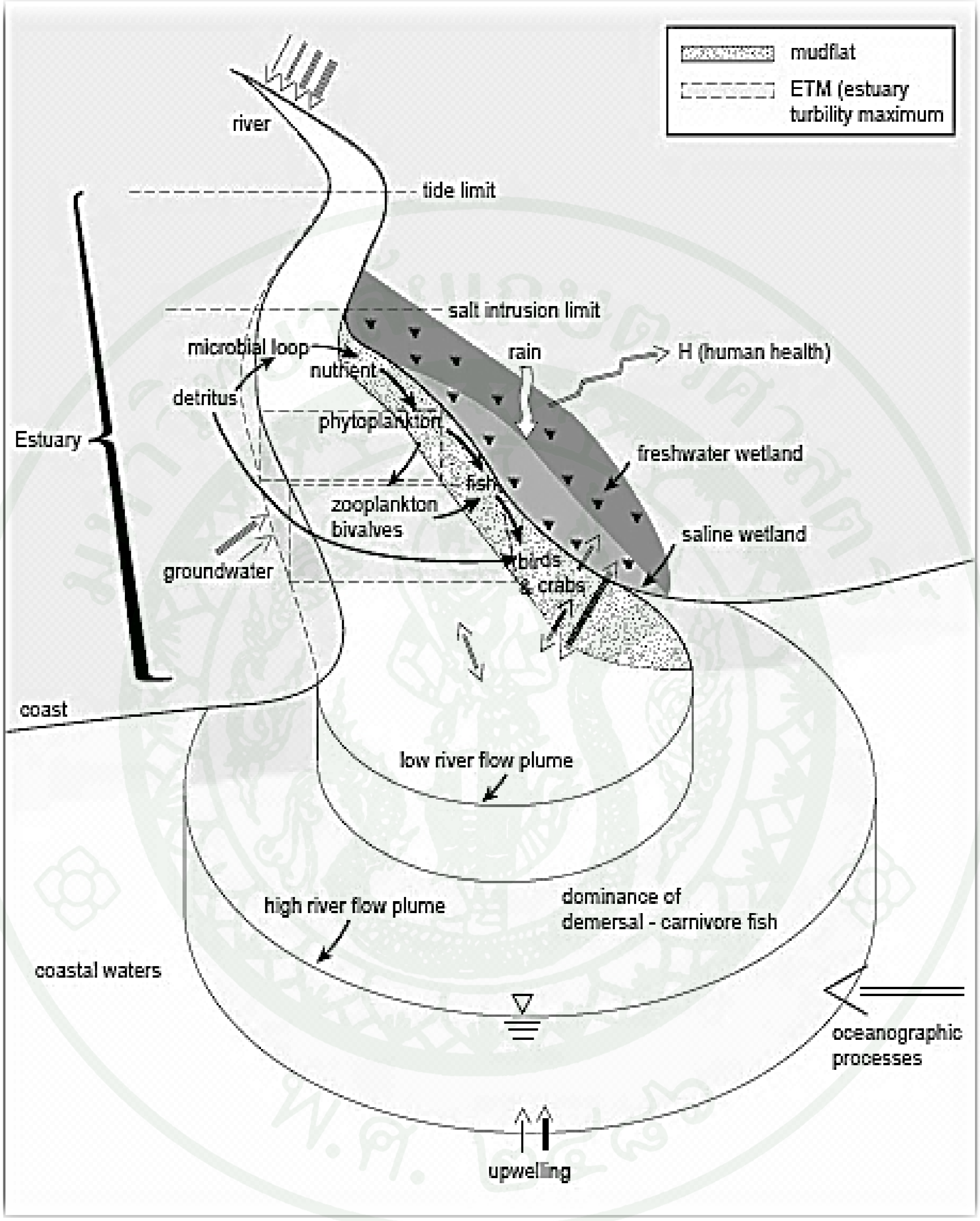
แบ่งตามระดับการขึ้นลงของน้ำ สามารถแบ่งเขตได้ 3 เขตใหญ่ คือ

1) พื้นที่น้ำท่วมไม่ถึง (Upland) เป็นเขตที่น้ำทะเลท่วมไม่ถึงจึงไม่ได้อิทธิพลของ น้ำทะเลโดยตรง แต่จะมีพรรณไม้เป็นไม้ใหญ่หรือไม้พุ่ม (Shrub) เกิดขึ้น ซึ่งเป็นไม้ที่ปรับตัวได้กับ สภาพแวดล้อมทางชายฝั่งทะเล เช่น ต้นสนทะเล โพธิ์ทะเล เป็นต้น

2) พื้นที่เขตน้ำท่วม (Tidal-Marsh) เป็นบริเวณพื้นดินที่น้ำขึ้นสูงสุดท่วมถึงจนถึง เขตน้ำลงต่ำสุดในสภาวะปกติและจะโผล่พ้นน้ำ ในเขตนี้พื้นดินเป็นโคลนตมเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้น พื้นที่ด้านบนที่อยู่ติดต่อกับ upland บริเวณนี้มีพรรณไม้ชายเลนเกิดขึ้นจำนวนมาก เช่น โกงกาง แสม จาก ลำพู เป็นต้น แต่บางเขตซึ่งเป็นเขตที่อยู่ระหว่างน้ำขึ้นลงสูงสุดต่ำสุด มีความลาดเอียง น้อยมากไม่มีพรรณไม้เกิดขึ้น จะเป็นที่อยู่ของสัตว์จำพวกปูและหอยหลายชนิด เช่น ปูแสม ปูก้ามดาบ หอยแครง เป็นต้น และอาจพบปลาตีนรวมอยู่ด้วย

3) พื้นที่มีน้ำท่วมตลอด (Sub Tidal) เป็นพื้นที่ที่อยู่ใต้น้ำตลอดเวลาแม้ว่าจะอยู่ใน สภาวะปกติของน้ำลงต่ำสุด (Normal Low Tide) ลักษณะพื้นดินก็เป็นโคลนตม อาจมีสาหร่ายทะเล หรือหญ้าทะเลเกิดขึ้น มีสัตว์น้ำทั้งพวกขุดรูอยู่และพวกว่ายไปมาตามการขึ้นลงของน้ำ เช่น ลูกกุ้ง แชบ๊วย ลูกปลากระบอก ลูกปลากุเรา เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 16 แสดงการแบ่งเขตบริเวณปากแม่น้ำ

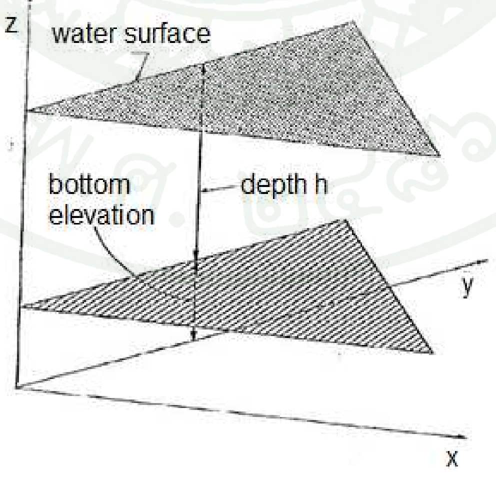
ที่มา: Wolanski (2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิด

3.1 แบบจำลองทางด้านอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model)

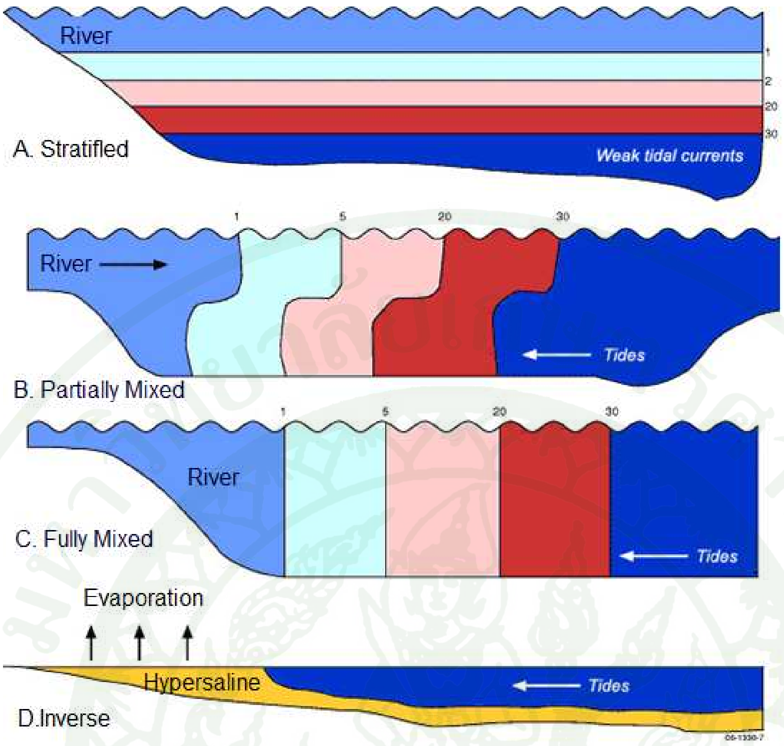
ในปัจจุบันการศึกษาการไหลของน้ำบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำ ซึ่งมีความซับซ้อนมาก จะนิยมใช้การจำลองแบบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแบบจำลองที่นิยมใช้จะจำลองการไหลในลักษณะสองมิติ (2-Dimension Flow Model) คือ มิติที่หนึ่งจะมีทิศทางการไหลตามการไหลของน้ำ (แกน x) ส่วนมิติที่สองจะมีทิศทางการไหลในแนวตั้งฉากกับการไหลของน้ำ (แกน y) และกำหนดว่าความเร็วการไหลที่หน้าตัดขวางเดียวกันจะมีความเร็วเพียงค่าเดียวหรือเป็นค่าเฉลี่ยตลอดหน้าตัดการไหลนั้นๆ (Depth Averaged) ดังแสดงทิศทางการไหลของน้ำทั้งสามแกนในภาพที่ 17 อย่างไรก็ตาม ยังมีแบบจำลองการไหลสามารถจำลองการไหลได้ทั้งสามมิติ คือ เพิ่มมิติการไหลในแนวดิ่งตลอดหน้าตัดขวางลำน้ำนั้นๆ (แกน z) ซึ่งแบบจำลองมีความเหมาะสมในการศึกษาการไหลของน้ำบริเวณปากแม่น้ำและทะเล ซึ่งมีการไหลเป็นแบบชั้น (Stratified Flow) โดยเมื่อพิจารณาถึงการกระจายตัวของความเค็มบริเวณปากแม่น้ำในภาพที่ 18 ก็จะมีลักษณะการกระจายตัวเป็นชั้นเช่นเดียวกับการไหลของน้ำ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ stratified, partially mixed, fully mixed, และ inverse (Webster *et al.*, 2010) โดยแบบจำลองดังกล่าวจะสามารถแสดงผลได้ทั้งในแนวราบ และแนวตั้งเพื่อแสดงลักษณะทางกายภาพของลำน้ำดังตัวอย่างการแสดงผลการจำลองการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเลดังภาพที่ 19 และ 20 (Wolanski ,2007)



ภาพที่ 17 ความหมายของการจำลองการไหลแบบสามมิติ

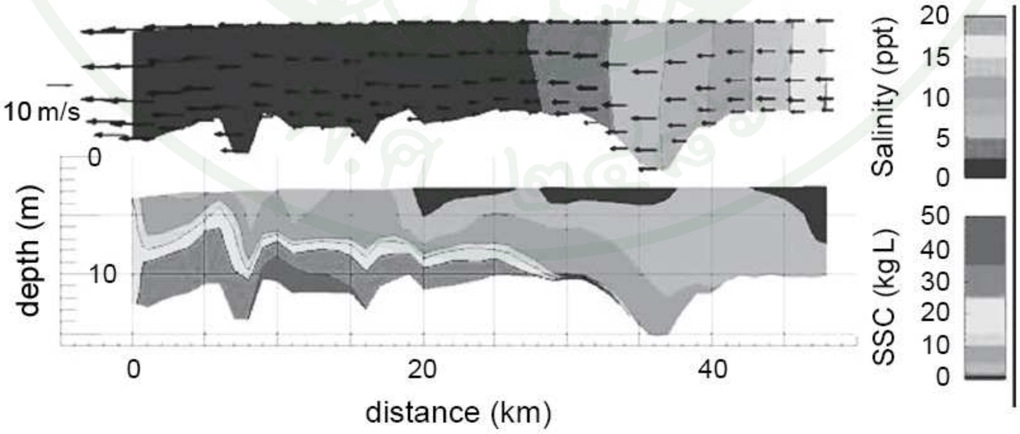
ที่มา: King (1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 การกระจายตัวของความเค็มบริเวณปากแม่น้ำ

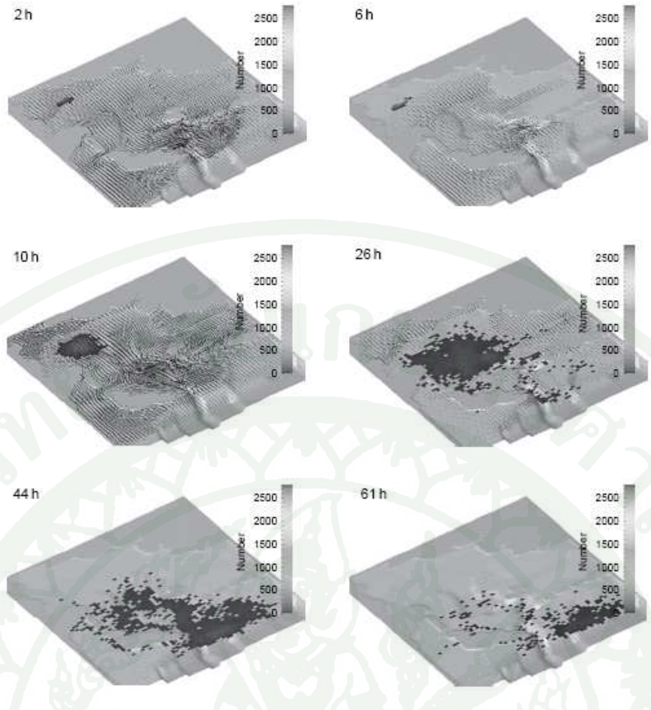
ที่มา: Webster *et al.* (2010)



ภาพที่ 19 การผสมกันของน้ำจืดและน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำตามระยะทางในแนวดิ่ง

ที่มา: Wolanski (2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 20 การผสมกันของน้ำจืดและน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำตามระยะเวลาต่างๆ

ที่มา: Wolanski (2007)

ดังนั้น ในการจำลองการไหลและการสร้างแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาและอุทกพลศาสตร์ในปัจจุบันได้มีโปรแกรมสำเร็จรูปต่างๆที่ใช้สร้างแบบจำลองดังนี้

3.1.1 แบบจำลอง SMS8.0

แบบจำลอง SMS8.0 (Surface-water Modeling System) เป็นแบบจำลองของของไหลทางสิ่งแวดล้อม สามารถใช้กับแบบจำลองที่เป็น 1 มิติ 2 มิติ และ3มิติ แบบจำลองนี้ได้รับการพัฒนาโดยห้องวิจัยแบบจำลองทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Modeling Research Laboratory: EMRL) ที่มหาวิทยาลัย บริกแฮมยัง (Brigham Young University) แบบจำลอง SMS สามารถจำลองพื้นที่ศึกษาให้มีความใกล้เคียงตามลักษณะธรรมชาติของพื้นที่ศึกษาจริง ไม่ว่าจะเป็นการใส่ค่าความลึกน้ำ การสร้างขอบเขตพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นส่วนเป็นส่วนเริ่มต้นก่อนการคำนวณ และเมื่อคำนวณแล้วผลลัพธ์ที่ได้ก็สามารถนำกลับมาวิเคราะห์ผลในส่วนของโปรแกรม SMS อีกครั้งหนึ่ง อาจจะวิเคราะห์ในรูปเวกเตอร์หรือรูปภาพสี ดังนั้นโปรแกรม SMS จึงถือว่าเป็นโมดูลกราฟริกพื้นฐาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

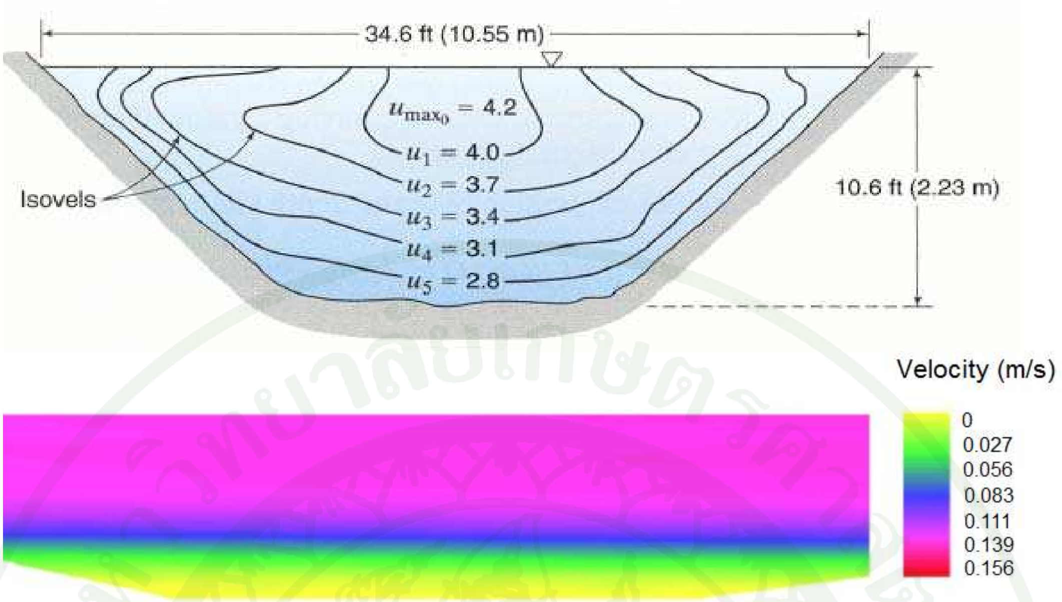
โปรแกรม SMS ยังมีโมดูลสำหรับคำนวณคุณสมบัติต่างๆของน้ำเช่น โมดูลคำนวณการไหลเวียนของน้ำ โมดูลคำนวณการแพร่กระจายของเกลือ โมดูลคำนวณการแพร่กระจายของตะกอนแขวนลอย และโมดูลอื่นๆต่อเชื่อมกับโมดูลพื้นฐาน

3.1.2 แบบจำลอง RMA-10

แบบจำลอง RMA-10 (King, 2005) เป็นแบบจำลองประเภทอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model)ที่สามารถจำลองสภาพการไหลในลำน้ำได้ทั้งในแบบ 1, 2 และ 3 มิติ โดยแบบจำลอง RMA-10 นั้นพัฒนาขึ้นโดย Resource Management Associates ประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979 และยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน โดยเวอร์ชั่นล่าสุดได้ปรับปรุงมาถึง ปี ค.ศ. 2005 โดยทั่วไปแบบจำลองนี้จะใช้ในการจำลองแบบสภาพชายฝั่งทะเล (Coastal Modeling) อย่างไรก็ตามแบบจำลองดังกล่าวนี้ก็ยังสามารถใช้จำลองการไหลกับระบบแม่น้ำตามธรรมชาติได้ตลอดจนการศึกษาด้านอุทกภัยได้ด้วย (River and Flood Modeling)

แบบจำลองนี้ใช้พื้นฐานของ Finite Element ซึ่งมีความสามารถในการจำลองสภาพการไหลได้ในแบบ 1มิติ คือ การไหลของน้ำตามทิศทางการไหลตามแนวลำน้ำ และการไหลแบบ 2 มิติ คือ มีการเพิ่มการจำลองการไหลในทิศตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำตามแนวลำน้ำเข้ามาพิจารณาร่วมด้วย ซึ่งประกอบด้วย 2 รูปแบบคือ2-D laterally Averaged และ 2-D depth Averaged และยังสามารถจำลองการไหลของน้ำได้ในแบบ 3 มิติซึ่งจำลองการไหลในทิศตามความลึกของน้ำ รวมถึงยังสามารถวิเคราะห์ร่วมกันทั้ง 1-D, 2-D และ 3-D ในการจำลองการไหลในคราวเดียวกันได้ ดังแสดงตัวอย่างผลการจำลองแบบการกระจายความเร็วของการไหลในลำน้ำที่แต่ละระดับความลึกได้ดังภาพที่ 21

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 21 การกระจายตัวของความเร็วการไหลแบบ 3 มิติด้วยแบบจำลอง RMA-10

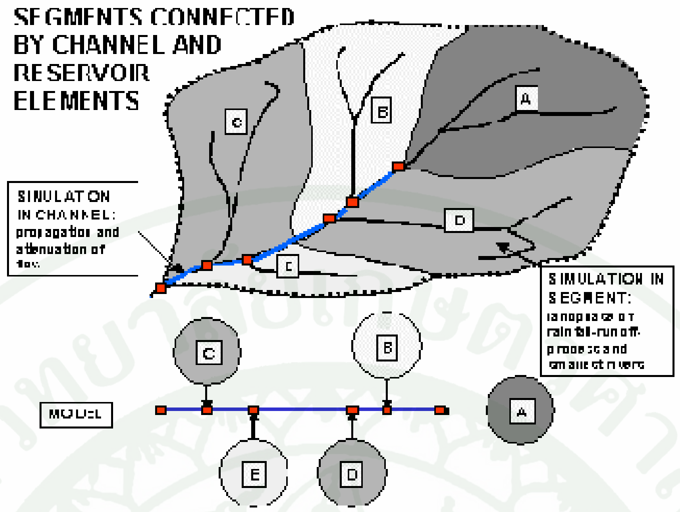
ที่มา: วิษุวัฒก์ (2551)

3.1.3 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (SOBEK-Sacramento)

ในการจัดทำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ของโปรแกรม SOBEK จะใช้วิธีการ Sacramento ในการ จำลองพฤติกรรมการเกิดน้ำฝน-น้ำท่า วิธีการนี้มีต้นกำเนิดจากแบบจำลองที่เรียกว่า Standford Watershed Model ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองระบบแม่น้ำชื่อ Sacramento ในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปัจจุบันหลักการ ของแบบจำลอง Sacramento ถือได้ว่าเป็นที่นิยมมากวิธีหนึ่ง โดยหลักการของแบบจำลองนี้ได้พรรณนาถึงสมการทางคณิตศาสตร์ในการแปลงน้ำฝนเป็นน้ำท่าที่ไหลลงสู่แม่น้ำโดยมีการแบ่งขั้นตอนการคำนวณออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ

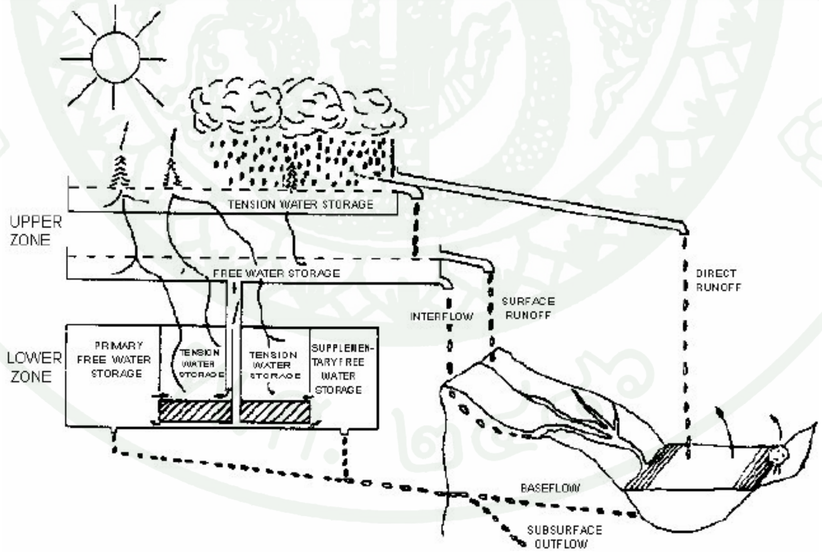
แบบจำลอง Sacramento ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง SOBEK จะอยู่บนพื้นฐานของวิธีแบบ กึ่งกระจาย (Semi-distributed Approach) โดยมีหลักการว่าพื้นที่รับน้ำหนึ่งๆ จะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่รับ น้ำย่อยหลายพื้นที่ ซึ่งพื้นที่รับน้ำย่อยเหล่านี้จะถูกเชื่อมต่อกันด้วยคลองหลายสายด้วยกันดังแสดงในภาพที่ 22 ในแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อย น้ำฝนจะถูกแปลงเป็นน้ำท่าโดยการไหลลงสู่ระบบลำน้ำสายหลัก โดยมีการสมมติว่าภายใน แต่ละพื้นที่รับน้ำย่อย น้ำฝนและลักษณะของพื้นที่รับน้ำย่อยจะมีลักษณะแบบเดียวกัน ภาพที่ **18** แสดงผัง แนวคิดและกรรมวิธีในการเกิดน้ำฝน-น้ำท่าโดยวิธี Sacramento

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 หลักการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในโปรแกรม SOBEK โดยวิธี Sacramento

ที่มา: กรมชลประทาน (2551)



ภาพที่ 23 แสดงผังแนวคิดและกรรมวิธีในการเกิดน้ำฝน-น้ำท่าโดยวิธี Sacramento

ที่มา: กรมชลประทาน (2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11

จากการทบทวนตรวจเอกสารของแบบจำลองทางด้านอุทกพลศาสตร์ทั้งหมด ทำให้ทราบถึงการทำงานของแบบจำลองต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11 มาประยุกต์ในการศึกษา เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวทางภาควิชาวิศวกรรมชลประทานมีลิขสิทธิ์ให้ใช้อย่างถูกต้องอยู่แล้วภายใต้ห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองระบบทรัพยากรน้ำด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ

แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นจากสถาบันวิจัยทางด้านแหล่งน้ำของประเทศเดนมาร์ค (Danish Hydraulic Institute: DHI) ในปี ค.ศ. 1972 เพื่อใช้จำลองสภาพการไหลของน้ำ การเคลื่อนตัวของตะกอน การศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำและระบบชลประทาน แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ได้รับการพัฒนาให้ง่ายต่อการใช้งาน เพื่อประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยโครงสร้างของแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 แสดงดังภาพที่ 24

แบบจำลองนี้ใช้วิธี Implicit Finite Difference ในการคำนวณสภาพการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) ในลำน้ำและบริเวณปากแม่น้ำ โดยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์สามารถอธิบายสภาพการไหลได้ทั้งการไหลแบบต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical Flow) และการไหลแบบเหนือวิกฤต (Supercritical Flow) ตลอดจนสามารถคำนวณการไหลในระบบลำน้ำที่มีการไหลเข้าด้านข้าง และแสดงผลการคำนวณเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time) และสถานที่ (Space)

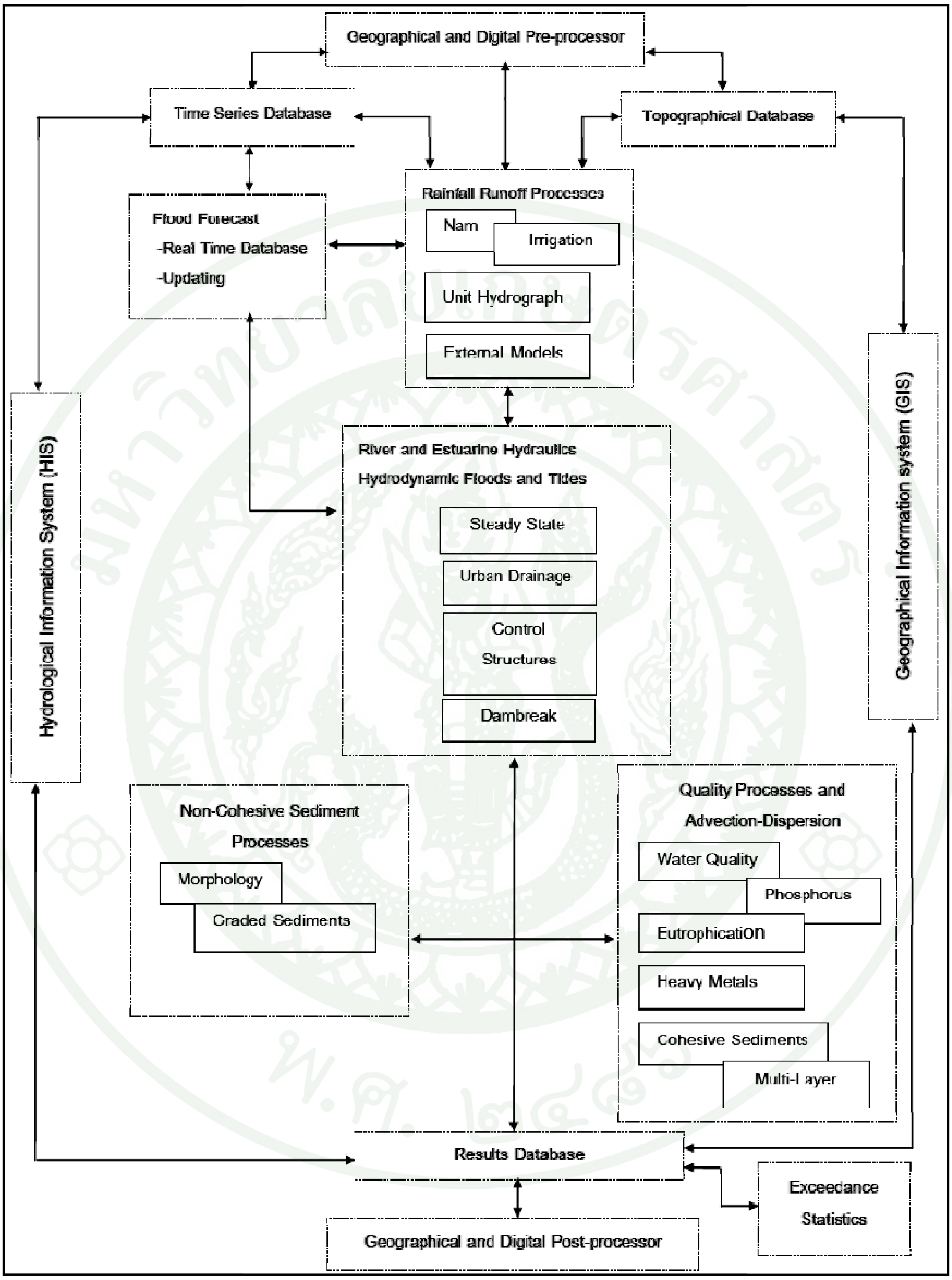
สมการพื้นฐาน

สมการพื้นฐานของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ในแบบจำลอง MIKE 11 คือ สมการ Saint Venant ซึ่งเป็นสมการที่อธิบายสภาพการไหลในลำน้ำแบบมิติเดียว (One Dimension) โดยมีสมมุติฐานเบื้องต้น คือ

ก. น้ำเป็นของเหลวที่ไม่สามารถอัดได้ (Incompressible) และความหนาแน่นคงที่ตลอดการไหล

ข. ความลาดชันท้องลำน้ำมีค่าน้อย (Mild Slope)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 24 โครงสร้างของ Modules ต่างๆ ในแบบจำลอง MIKE 11 ตลอดจนการเชื่อมโยงแต่ละ Module เข้าด้วยกัน

ที่มา: U.S. MIKE 11 Reference Manual (1995)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค. การไหลเป็นแบบมิติเดียว (One Dimension) ความลึกและความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตามความยาวของลำน้ำ

ง. สภาพการไหลเป็นแบบต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical Flow)

รูปแบบสมการ Saint Venant จะประกอบไปด้วยสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนต์ตัม (Continuity and Momentum Equations) แบบมิติเดียว (One Dimension) ซึ่งรูปสมการแสดงได้ดังนี้

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \qquad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \qquad (2)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

q คือ อัตราการไหลเข้าด้านข้าง (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อเมตร)

h คือ ระดับน้ำเหนือระดับอ้างอิง (เมตร)

C คือ Chezy Coefficient (เมตร)

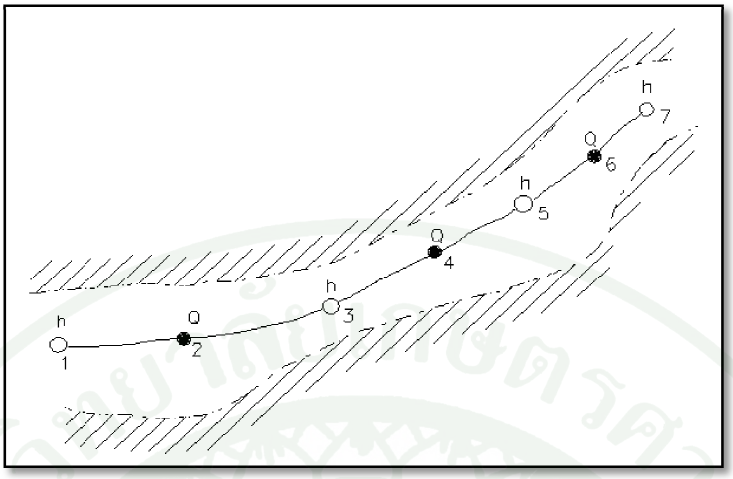
R คือ รัศมีชลศาสตร์ (เมตร)

α คือ สัมประสิทธิ์โมเมนต์ตัม

วิธีการคำนวณหาคำตอบ

การหาคำตอบจากสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนต์ตัม อาศัยวิธีการ Implicit Finite Difference ที่พัฒนาโดย Abbott และ Lonescu ทั้งนี้ค่าอัตราการไหล (Q) และระดับน้ำ (h) จะคำนวณที่ตำแหน่งสลับกันดังแสดงในภาพที่ 25 ตำแหน่งเหล่านี้จะกำหนดขึ้นโดยอัตโนมัติในแบบจำลองตามความต้องการของผู้ใช้ ตำแหน่งที่คำนวณค่าระดับน้ำจะอยู่ที่จุดที่กำหนดหน้าตัด ส่วนตำแหน่งที่คำนวณอัตราการไหลจะอยู่กึ่งกลางระหว่างตำแหน่งที่คำนวณระดับน้ำและที่ตำแหน่งอาคารชลศาสตร์ค่าอัตราการไหลจะมีค่าเป็นบวกเมื่อน้ำไหลไปในทิศทางท้ายน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 25 ตำแหน่งที่คำนวณอัตราการไหล และระดับน้ำ

ที่มา: MIKE11 Reference Manual (1995)

ความต้านทานที่ท้องลำน้ำ

แบบจำลองนี้จะทำการวิเคราะห์ความต้านทานของการไหลเนื่องจากความเสียดทานที่ท้องน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการของ Chezy หรือ Manning สำหรับสมการ Chezy แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3

$$Q = AC\sqrt{RS} \qquad (3)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)
R คือ รัศมีชลศาสตร์ (เมตร)
C คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Chezy

สำหรับสมการ Manning แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อ n คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Manning

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} = MAR^{2/3} S^{1/2} \tag{4}$$

M คือ Manning number ซึ่งมีค่าสมมูลกับสัมประสิทธิ์ของ Strickler

ค่า M คือ ส่วนกลับของ Manning Coefficient n (M = 1/n) โดยค่า Manning's n มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.01 จนถึง 0.10 ดังนั้นค่า M ที่สอดคล้องกันจะมีค่าตั้งแต่ 100 ถึง 10

สัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ของ Manning ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ โดย Cunge et al. (1980) แสดงได้ดังสมการที่ 5

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = MR^{1/6} \tag{5}$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล (C,n หรือ M) นั้นสามารถประเมินได้โดยการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) โดยปรับเทียบระหว่างลักษณะทางกายภาพที่ได้จากแบบจำลอง และลักษณะทางกายภาพของสภาพความเป็นจริงที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม นอกจากนี้ยังสามารถประเมินค่า Manning's n ได้จากการประมาณการไหลในทางน้ำเปิดทั่วไป ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2

สภาพเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

เงื่อนไขขอบเขตที่ต้องกำหนดในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (HD Module) แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขขอบเขต คือ

ก. ขอบเขตด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูล

1) อัตราการไหลคงที่จากอ่างเก็บน้ำ
2) อัตราการไหลของกราฟน้ำท่าจากเหตุการณ์ต่าง ๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานที่ท้องลำน้ำของทางน้ำเปิด

ชนิดทางน้ำเปิด	**ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน Manning's n**
Concrete	0.012
Gravel bottom with sides	
- Concrete	0.020
- mortared stone	0.023
- riprap	0.033
Natural stream channels	
Clean, straight stream	0.030
Clean, winding stream	0.040
Winding with weeds and pools	0.050
With heavy brush and timber	0.100
Flood Plain	
Pasture	0.035
Field crop	0.040
Light brush and weeds	0.050
Dense brush	0.070
Dense trees	0.100

ที่มา: ภูวดล (2544)

ข. ขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูล

1) ระดับน้ำคงที่ เช่น ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่
2) ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น ระดับขึ้นลงของน้ำทะเล
3) โค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับและอัตราการไหล (Rating Curve)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เงื่อนไขเสถียรภาพ (Stability Condition)

เสถียรภาพและความถูกต้องแม่นยำของวิธีการในการแก้สมการ Finite Difference ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้ คือ

ก. Courant Condition (Cr) โดยทั่วไปค่าของ Cr จะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15

$$C_r = \frac{\Delta t(v + \sqrt{gy})}{\Delta x} \leq 10\text{-}15 \qquad (6)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วที่หน้าตัดการไหล (เมตรต่อวินาที)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาที^{2})

y คือ ความลึก (เมตร)

t คือ ช่วงเวลา(วินาที)

x คือ ระยะทางระหว่างกริดที่คำนวณ (เมตร)

ข. Velocity Condition เงื่อนไขความเร็วจะเป็นตัวกำหนดค่า Time Step โดยสมการที่ 7 จะเป็นสมการที่กำหนดค่า Time Step ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดขวาง (Cross-section) อย่างรวดเร็ว

$$\frac{v\Delta t}{\Delta x} \leq 1\text{-}2 \qquad (7)$$

3.1.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11-AD

แบบจำลองการพาและแพร่กระจายนั้น สามารถอธิบายถึงกลไกการเคลื่อนที่ของสารในลำน้ำ โดยสามารถอธิบายได้ใน 2 ลักษณะ (ยุวเรศ, 2550) ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก. การพา (Advective or Convective Transport)

การพาเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยอิทธิพลการไหลของน้ำ ทิศทางการเคลื่อนที่กับทิศทางการไหล ในบริเวณปากแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลกระแสน้ำขึ้นน้ำลงจากทะเล จะมีทิศทางบวกเมื่อการไหลของน้ำไหลออกสู่ทะเล และจะมีทิศทางลบเมื่อไหลย้อนกลับไปในแม่น้ำ

ข. การแพร่กระจาย (Dispersive Transport)

การแพร่ (Diffuse) เป็นการเคลื่อนที่ของสารในลักษณะฟุ้งกระจายทุกทิศทุกทาง เมื่อรวมกับการเคลื่อนที่ของทิศทางการไหลของน้ำจะเกิดกระบวนการการแพร่กระจาย (Dispersion) ในทิศทางการไหลของน้ำ

การแพร่กระจายมวลสาร สามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะตามแนวการแพร่กระจายคือ

1) การแพร่กระจายแนวดิ่ง (Vertical Dispersion)
2) การแพร่กระจายแนวขวาง (Horizontal or Lateral Dispersion)
3) การแพร่กระจายแนวยาว (Longitudinal Dispersion)

ในการแพร่กระจายทั้ง 3 ลักษณะ มีความสำคัญต่อการผสมผสานของมวลสารในแหล่งน้ำเป็นอย่างมาก โดยมีความสำคัญมากกว่าการแพร่ในระดับโมเลกุล (Molecular Diffusion) และการแพร่กระจายความร้อน (Thermal Diffusion)

เนื่องจากแบบจำลอง MIKE 11 AD เป็นแบบจำลองแบบ 1 มิติ จึงพิจารณาการแพร่กระจายสารในลักษณะแนวยาวตามลักษณะการไหลของลำน้ำ จากการเคลื่อนย้ายสารใน 2 ลักษณะที่กล่าวมาตามวิธีการของ Taylor และ Holley (Fischer,1967) แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{v\partial C}{\partial x} + D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \qquad (8)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารในน้ำ (g/m^3)

u = ความเร็วของการไหลในลำน้ำ (m/s)

D_x = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)

(Longitudinal Dispersion Coefficient)

สารต่างๆ ที่อยู่ในลำน้ำ มีลักษณะการเคลื่อนที่ใน 2 ลักษณะดังที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ การพาและการแพร่กระจาย ซึ่งลักษณะดังกล่าวนั้นจะใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของสารประเภทคงตัว (Conservative Substance) ได้ดี แต่สำหรับสารประเภทไม่คงตัว (Non-Conservative Substance) จะมีกระบวนการเพิ่มขึ้นคือการเกิดปฏิกิริยาโดยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -KC \tag{9}$$

เมื่อ K = สัมประสิทธิ์การย่อยสลายแบบเส้นตรง (s^{-1})

(Linear Decay Coefficient)

จากหลักการที่ได้กล่าวมา สามารถสรุปสมการที่ใช้อธิบายการแพร่กระจายของสารในลำน้ำได้ดังนี้ (DHI, 1995)

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(AD\frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_s.q \tag{10}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารในน้ำ (g/m^3)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)

A = พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (m^2)

K = สัมประสิทธิ์การย่อยสลายแบบเส้นตรง (s^{-1})

C_s = ความเข้มข้นของสารที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำ

(Source/Sink Concentration, g/m^3)

q = อัตราการไหลของน้ำทิ้งลงสู่ลำน้ำ ($m^3/s/m$)

x = ระยะห่างระหว่างตำแหน่งกริด (Space Coordinate,m)

t = เวลา (Time Coordinate,t)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

เงื่อนไขขอบเขตที่ต้องพิจารณาในแบบจำลองการพาและแพร่กระจายนั้น ประกอบด้วย 3 ขอบเขตคือ

ค. ขอบเขตเปิดการไหลออก (Open Boundary Outflow) ซึ่งเป็นขอบเขตที่มีการเชื่อมต่อกับพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ เช่นทะเลหรือทะเลสาบ เป็นต้น

ขอบเขตเปิดการไหลออกแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0 \qquad (11)$$

ง. ขอบเขตเปิดการไหลเข้า (Open Boundary Inflow)

ความเข้มข้นของสารในลำน้ำทั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือเป็นค่าคงที่ ณ ขอบเขตการไหลเข้าจะมีค่าที่คล้ายคลึงกับปริมาณการไหลของน้ำหรือระดับน้ำ

ขอบเขตการไหลออกเข้าสู่เป็นขอบเขตการไหลเข้านี้ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขขอบการไหล สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C = C_{bf} + \left(C_{out} - C_{bf}\right)e^{-t_{mix} \cdot K_{mix}} \qquad (12)$$

เมื่อ C_{bf} = ความเข้มข้นของสารในลำน้ำที่ขอบเขต

C_{out} = ความเข้มข้นของสารในลำน้ำที่ขอบเขตที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วก่อนเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำ

K_{mix} = ค่า Time Scale, hr-1

t_{mix} = เวลาตั้งแต่เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จ. ขอบเขตปิด (Close Boundary) เป็นขอบเขตที่ไม่มีการเชื่อมต่อกับภายนอก หรือเป็นขอบเขตที่สารประกอบในน้ำไม่สามารถเคลื่อนย้ายหรือออกไปจากขอบเขตโครงข่ายลำน้ำได้ เช่น บริเวณเขื่อน เป็นต้น

ที่ขอบเขตปิดนี้ไม่มีการไหลผ่านซึ่งเงื่อนไขของขอบเขตคือ Q = 0 แสดงดังสมการต่อไปนี้

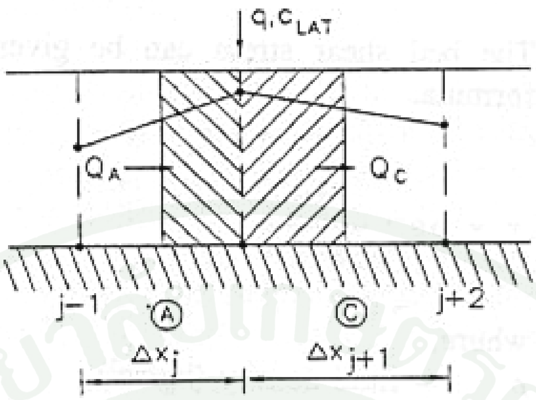
$$\frac{\partial C}{\partial x} = 0 \qquad (13)$$

การคำนวณของแบบจำลอง

การคำนวณสมการความสมดุลของมวลสารในลำน้ำแบบหนึ่งมิตินั้น ใช้วิธี Implicite Finite Difference เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ โดยอาศัยหลักการของแบบจำลองกล่อง (Box-Model Principle) โดยสมการจะพิจารณาการไหลของมวลฟลักซ์ (Mass Flux) ที่เข้ามาในพื้นที่กล่องที่อยู่โดยรอบจุด j หรืออธิบายได้ว่ามีการไหลผ่านช่วงของลำน้ำด้านเหนือและด้านท้ายจุด j ซึ่งขอบเขตของกล่องหรือช่วงลำน้ำประกอบด้วย ท้องลำน้ำ ผิวน้ำ หน้าตัดที่ตำแหน่ง j - ½ และ j + ½ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 26

สมการที่พิจารณามี 2 สมการคือ สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการการพาและแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Equation)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 26 ช่วงลำน้ำแสดงหน้าตัดที่กำหนดอัตราการไหล

ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1995)

ฉ. สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation)

$$\frac{V_j^{n+\frac{1}{2}} C_j^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} - \frac{V_j^{n} C_j^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} + T_{j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} - T_{j-\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} = q^{n+\frac{1}{2}} C_q^{n+\frac{1}{2}} - V_j^{n+\frac{1}{2}} K \qquad (14)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารในน้ำ (g/m^3)

V = ปริมาตรของช่วงลำน้ำที่พิจารณา (m^3)

T = อัตราการไหลของมวลผ่านหน้าตัดที่พิจารณา (g/s)

q = อัตราการไหลเข้าด้านข้าง ($m^3/s/m$)

t = ช่วงเวลา (s)

C_q = ความเข้มข้นของสารในน้ำที่ไหลเข้าด้านข้าง (g/m^3)

K = สัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Linear Decay Coefficient, s^{-1})

j = ตำแหน่ง (Grid Point)

n = จำนวนช่วงเวลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ช. สมการการพาและแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Equation)

$$T_{j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} = Q_{j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} C_{j+\frac{1}{2}}^{*} - A_{j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} D \frac{C_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} - C_{j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} \quad (15)$$

เมื่อ $Q_{j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}}$ = อัตราการไหลที่หน้าตัดด้านขวาของช่วงลำน้ำ ($m^3/s/m$)

$A_{j+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}}$ = พื้นที่หน้าตัดที่ด้านขวาของช่วงลำน้ำ (m^2)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient, m^2/s)

$C_{j+\frac{1}{2}}^{*}$ = ความเข้มข้นเฉลี่ยทางเหนือน้ำ (g/m^3) ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$C_{j+\frac{1}{2}}^{*} = \frac{1}{4}\left(C_{j+1}^{n+1} + C_{j}^{n+1} + C_{j+1}^{n} + C_{j}^{n}\right) - \min\left\{\frac{1}{6}\left(1+\frac{\sigma^2}{2}\right), \frac{1}{4\sigma}\right\}.\left(C_{j+1}^{n} - 2C_{j}^{n} + C_{j-1}^{n}\right) \quad (16)$$

เมื่อ σ คือ Courant Number ($U\Delta t/\Delta x$)

แทนค่า $C^{*}_{j+1/2}$ ลงในสมการที่ (16) และจัดเทอมใหม่จะได้สมการ Implicite Finite Difference ที่สามารถคำนวณความเข้มข้นของสารในลำน้ำทั้งสามตำแหน่งกริดที่ติดกันได้ดังสมการ

$$\alpha_j C_{j-1}^{n+1} + \beta_j C_{j}^{n+1} + \gamma_j C_{j+1}^{n+1} = \delta_j \quad (17)$$

เมื่อกำหนดขอบเขต (Boundary) และเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) ที่เหมาะสมก็สามารถหาคำตอบของสมการข้างต้นได้ ซึ่งจะเป็นค่าความเข้มข้นของสารในลำน้ำ (C) ที่ตำแหน่ง Grid Point ต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา (t)

สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient)

การพิจารณาการแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ จะพิจารณาตามความยาวของลำน้ำเป็นสำคัญ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเร็วการไหลแบบไม่คงที่ตามเวลา (Non-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

uniform Velocity) และการแพร่กระจาย (Diffusion) โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเป็นฟังก์ชั่นของความเร็วการไหลเฉลี่ย (Mean Flow Velocity) ซึ่งอาศัยหลักการแพร่กระจายของ Fick (Fick Diffusion Law) โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสามารถคำนวณได้จากสมการในรูปทั่วๆไปดังนี้

$$D_f = fv^{exp} \tag{18}$$

เมื่อ D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)

f = แฟคเตอร์การแพร่กระจาย

V = ความเร็วการไหล (m/s)

exp = ค่าคงที่ยกกำลัง (Dimensionless Exponent)

ถ้า exp = 0 แล้ว ความเร็วของการไหลจะไม่มีอิทธิพลต่อความเร็วการแพร่กระจาย และหน่วยของแฟคเตอร์การแพร่กระจาย (f) จะเป็นตารางเมตรต่อวินาที (m^2/s)

ถ้า exp = 1 แล้ว ความเร็วของการไหลจะเป็นฟังก์ชั่นแบบเส้นตรงกับสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย และหน่วยของแฟคเตอร์การแพร่กระจาย (f) จะเป็นเมตร(m)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแม่น้ำ โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5-10 ตารางเมตรต่อวินาที และจะเพิ่มเป็น 15-200 ตารางเมตรต่อวินาที เมื่อเกิดอิทธิพลการไหลแบบ 2 มิติ เมื่อการเกิดกระแสลมแรงหรือเกิดอิทธิพลจากระดับน้ำขึ้นลงบริเวณปากแม่น้ำ (DHI, 1995)

ซ. ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายประกอบด้วย

1) อัตราการไหลของน้ำ

จากสมการของ Fischer แสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายแปรผันโดยตรงกับความเร็วหรืออัตราการไหล โดยเมื่ออัตราการไหลเพิ่มสัมประสิทธิ์จะเพิ่มขึ้นด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) สถานที่ (กรณีแม่น้ำติดต่อกับทะเลและปากแม่น้ำ)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทางตอนล่างของลำน้ำ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากหลายๆปัจจัยที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เปลี่ยนแปลง เช่น ลักษณะลำน้ำ กระแสน้ำขึ้นน้ำลง เป็นต้น

3) กระแสน้ำขึ้นน้ำลงและความเร็วลม

กระแสน้ำขึ้นน้ำลง ส่งผลต่อการแพร่กระจายสารเนื่องจากการขึ้นลงของน้ำทำให้น้ำเปลี่ยนแปลงความเร็ว ซึ่งบริเวณที่น้ำขึ้นน้ำลงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วตลอดเวลาและจะส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย โดยสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสำหรับแหล่งน้ำประเภทนี้จะมีค่าเป็นช่วง อีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายคือความเร็วลม โดยการแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น

ฌ. การประมาณค่าเบื้องต้นของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายหาได้โดยวิธีการดังนี้

1) จากการทดลอง โดยทำการหาค่าจากการสำรวจจริงในพื้นที่ เช่น การศึกษาลักษณะการไหลของสีย้อม (Dye Study) เป็นต้น

2) จากการคำนวณโดยอาศัยสมการที่ได้ทำการศึกษาไว้ เพื่อให้สามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายได้อย่างใกล้เคียงและถูกต้อง โดยสมการที่นิยมใช้คือสมการของ Fischer ดังนี้

$$D_x = \frac{0.011 v^2 W^2}{d v^*} \tag{19}$$

$$v^* = \sqrt{gds} \tag{20}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อ D_x = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)

v = ความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัดลำน้ำ (m/s)

W = ความกว้างของลำน้ำ (m)

d = ความลึกของลำน้ำ (m)

v* = ความเร็วเฉือน (Shear Velocity)

g = แรงโน้มถ่วงโลก (m^2/s)

s = ความลาดท้องน้ำ

แบบจำลอง MIKE 11 AD ได้แนะนำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายจากสมการดังนี้ (DHI,1995)

$$D_x = fv^{exp} \tag{21}$$

เมื่อ D_x = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)

f = Dispersion Factor

v = ความเร็วการไหล (m/s)

exp = ค่ายกกำลัง (Dimensionless Exponent)

เงื่อนไขเสถียรภาพ

การคำนวณของแบบจำลองการพาและแพร่กระจายจะมีเสถียรภาพหรือไม่สามารถตรวจสอบได้จากค่า P_e ดังสมการต่อไปนี้

$$P_e = \frac{V\Delta x}{D} > 2 \tag{22}$$

เมื่อ P_e = Peclet Number

V = ความเร็วการไหล (m/s)

Δx = ระยะทางระหว่างกริดที่คำนวณ (m)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ช่วงของระยะและเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับค่า Cr ซึ่งต้องน้อยกว่า 1 ดังสมการ

$$C_r = \frac{V\Delta t}{\Delta x} < 1 \quad (23)$$

3.1.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE21

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้คัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE21 (DHI, 2008) มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเพื่อจำลองการไหลของน้ำบริเวณปากแม่น้ำและทะเล โดยแบบจำลองดังกล่าว เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นโดย DHI Water Environment and Health เพื่อจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ในพื้นที่ที่เป็นทะเลสาบ ปากแม่น้ำ หรือพื้นที่ชายฝั่งทะเล ซึ่งเหมาะสำหรับการศึกษาทางด้านต่างๆ ได้แก่

- วิศวกรรมชายฝั่งทะเลและสมุทรศาสตร์
- วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและชลศาสตร์ในทะเล
- การเคลื่อนตัวของตะกอน
- การวิเคราะห์คลื่นในทะเล
- การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

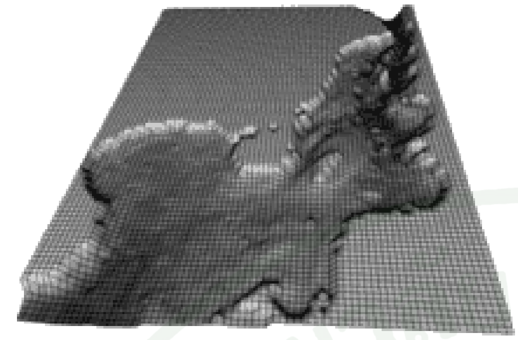
แบบจำลอง MIKE21 ได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างภูมิประเทศใต้ท้องทะเล (Bathymetry) แบ่งออกเป็น 4 แบบ ประกอบด้วย Single Grid, Multiple Grids, Curvilinear Grid และ Flexible Mesh ดังแสดงในภาพที่ 27 โดยในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกใช้ Flexible Mesh ซึ่งนับว่าเป็นเครื่องมือใหม่ล่าสุดที่ถูกพัฒนาขึ้นและเริ่มนำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรมชายฝั่งทะเล (Coastal Engineering) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2002 เป็นต้นมา โดยมีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในการจำลองแบบการไหลให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดกว้างใหญ่และมีความซับซ้อน ซึ่งอาจจะมีความละเอียด (resolution) ของข้อมูลภูมิประเทศใต้ท้องทะเล (Bathymetry) ที่แตกต่างกัน กล่าวคือสามารถวิเคราะห์แบบลงรายละเอียดโดยเน้นเฉพาะพื้นที่บางแห่งที่มีข้อมูลละเอียดกว่าอีกพื้นที่หนึ่งซึ่งอยู่ภายในพื้นที่ศึกษาเดียวกันได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

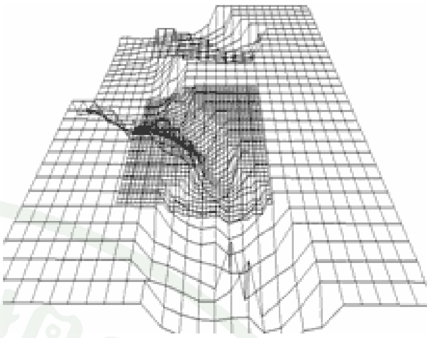
สำหรับ Flexible Mesh ที่สร้างขึ้นสำหรับแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิตินั้นแบ่งออกเป็นสองแบบคือ Triangles และ Quadrilateral Element ส่วนถ้าต้องการจำลองแบบการไหลแบบ 3 มิตินั้นจะต้องเพิ่มในส่วนของ Prism หรือ Brick Element เข้ามาพิจารณาด้วยดังแสดงตัวอย่างของ Mesh ในแบบ 3 มิติในภาพที่ 28

แบบจำลอง MIKE21 นั้นตั้งอยู่บนพื้นฐานของการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อคำนวณการไหลในแบบ 1 มิติและ 2 มิติ ตามลำดับ โดยใช้สมการของ Reynolds Averaged Navier-Stokes บนสมมติฐานของ Boussinesq และแรงดัน Hydrostatic โดยใช้เทคนิควิธีหาผลเฉลย (Solution Technique) ที่เรียกว่า วิธี Cell-centred Finite Volume (DHI, 2008) โดยแบบจำลองนี้จะประกอบด้วยสมการต่อเนื่อง, สมการโมเมนตัมในแนวราบแกน X และแกน Y, สมการอุณหภูมิ, สมการความเค็ม, และสมการความหนาแน่นซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 23 ถึงสมการที่ 28 ตามลำดับ

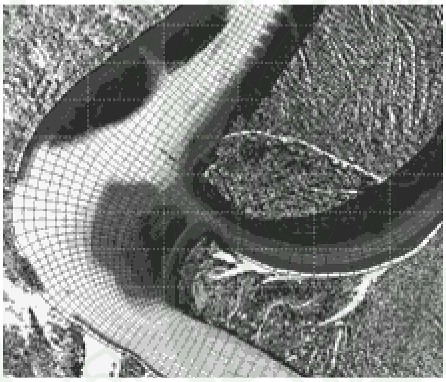
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



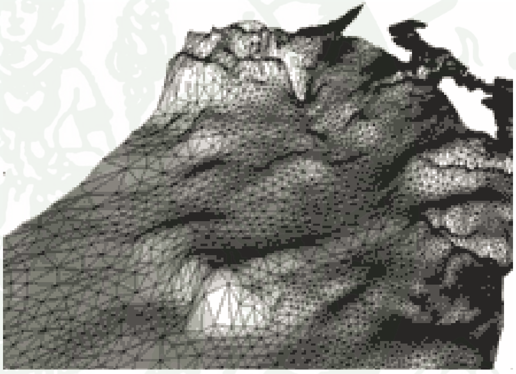
(ก) Single Grid



(ข) Multiple Grids



(ค) Curvilinear Grid

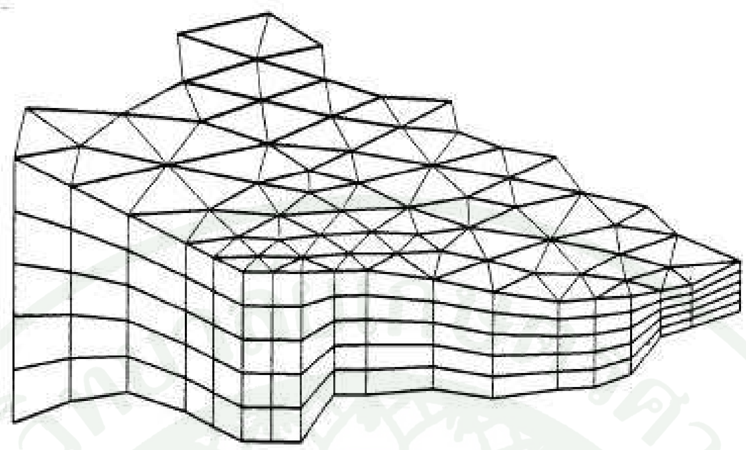


(ง) Flexible Mesh

ภาพที่ 27 ประเภทของการสร้าง Bathymetry

ที่มา: DHI (2008)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 28 ตัวอย่างของการสร้าง Mesh แบบ 3 มิติ

ที่มา: DHI (2008)

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z} = S \tag{24}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial u^2}{\partial x}+\frac{\partial vu}{\partial y}+\frac{\partial wu}{\partial z}= fv-g\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x}-\frac{g}{\rho_0}\int_z^{\eta}\frac{\partial \rho}{\partial x}dz+F_u+\frac{\partial}{\partial z}\left(v_t\frac{\partial u}{\partial z}\right)+u_sS \tag{25}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial v^2}{\partial y}+\frac{\partial uv}{\partial x}+\frac{\partial wv}{\partial z}= fu-g\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y}-\frac{g}{\rho_0}\int_z^{\eta}\frac{\partial \rho}{\partial y}dz+F_v+\frac{\partial}{\partial z}\left(v_t\frac{\partial v}{\partial z}\right)+v_sS \tag{26}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial uT}{\partial x}+\frac{\partial vT}{\partial y}+\frac{\partial wT}{\partial z}=F_T+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_v\frac{\partial T}{\partial z}\right)+\hat{H}+T_sS \tag{27}$$

$$\frac{\partial s}{\partial t}+\frac{\partial us}{\partial x}+\frac{\partial vs}{\partial y}+\frac{\partial ws}{\partial z}=F_s+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_v\frac{\partial s}{\partial z}\right)+s_sS \tag{28}$$

$$\left(F_T,F_s\right)=\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(D_h\frac{\partial}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(D_h\frac{\partial}{\partial y}\right)\right]\left(T,s\right) \tag{29}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อ t = ระยะเวลา (time)

x, y, z = ระบบพิกัด Cartesian (Cartesian coordinate)

u, v, w = ทิศทางของความเร็วการไหล (Flow Velocity Components)

T, s = ค่าอุณหภูมิน้ำและค่าความเค็ม (Temperature and Salinity)

D_v = ค่าสัมประสิทธิ์ Diffusion ในแนวดิ่ง (Vertical Turbulent (eddy) Diffusion Coefficient)

$\hat{H}$ = เทอมของแหล่งกำเนิดเนื่องจากการแลกเปลี่ยนกับความร้อนพื้นผิว (Source term due to heat exchange with atmosphere)

S = ขนาดของปริมาณการไหลเนื่องจากแหล่งกำเนิดที่เป็นจุด (Magnitude of discharge due to point sources)

T_s, s_s = แหล่งกำเนิดอุณหภูมิน้ำและค่าความเค็ม (Temperature and salinity of source)

F_T, F_s = เทอมของ Diffusion ในแนวนอน (horizontal diffusion terms)

D_h = ค่าสัมประสิทธิ์ Diffusion ในแนวนอน (horizontal diffusion coefficient)

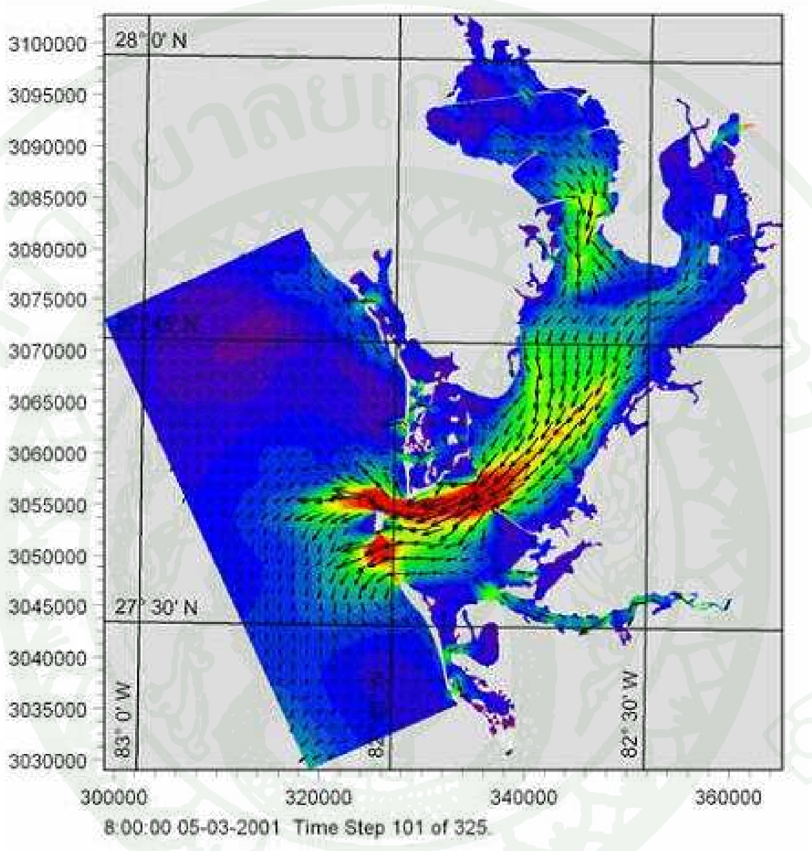
h = ความลึกการไหล (depth)

สำหรับตัวอย่างการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE21 ในต่างประเทศ แสดงได้ดังภาพที่ 29 เป็นการจำลองการไหลของน้ำแบบ 2 มิติ บริเวณ Tempa Bay รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการจำลองการไหลแบบ 3 มิติทั้งหมดในระบบแหล่งน้ำนั้น มักจะไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากมีความซับซ้อนมากเกินไป ดังนั้นผู้เชี่ยวชาญในประเทศ (King, 1993) จึงมีคำแนะนำให้ลดความซับซ้อนลงมา เพื่อให้การประยุกต์ใช้แบบจำลอง 1 มิติและ 2 มิตินั้น ประสบผลสำเร็จในการแง่ของการหาผลเฉลยเชิงตัวเลข ดังแสดงในภาพที่ 30 (ก) ซึ่งแสดงสภาพทางกายภาพของระบบแหล่งน้ำซึ่งประกอบด้วย ระบบแม่น้ำ (river system) ซึ่งไหลมาสู่ปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นที่ราบต่ำและส่วนใหญ่จะมีตะกอนดินและโคลนตกทับถมกันอยู่ (shallow flats) บริเวณตลิ่งทั้งสองข้างของแม่น้ำสายหลัก (main channel) และไหลออกสู่ทะเลซึ่งได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล (tidal exchange with ocean) ดังนั้น ในการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลแบบ 1 มิติและ 2 มิตินั้น จึงมักแบ่งลักษณะการประยุกต์ใช้การจำลองมิติการไหลออกเป็น 4 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 30 (ข) และแสดงรายละเอียดได้ดังนี้ (King, 1993)



ภาพที่ 29 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE21 ในต่างประเทศ

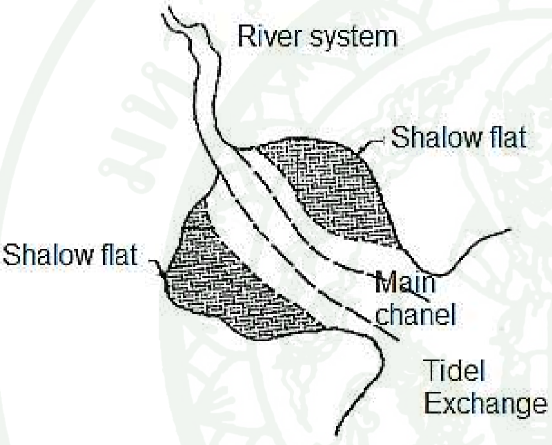
ที่มา: DHI (2008)

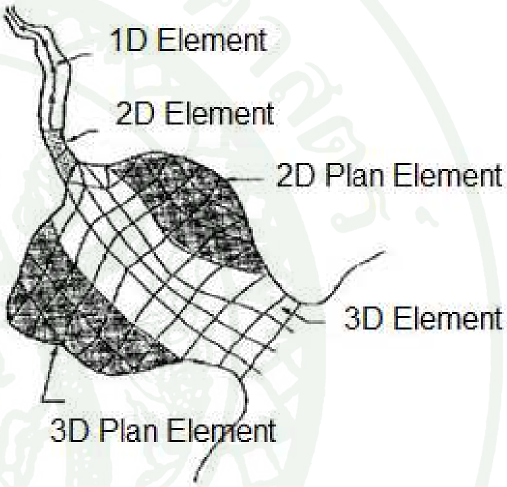
1) การจำลองการไหลแบบหนึ่งมิติ (1-D) จะประยุกต์ใช้สำหรับรูปตัดของระบบแม่น้ำด้านเหนือน้ำของพื้นที่ปากแม่น้ำซึ่งไหลมาด้วย แรงโน้มถ่วงของโลกเป็นหลัก และไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น-น้ำลง (tidal) มากนัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) การจำลองการไหลแบบสองมิติ (2-D with vertical elevation-laterally averaged) จะประยุกต์ใช้สำหรับรูปตัดที่อยู่ใกล้กับปากแม่น้ำ ซึ่งมีลักษณะการไหลแบบชั้น (Stratified flow) แต่การเปลี่ยนแปลงความเร็วการไหลในแนวดิ่งไม่มากนัก

3) การจำลองการไหลแบบสองมิติ (2-D with horizontal plan-vertically averaged) จะประยุกต์ใช้สำหรับพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำที่อยู่ในระดับตื้นเขิน ซึ่งปราศจากการไหลแบบชั้น (Stratified flow)





(ก) สภาพทางกายภาพของระบบแหล่งน้ำ (ข) การผสมผสานการจำลองการไหลของน้ำ

ภาพที่ 30 การจำลองสภาพทางกายภาพของระบบแหล่งน้ำด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

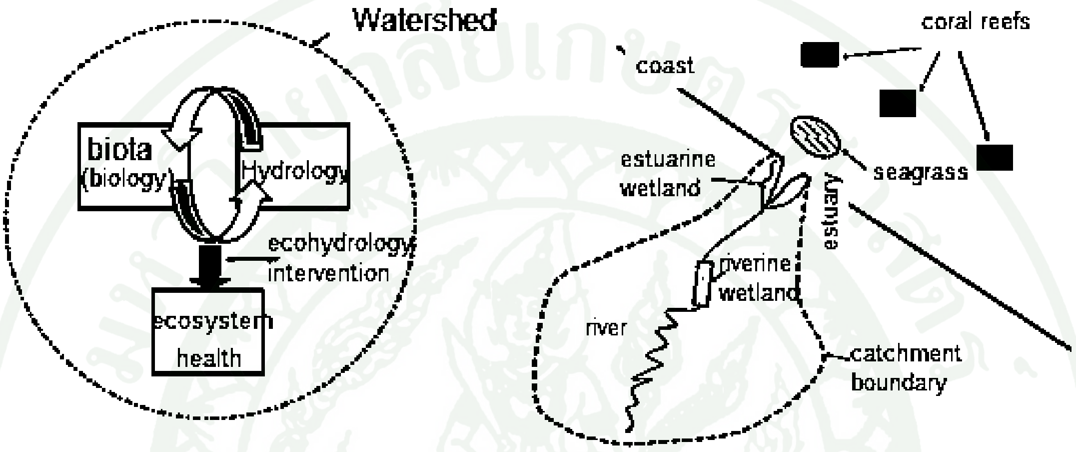
ที่มา: King (1993)

3.2 ทฤษฎีของ Ecohydrology

Ecohydrology เป็นศาสตร์ที่ผสมผสานแขนงวิชาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการระบบลุ่มน้ำ (River Basin Management) ซึ่งตระหนักว่าความเป็นอยู่ของระบบนิเวศวิทยาถูกขับเคลื่อนด้วยการเชื่อมโยงกันระหว่างสภาพทางชีววิทยาและสภาพทางกายภาพ, กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ในระบบลุ่มน้ำทั้งหมด, และการสร้างเสริมแผนการจัดการที่ดีในรับมือกับการรบกวนจากการกระทำของมนุษย์ ดังแสดงหลักการของ Ecohydrology ในภาพที่ 31 (ก) โดยระบบนิเวศวิทยานั้นไม่ได้มีอยู่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เฉพาะบริเวณปากแม่น้ำซึ่งได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล แต่ยังประกอบด้วยระบบลุ่มน้ำทั้งหมดตั้งแต่ต้นน้ำไหลลงสู่ด้านท้ายน้ำ (Riverline) และไหลลงสู่ปากแม่น้ำ (Estuarine) และบริเวณหญ้าทะเล (Sea Grass) และบริเวณแนวปะการัง (Coral Reefs) ในทะเล ดังแสดงในภาพที่ 31 (ข) (Wolanski, 2007)



(ก) (ข)

ภาพที่ 31 หลักการของ Ecohydrology

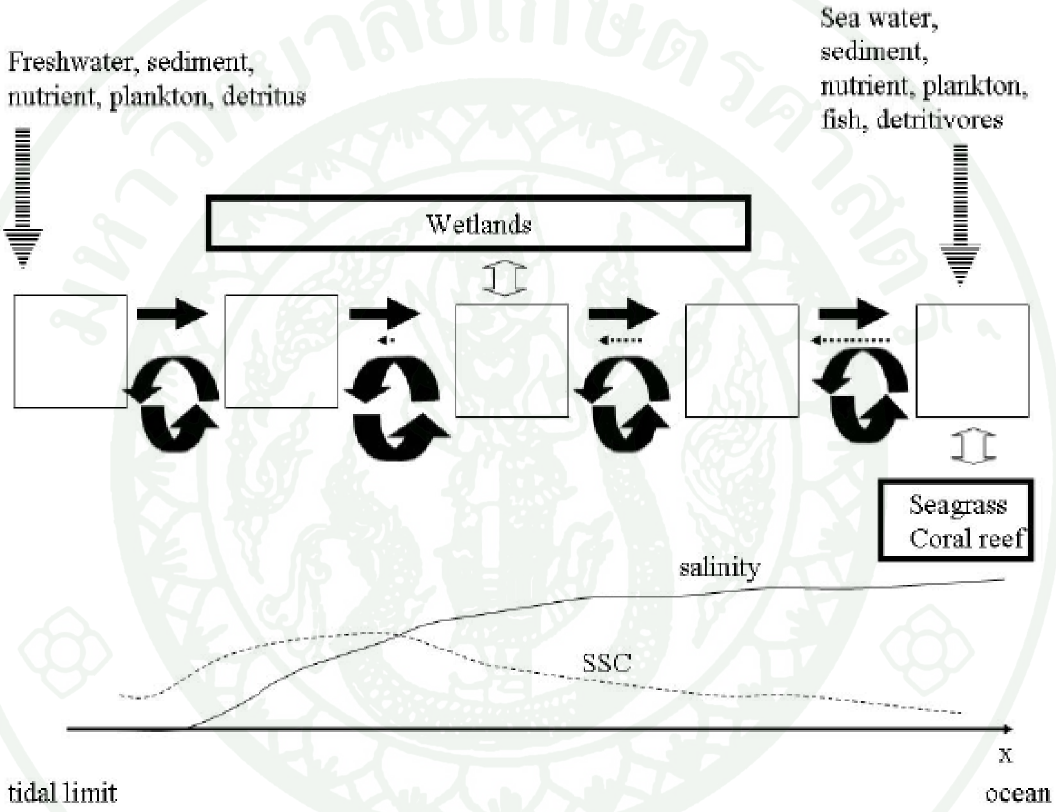
ที่มา: Wolanski (2007)

โดยแบบจำลองทางด้านนิเวศอุทกวิทยา (Ecohydrology) Wolanski (2007) ได้อธิบายเกี่ยวกับลักษณะวิธีการจำลองในกระบวนการทางด้านนิเวศอุทกวิทยาของการเชื่อมต่อและผสมกันของแม่น้ำ (น้ำจืด) และทะเล (น้ำเค็ม) โดยการผสมกันนี้จะเกิดขึ้นในแนวดิ่งและจะขึ้นอยู่กับสภาวะเงื่อนไขของการไหลของน้ำโดยทั่วไปสภาวะการไหลจะเป็นแบบ low flow เพราะจะมีสิ่งก่อสร้าง (เขื่อน)สกัดน้ำด้านเหนือน้ำ ดังนั้นรูปแบบการจำลองการเชื่อมต่อกันของแม่น้ำและทะเลสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 32 (Wolanski, 2007)

จากภาพที่ 32 เป็นแผนภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองย่อยที่บริเวณปากแม่น้ำโดยพิจารณาให้แม่น้ำไหลออกลงสู่ทะเล (ลูกศรสีดำ) โดยจะประกอบไปด้วยน้ำจืด, ตะกอนดิน, สารอาหาร, แพลงก์ตอน และน้ำทะเลเคลื่อนที่เข้าบริเวณปากแม่น้ำ (ลูกศรเส้นประ) โดยจะนำพาน้ำเค็ม, ตะกอนทราย, แพลงก์ตอน, และปลาทะเลเข้ามาด้วย เมื่อน้ำเคลื่อนที่เข้าหากัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จะเกิดการผสมกันบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ (ลูกศรโค้ง) ดังนั้นบริเวณปากแม่น้ำจะเกิดการแลกเปลี่ยนน้ำจืดกับน้ำเค็มในพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางนิเวศใหม่เกิดสายใยอาหารขึ้นการเปลี่ยนแปลงความเค็มที่ขึ้นอยู่ระยะทางตามแนวราบของปากแม่น้ำ ซึ่งความเค็มจะค่อยๆลดลงเมื่อไกลออกไปจากแม่น้ำและน้ำจืดจะค่อยๆลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่มหาสมุทร (Wolanski, 2007)



ภาพที่ 32 แผนภาพการจำลองทางด้าน Ecohydrology

ที่มา: Wolanski (2007)

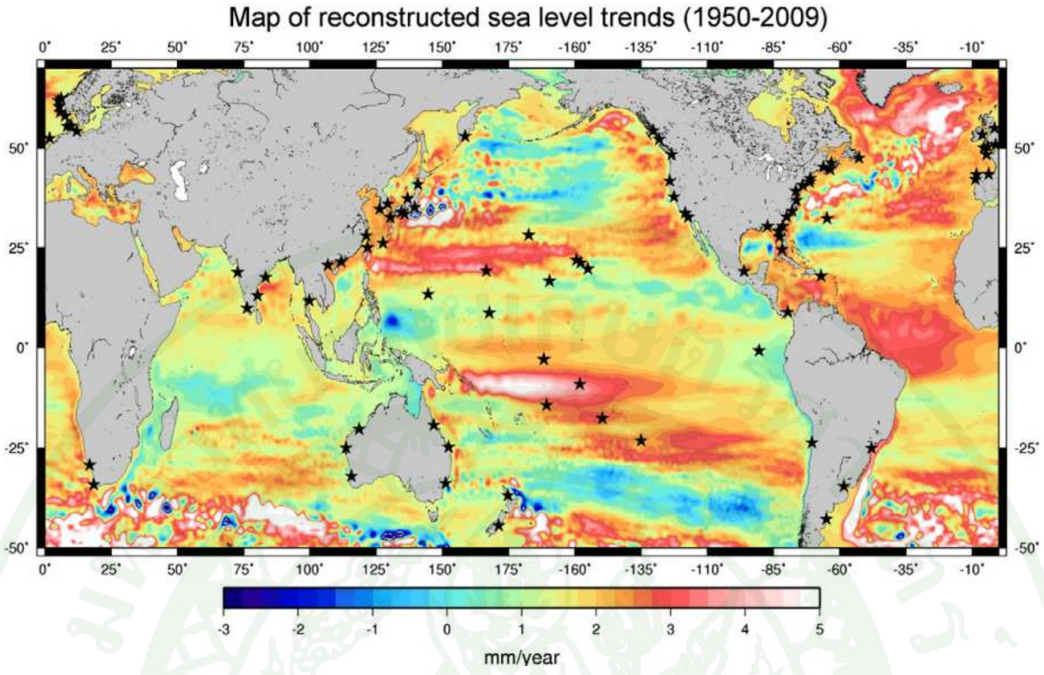
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 สมมติฐาน และกรอบแนวคิดการวิจัย

3.3.1 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล

จากแบบจำลองย่อยที่บริเวณปากแม่น้ำพบว่าคุณภาพน้ำและความเค็มของน้ำในแม่น้ำมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการรุกล้ำของน้ำเค็มเข้าไปในแม่น้ำ ซึ่งการรุกล้ำของน้ำเค็มนี้จะขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำ โดยในสภาวะในปัจจุบัน ระดับน้ำทะเลทั่วโลกได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากอดีตที่ผ่านมาเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาของ Becker *et al.* (2012) พบว่าปรากฏการณ์ El Niño-Southern Oscillation (ENSO) จะมีผลกระทบอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน จากแบบจำลองสามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในปี 1950-2009 มีค่าเท่ากับ 20–30 เซนติเมตร หรือประมาณ 3.3-5.0 มิลลิเมตรต่อปี และจากการศึกษายังพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับน้ำทะเลทั่วโลกที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบันเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำทะเลสูงขึ้นบวกกับน้ำแข็งขั้วโลกละลาย และจากการบันทึกข้อมูลโดยใช้ GPS ทำให้ทราบว่ามีความเป็นไปได้ที่แผ่นดินพื้นผิวโลกในบริเวณที่ศึกษามีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ซึ่งจากผลการร่วมกันของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลอย่างช้าๆ และการเคลื่อนที่ของแผ่นดินจะส่งผลให้บางเกาะในขอบเขตที่ทำการศึกษาได้รับผลกระทบอย่างมากในอนาคตข้างหน้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

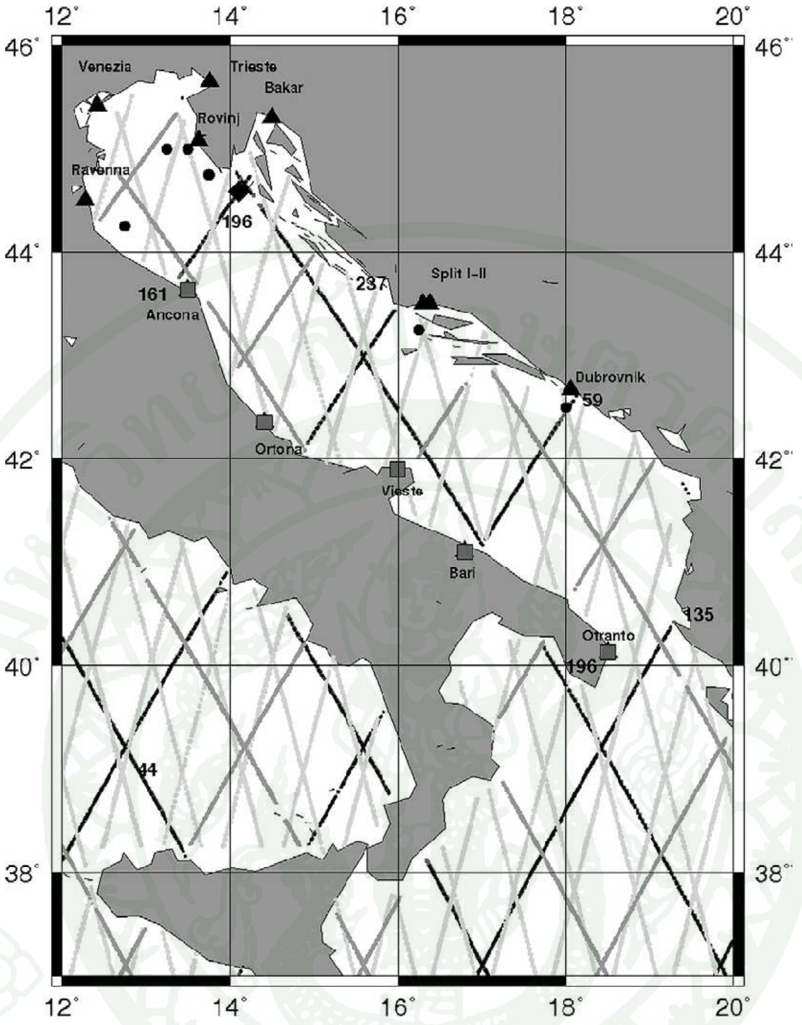


ภาพที่ 33 แผนภาพแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานีที่ใช้ในการศึกษาและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล

ที่มา: Becker *et al.* (2012)

จากภาพที่ 33 จะสังเกตเห็นว่าระดับน้ำทะเลทั่วโลกได้มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นผลจากตัวแปรทางสภาพแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญและยังเป็นข้อบ่งชี้ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกอีกด้วย Luciana *et al.* (2011) ได้ทำการวิจัยศึกษาหาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล Adriatic โดยใช้ข้อมูลของสถานีวัดระดับน้ำและข้อมูลของดาวเทียมในปี 1993-2008 พบว่าระดับน้ำทะเล Adriatic จะเพิ่มขึ้น 3.2 ± 3 มิลลิเมตรต่อปี และนอกจากนั้นข้อมูลทางด้านดาวเทียมยังพบว่าพื้นดินมีการเคลื่อนตัวทรุดลงตามแนวดิ่งซึ่งจากการศึกษาในพื้นที่ทางชายฝั่งของทะเล Adriatic พบว่ามีการทรุดตัว -1.5 ± 1.1 มิลลิเมตรต่อปีในเมือง Marina di Ravenna ในขณะที่เมืองอื่นๆ ทรุดตัว -1.3 ± 1.1 มิลลิเมตรต่อปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

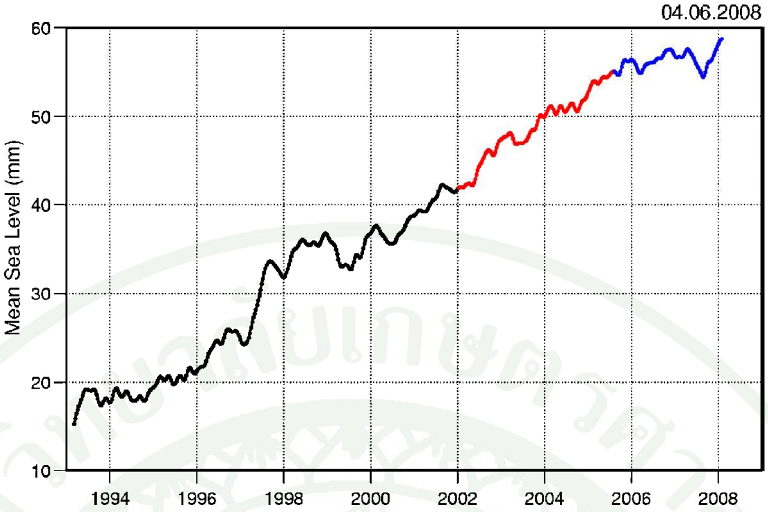


ภาพที่ 34 แผนภาพแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานีและพื้นที่ในการศึกษา

ที่มา: Luciana *et al.* (2011)

และจากการศึกษาในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลของ Anny *et al.* (2008) โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา 15 ปี (1993-2008) พบว่าระดับน้ำทะเลทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 35 ซึ่งจะมีค่าประมาณ 3.1 ± 0.1 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น การขยายตัวของน้ำทะเลเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของมหาสมุทร และปริมาณน้ำที่ไหลลงมหาสมุทรเนื่องจากธารน้ำแข็งขั้วโลกและภูเขาน้ำแข็งเกิดการละลาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 35 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล

ที่มา: Anny *et al.* (2008)

ดังนั้นจากการศึกษาของนักวิจัยต่างที่ผ่านมาสามารถชี้ให้เห็นว่าปัจจุบันโลกกำลังประสบกับปัญหาที่เกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในทุกพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก ซึ่งทำให้ผลกระทบที่ตามมาของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล คือ ทะเลจะมีคลื่นสูงและรุนแรงขึ้นเพราะเนื่องจากมหาสมุทรมีการเพิ่มของระดับน้ำ คลื่นที่รุนแรงนี้จะส่งผลกระทบต่อชายฝั่ง และสิ่งปลูกสร้างในทะเล (Nicolas.C และคณะ, 2010) และนอกเหนือจากคลื่นลมแรงแล้ว การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลยังส่งผลทำให้เกิดน้ำท่วมใหญ่อีกด้วย

3.3.2 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน

จากความสำคัญของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ส่งผลกระทบดังกล่าวทั่วโลก ดังนั้นจึงมีความสำคัญที่จะทำการศึกษาถึงผลกระทบของแม่น้ำและบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน ซึ่งจากการศึกษาถึงแนวโน้มของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่ทำการศึกษาโดย สมมาตร์ เณียมนิล และอิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์ (2550) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายปีในช่วงปี พ.ศ.2483-2546 พบว่าระดับในอ่าวไทยมีการเพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อยประมาณ 0.22-0.81 มิลลิเมตรต่อปี ส่วนที่เกาะหลักระดับน้ำทะเลกำลังลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ด้วยอัตรา 0.5 มิลลิเมตรต่อปี แต่ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ายังมีปัจจัยท้องถิ่นอีกหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลออย่างแท้จริง

ในส่วนของประเทศไทย ที่ผ่านมามีการศึกษาอย่างเป็นระบบค่อนข้างน้อย โดยงานศึกษาของ Neelasri *et al.* (1998) ซึ่งใช้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ.1963-1987 จากสถานีวัดระดับน้ำทะเลสัตหีบและสถานีเกาะหลัก พบว่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยกำลังลดลงด้วยอัตรา 0.3 และ 0.6 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับที่รายงานโดย Vongvisessomjai (2006) ว่าระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่คำนวณจากข้อมูลยาว 56 ปี ในช่วงปี ค.ศ.1940-1996 ของสถานีวัดระดับน้ำสัตหีบและสถานีเกาะหลักกำลังลดลงอย่างช้า ๆ ด้วยอัตราประมาณ 0.36 มิลลิเมตรต่อปี อย่างไรก็ตามตัวเลขของงานวิจัยทั้ง 2 ชิ้น ขัดแย้งกับตัวเลขที่ได้ทำการศึกษาโดย อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์ (2548) ซึ่งใช้ข้อมูลระดับน้ำทะเลที่ของสถานีเกาะหลักและข้อมูลจาก Satellite Altimetry ในช่วงปี พ.ศ.2536-2545 และได้ตัวเลขสอดคล้องกันว่าระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยกำลังเพิ่มขึ้นด้วยอัตราประมาณ 1.5 มิลลิเมตรต่อปี นอกจากนี้ยังขัดแย้งกับผลการศึกษาในบริเวณน่านน้ำของประเทศเพื่อนบ้าน โดยสำหรับประเทศมาเลเซีย รายงานว่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ยกำลังเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 2.4 มิลลิเมตรต่อปี ในขณะที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยของเวียดนามเพิ่มขึ้นในอัตรา 1.75-2.56 มิลลิเมตรต่อปี แล้วแต่สถานี (อิทธิ และคณะ, 2551)

สำหรับน่านน้ำ ที่ไม่ได้มีอาณาบริเวณกว้างใหญ่มากอย่างเช่น อ่าวไทยและทะเลจีนใต้ มีความเป็นไปได้น้อยมากที่บางบริเวณจะมีระดับน้ำลดลง ในขณะที่บางพื้นที่ระดับน้ำทะเลกำลังเพิ่มขึ้น ตัวเลขการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่แย้งกันอยู่เหล่านี้จึงเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาโดยละเอียดเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่แน่ชัดขึ้นเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่กำลังเกิดขึ้นในน่านน้ำไทย (อิทธิ และคณะ,2551)

การที่อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยที่ได้จากงานศึกษาต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแตกต่างกันเกิดจาก 2 ปัจจัยหลักได้แก่จำนวนปีของข้อมูลระดับน้ำทะเลที่ใช้ในการคำนวณและการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นดิน ณ บริเวณสถานีวัดระดับน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปการหาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยจะใช้เทคนิคทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ในการประมวลผลข้อมูลระดับน้ำทะเลเฉลี่ยรายปีเพื่อขจัดผลจากน้ำขึ้นน้ำลงและจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามฤดูกาล (Seasonal Cycle) นอกจากนี้ ยังมีปรากฏการณ์ในทะเลซึ่งมีอิทธิพลต่อระดับน้ำเฉลี่ย เช่น El Nino หรือ La Nina รวมทั้งอาจมีปรากฏการณ์อื่นๆ หรือความ

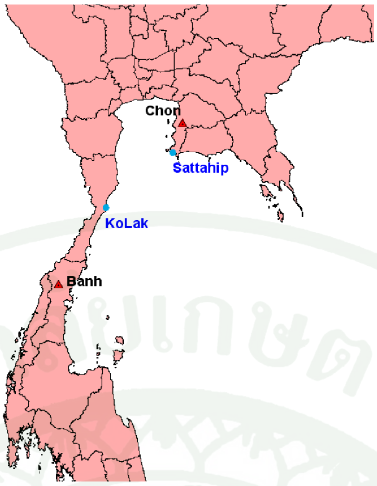
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แปรปรวนอื่น ๆ ที่ไม่เด่นชัดและมีคาบยาว การหาอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยจึงต้องมีข้อมูลเป็นช่วงเวลาที่ยาวพอสมควรอย่างน้อยประมาณ 50 ปีขึ้นไปเพื่อเฉลี่ยค่าความแปรปรวนเหล่านี้ให้หมดไป (อิทธิ และคณะ,2551)

นอกจากนี้ สาเหตุสำคัญอีกประการที่ทำให้อัตราท้องถิ่นของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่ได้จากงานศึกษาชิ้นต่างๆ มีค่าแตกต่างกันคืออัตราการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นดิน (Vertical Motion) บริเวณสถานีวัดระดับน้ำซึ่งเกิดจากปัจจัยต่างๆกันคือ การดีดกลับของเปลือกโลกหลังยุคน้ำแข็ง การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (ทั้งทางราบและทางดิ่ง) การทรุดตัวและยกตัวอันเนื่องมาจากการสูบน้ำบาดาลไปใช้ (อิทธิ และคณะ, 2551) ซึ่งศึกษาทั้งหมดที่กล่าวมาไม่มีการแก้ไขอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยที่คำนวณได้จากการเคลื่อนตัวของแผ่นดิน ทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่าที่คำนวณได้แตกต่างกัน

ดังนั้น อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์ และคณะ (2551) จึงได้ทำการศึกษาถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยโดยนำเอาอัตราการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นดินที่ตรวจจับได้โดยเทคนิคการประมวลผลจุดเดี่ยวความเที่ยงตรงสูงจากข้อมูลจีพีเอส ระหว่าง ปี 2537-2547 ที่ได้จากสถานีรังวัดสองแห่งในชุมพรและชลบุรีมาตรวจแก้อัตราสัมพัทธ์ของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่คำนวณจากข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำเกาะหลักและสัตหีบ โดยค่าที่ประมวลผลได้บ่งชี้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยอยู่ที่ 1.9 ± 0.6 มิลลิเมตรต่อปี และ 5.1 ± 2.0 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับอัตราที่ได้นี้บ่งชี้ว่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยกำลังเพิ่มขึ้น มิใช่ลดลงอย่างที่รายงานไว้ในงานศึกษาบางชิ้นก่อนหน้านี้ ค่าที่สถานีวัดระดับน้ำสัตหีบที่สูงกว่าเกาะหลักเป็นอย่างมากอาจเป็นผลมาจากการทรุดตัวของบริเวณสถานีสัตหีบเองที่โครงสร้างไม่ได้อยู่บนชั้นหินดังเช่นสถานีเกาะหลักและอยู่ใกล้พื้นที่เมืองและนิคมอุตสาหกรรมซึ่งมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

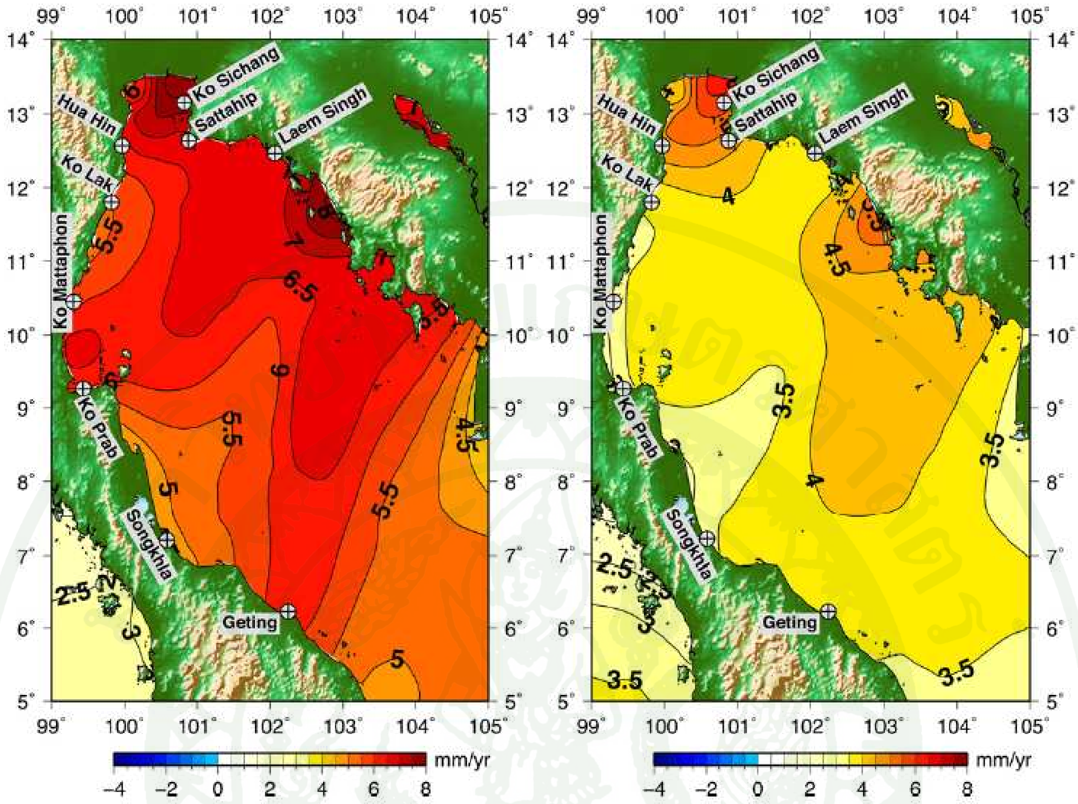


ภาพที่ 36 แผนภาพแสดงตำแหน่งของสถานีวัดระดับน้ำสัตหีบ สถานีวัดระดับน้ำเกาะหลัก และ สถานีรังวัดจีพีเอส CHON และ BANH

ที่มา: อิทธิ และคณะ (2551)

จากนั้นเพื่อเป็นการยืนยันหรือสนับสนุนข้อมูลที่ได้ทำการวิจัยก่อนหน้านี้ Itthi *et al.* (2011) ได้ทำการวิจัยศึกษา โดยได้รวบรวมข้อมูลระยะยาวของการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย (60ปี) และสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลระยะไกล GPS เพื่อทำการศึกษาวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย ซึ่งคำนึงถึงปัจจัยต่างๆได้แก่ ปรากฏการณ์ ENSO น้ำขึ้นน้ำลง การเคลื่อนตัวของพื้นดินทั้งก่อนและหลังการเกิดแผ่นดินไหวใหญ่ในปี 2004 ขนาด 9.2 ริกเตอร์ ที่เกาะสุมาตรา ซึ่งแผ่นดินไหวดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในประเทศไทย ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง อย่างไรก็ตามหลังจากแผ่นดินไหวการเคลื่อนที่ของพื้นดินยังไม่คงที่ เป็นผลให้ข้อมูลของสถานีวัดระดับน้ำหลังจากแผ่นดินไหวไม่เที่ยงตรงเหมือนก่อนการเกิดแผ่นดินไหว พร้อมทั้งจำนวนปีหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวนี้ยังเป็นข้อมูลระยะสั้นกว่าปีที่ผ่านมาทั้งหมดของช่วงก่อนหน้าการเกิดแผ่นดินไหว ผู้วิจัยจึงใช้การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลจากข้อมูลทางด้าน GPS ดังแสดงในภาพที่ 37

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 37 แผนภาพแสดงการกระจายการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยจากปี 1993-2004 (ซ้าย) และจากปี 1993-2009 (ขวา) จาก Multi-satellite altimetry

ที่มา: Itthi *et al.* (2011)

จากภาพที่ 37 แสดงการการกระจายเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย จากปี 1993-2004 และจากปี 1993-2009 จากการสำรวจข้อมูลทางดาวเทียม ในการพิจารณาข้อมูลจากปี 1993-2009 จะเป็นข้อมูลระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลแต่จำเป็นต้องใช้ผลที่ได้จากปี 1993-2004 เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ได้จากข้อมูลของสถานีวัดระดับน้ำเพื่อที่จะแยกในส่วนของการเคลื่อนที่ของแผ่นดินในแนวดิ่ง ดังแสดงได้ตามตารางที่ 3 การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของพื้นดิน (Vertical Land Motion; VLM) สามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่ได้จาก GPS กับระดับน้ำที่ได้จากข้อมูลของสถานีวัดระดับน้ำ ซึ่งการเคลื่อนที่ของแผ่นดินในแนวดิ่ง (VLM) จะเป็นผลต่างของผลที่ได้จากข้อมูลทั้งสอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย

Tidal Station	Altimetry trend 1993-2009 (mm/yr)	Altimetry trend 1993-2004 (mm/yr)	Tide gauge trend 1993-2004 (mm/yr)	VLM (alt-tg) 1993-2004 (mm/yr)
Laem Singh	3.6 ± 0.7	6.6 ± 1.2	10.5 ± 1.1	-3.9 ± 1.6
Sattahip	4.8 ± 0.7	6.9 ± 1.1	3.2 ± 1.6	3.7 ± 1.9
Ko Sichang	5.8 ± 0.8	7.8 ± 1.3	7.6 ± 2.0	0.2 ± 2.4
Hua Hin	4.8 ± 0.8	6.4 ± 1.2	4.8 ± 2.2	1.6 ± 2.5
Ko Lak	3.6 ± 0.7	5.5 ± 1.0	1.9 ± 1.1	3.6 ± 1.5
Ko Mattaphon	3.2 ± 0.7	5.8 ± 0.9	5.8 ± 1.9	0.0 ± 2.1
Ko Prab	3.3 ± 0.6	6.0 ± 1.0	9.9 ± 1.9	-3.9 ± 2.1
Songkhla	3.3 ± 0.6	4.6 ± 1.0	13.0 ± 2.4	-8.4 ± 2.6
Geting	3.9 ± 0.6	6.1 ± 0.8	2.6 ± 1.2	3.5 ± 1.4

ที่มา: Itthi *et al.* (2011)

ดังนั้นจากการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปผลเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยได้ คือใน 60 ปี (1940-2004) แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในตอนเหนือของอ่าวไทยมีค่าดังนี้ ที่ สัตหีบ 5.0 ± 1.3 มิลลิเมตรต่อปี เกาะสีชัง 4.5 ± 1.3 มิลลิเมตรต่อปี และที่เกาะมัตโพน 4.4 ± 1.1 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งการเพิ่มของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยโดยรวมจะอยู่ที่ประมาณ 3-5.5 มิลลิเมตรต่อปี ในบริเวณอ่าวไทย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลดังกล่าวจะส่งผลต่อชายฝั่งทะเลและปากแม่น้ำสำคัญต่างๆ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมืองที่อยู่ในระดับต่ำอย่างเช่นกรุงเทพมหานครเป็นต้น

จากนั้น คงวัฒน์ นีลละศรี (2551) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในน่านน้ำไทย โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำที่มีระยะเวลานาน 15-45 ปี จำนวน 6 สถานี คือ สถานีแหลมสิงห์ หัวหิน เกาะมัตโพน เกาะปราบ ทับละมุ และตะรุเตา แนวโน้มเชิงเส้นของระดับน้ำเฉลี่ยรายปีแสดงการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล ค่อนข้างชัดเจน ตั้งแต่ พ.ศ.2535 - พ.ศ.2550 ระดับน้ำทะเลในน่านน้ำไทยเปลี่ยนสูงขึ้น ประมาณ 3 - 6 มิลลิเมตรต่อปี ข้อมูลระดับน้ำในแม่น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เจ้าพระยาที่หน้ากองบัญชาการกองทัพเรือ มีระยะเวลา 67 ปี ระดับน้ำเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มเชิงเส้นสูงขึ้นตามระยะเวลา โดยเฉพาะตั้งแต่ พ.ศ. 2516 ถึงปัจจุบัน มีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น ประมาณ 4.3 มิลลิเมตรต่อปี และปีที่มีค่าระดับน้ำเฉลี่ยสูง จะสัมพันธ์กับปริมาณฝนที่ตกชุกในภาคเหนือและภาคกลางของประเทศไทย

นอกจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลโดยใช้ข้อมูลทางสถิติย้อนหลังแล้ว คงวัฒน์ นีลละศรี (2551) ยังได้ทำการศึกษาการคาดหมายของสภาวะโลกร้อนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยใช้แบบจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแบบจำลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกของ IPCC กรณีที่มนุษย์ยังมุ่งพัฒนาเศรษฐกิจ โดยไม่ร่วมมือกันป้องกันรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง (Scenarios A2) ใน ค.ศ.2100 อุณหภูมิอากาศจะสูงขึ้น 2.1-3.8 องศาเซลเซียส และระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้น 0.5-1.95 เมตร และกรณีที่มนุษย์พัฒนาเศรษฐกิจโดยให้ความสำคัญกับการป้องกันรักษาสิ่งแวดล้อม และมีความร่วมมือของสังคมโลกอย่างจริงจัง จะช่วยให้วิกฤตสภาวะโลกร้อนลดลงได้ คือ ใน ค.ศ.2100 อุณหภูมิอากาศจะสูงขึ้น 1.0-2.1 องศาเซลเซียส และระดับ น้ำทะเลจะสูงขึ้น 0.5-1.35 เมตร

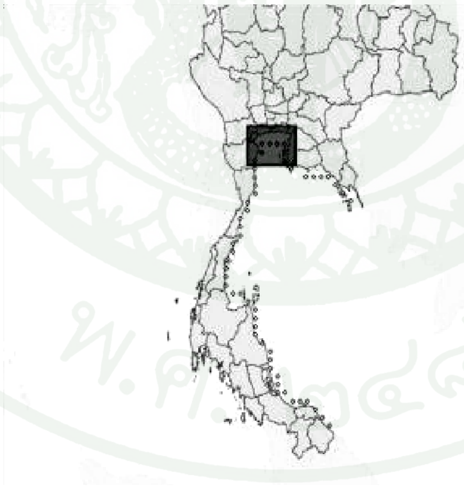
จากแบบจำลองสามารถคาดการณ์ลักษณะลมฟ้าอากาศเมื่อเกิดสภาวะโลกร้อน บรรยากาศจะสะสมพลังงานความร้อนมากขึ้น และมีการถ่ายเทสู่แผ่นดินและมหาสมุทร พลังงานความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น การไหลถ่ายเทพลังงานบนผิวโลกด้วยระบบกระแสลมและกระแสน้ำมหาสมุทร อาจจะไม่สามารถรักษาสภาวะความสมดุลของธรรมชาติได้ เหมือนดังที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะเกิดคลื่นความร้อนที่มีผลทำให้เกิดลมฟ้าอากาศแปรปรวน เกิดพายุลมแรงและมีฝนตกหนักได้บ่อยขึ้น สัมพันธ์กับปริมาณไอน้ำในอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการระเหยของน้ำในมหาสมุทร การเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิน้ำทะเล ย่อมทำให้โอกาสการเกิดพายุบริเวณด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก และตอนเหนือของมหาสมุทรอินเดีย ที่มีความรุนแรงได้บ่อยขึ้น และอุณหภูมิของน้ำทะเลสูงขึ้นจะทำให้มวลน้ำในมหาสมุทรขยายตัว ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงของระดับน้ำทะเล (คงวัฒน์ นีลละศรี, 2551)

คงวัฒน์ นีลละศรี (2551) ยังได้ทำการสรุปถึงผลของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยแบบจำลองของ IPCC ดังกล่าวข้างต้น คาดหมายการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในช่วง ค.ศ. 2000-2050 ระดับน้ำจะสูงขึ้นประมาณปีละ 6 มิลลิเมตร และในช่วง ค.ศ. 2051-2100 ระดับน้ำจะสูงขึ้นปีละ 16 มิลลิเมตร ในกรณีที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตาม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบจำลอง Scenarios A2 หรือระดับน้ำจะสูงขึ้นปีละ 11 มิลลิเมตร ในกรณีที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแบบจำลอง Scenarios B1

ดังนั้นในการศึกษาพยากรณ์การถึงผลกระทบของแม่น้ำและบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนในอนาคต จำเป็นจะต้องคาดหมายของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยในอนาคต ซึ่งที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยหลายๆ ท่านได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอดีตจนถึงปัจจุบันทำให้ทราบถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะสอดคล้องกับรายงานของ SEA START (2010) เรื่อง Preparation of Climate Change Scenarios for Climate Change Impact Assessment in Thailand ซึ่งจากรายงานดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงภาพฉายในอนาคต (Scenario) ของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน โดยในการศึกษาได้ทำการสร้างแบบจำลองมหาสมุทรที่สามารถจำลอง และทำนายในส่วนของ กระแสน้ำในมหาสมุทร อุณหภูมิ ความเค็ม และคุณสมบัติของน้ำอื่นๆ ซึ่งผลที่ได้จะประกอบไปด้วยค่าของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่เป็นผลมาจากภาวะโลกร้อน ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวของน้ำในมหาสมุทร



ภาพที่ 38 แผนภาพแสดงตำแหน่งของพื้นที่อ่าวไทยตอนบนที่ทำการศึกษา

ที่มา: SEA START (2010)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาสามารถสรุปโดยแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในโซนดังกล่าวที่เกิดจาก 2 ช่วงเวลา คือในปี 2010-2029 และ ในปี 2030-2049 ดังแสดงได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย (เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของระดับน้ำในปี 1985-2000)

(Unit: cm)

Month	2010-2029			2030-2049		
	Upper range	Lower range	**Average**	Upper range	Lower range	**Average**
Jan	14.88	2.36	9.92	26.56	14.44	19.88
Feb	19.80	-0.89	9.70	31.33	10.36	20.14
Mar	17.61	2.20	10.27	31.48	5.92	21.60
Apr	16.50	6.86	10.36	32.03	3.81	19.13
May	17.63	5.39	10.43	25.90	1.94	19.70
Jun	19.29	3.62	12.21	34.60	11.16	21.35
Jul	19.46	-12.99	7.20	27.68	7.66	18.88
Aug	17.17	-10.02	6.77	29.15	14.77	22.38
Sep	12.89	2.04	9.19	27.32	12.09	19.57
Oct	15.21	2.86	8.20	28.31	10.52	19.31
Nov	18.21	4.80	10.62	27.19	13.10	20.45
Dec	14.95	-19.02	8.11	25.40	-7.41	17.79
Average	16.97	-1.07	9.41	28.91	8.19	20.02

ที่มา: SEA START (2010)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 4 สามารถสรุปผลของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอนาคต ตามแนวโน้มของการเกิดใน 2 ช่วงเวลาได้ คือในปี ค.ศ.2010-2029 ระดับน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้นประมาณเกือบ 10 เซนติเมตร และในปี ค.ศ.2030-2049 ระดับน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้นประมาณ 20 เซนติเมตร และจากผลที่ได้ในตารางยังแสดงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเดือนต่อเดือนซึ่งได้รวมถึงผลของฤดูมรสุมไปแล้วด้วย

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยในเรื่องของ การศึกษาสภาพอุทกพลศาสตร์และการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงขอบเขตเงื่อนไขตามกรณีศึกษาต่างๆ และคำนวณโดยแบบจำลอง ซึ่งเป็นการคำนึงถึงภาพฉายในอนาคต (Scenario) ของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนโดยในการศึกษาจะพิจารณาถึงสภาพอุทกพลศาสตร์และคุณภาพน้ำของพื้นที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่อยู่ภายใต้ของระดับน้ำทะเลในสภาวะปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2553) และอยู่ภายใต้การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลใน 4 ช่วงเวลาของอนาคต คือในปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) ในปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) ในปี พ.ศ. 2568 (ค.ศ. 2025) และในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030)

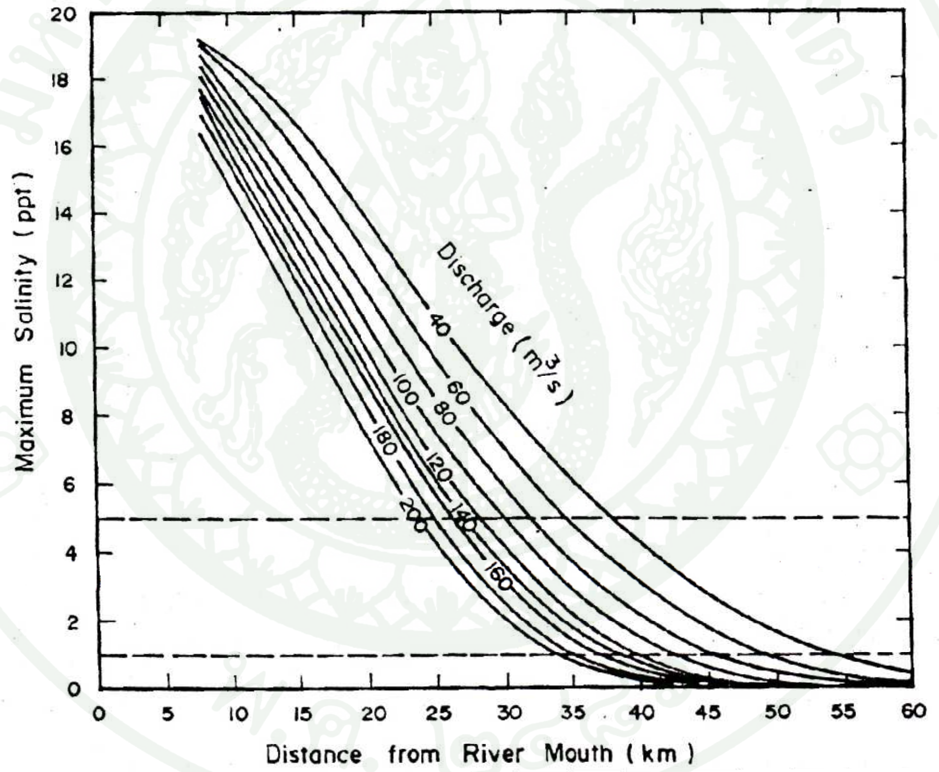
ซึ่งจากผลการศึกษาของนักวิจัยต่างๆ ที่ได้ศึกษาก่อนหน้านี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนจะมีค่าอยู่ในช่วง 5-6 มิลลิเมตรต่อปี โดยอัตราการเพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นอัตราที่ได้มีการศึกษาและยอมรับในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตั้งแต่ในอดีต ปัจจุบัน จนถึงในอนาคต พร้อมทั้งพิจารณาการปรับแก้ด้วยค่าการทรุดตัวของแผ่นดินที่สถานีวัดระดับน้ำในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) เพื่อให้ได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่แท้จริง

3.3.3 ผลของการเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำเพื่อช่วยลดปัญหาการรุกล้ำความเค็ม

จากปัญหาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะส่งผลกระทบในด้านต่างๆ ซึ่งอาจจะเกิดการกัดเซาะชายฝั่ง การรุกล้ำของน้ำเค็มเข้าไปสู่ในแม่น้ำ ซึ่งจากการศึกษาของ AIT (1978) พบว่าในช่วงเวลาที่มีอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำต่ำ (มกราคม-พฤษภาคม) จะทำให้น้ำเค็มในบริเวณปากแม่น้ำรุกแพร่กระจายเข้าไปในแม่น้ำทั้งในแม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาของการรุกล้ำของน้ำเค็มในแม่น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และจากการศึกษาพบว่าในการแก้ปัญหาการรุกล้ำของน้ำเค็มจะต้องทำการปล่อยน้ำจากเขื่อนเพื่อช่วยในการผลักดันน้ำเค็มให้ลงสู่ปากแม่น้ำทำให้ความเค็มในแม่น้ำลดน้อยลง โดยพิจารณาปล่อยน้ำจากเขื่อนเจ้าพระยาในกรณีแม่น้ำเจ้าพระยา และเขื่อนแม่กลองในกรณีแม่น้ำแม่กลอง ซึ่งในอดีตเขื่อนทั้งสองนี้ไม่ได้มีการจัดการในการปล่อยน้ำเพื่อช่วยลดปัญหาความเค็มดังกล่าว และจากการวิเคราะห์อัตราการไหลในแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคมพบว่ามีอัตราการไหลต่ำกว่า 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งอัตราการไหลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์การแพร่กระจายความเค็มสูงสุดตามแนวของลำน้ำได้ตามภาพที่ 39 และการแพร่กระจายความเค็มเฉลี่ยตามแนวของลำน้ำได้ตามภาพที่ 40

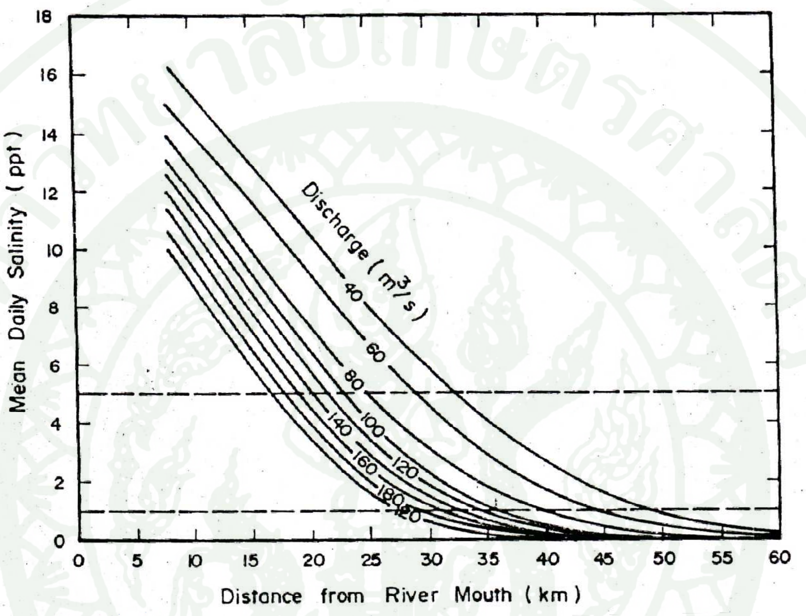


ภาพที่ 39 กราฟแสดงการแพร่กระจายความเค็มสูงสุดตามแนวแม่น้ำเจ้าพระยา

ที่มา: AIT (1978)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

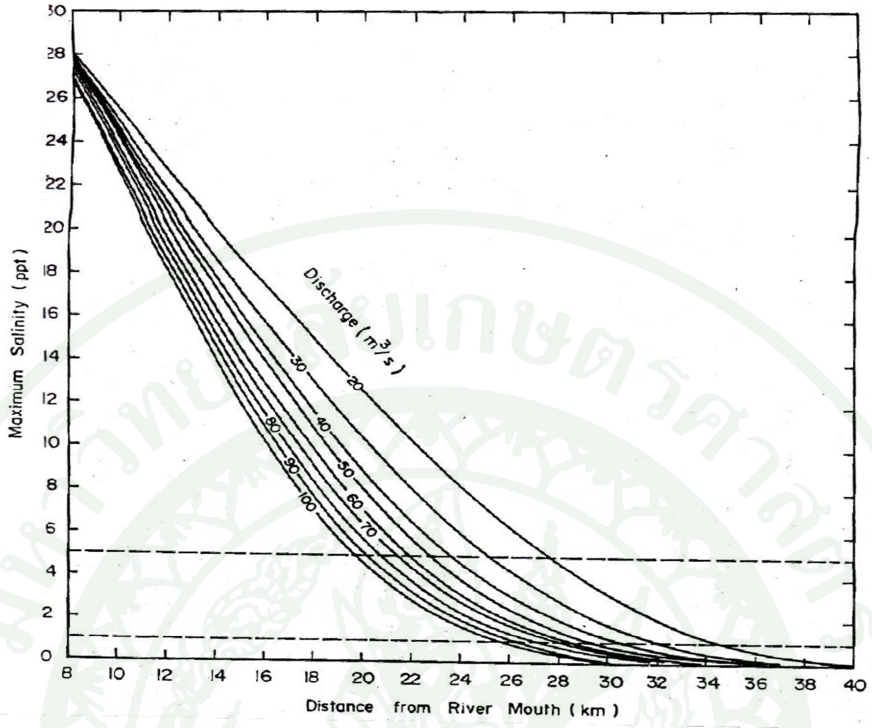
และจากการวิเคราะห์อัตราการไหลในแม่น้ำแม่กลองในช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคมพบว่ามีอัตราการไหลต่ำกว่า 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งอัตราการไหลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์การแพร่กระจายความเค็มสูงสุดตามแนวของลำน้ำได้ตามภาพที่ 41 และการแพร่กระจายความเค็มเฉลี่ยตามแนวของลำน้ำได้ตามภาพที่ 42



ภาพที่ 40 กราฟแสดงการแพร่กระจายความเค็มเฉลี่ยตามแนวแม่น้ำเจ้าพระยา

ที่มา: AIT (1978)

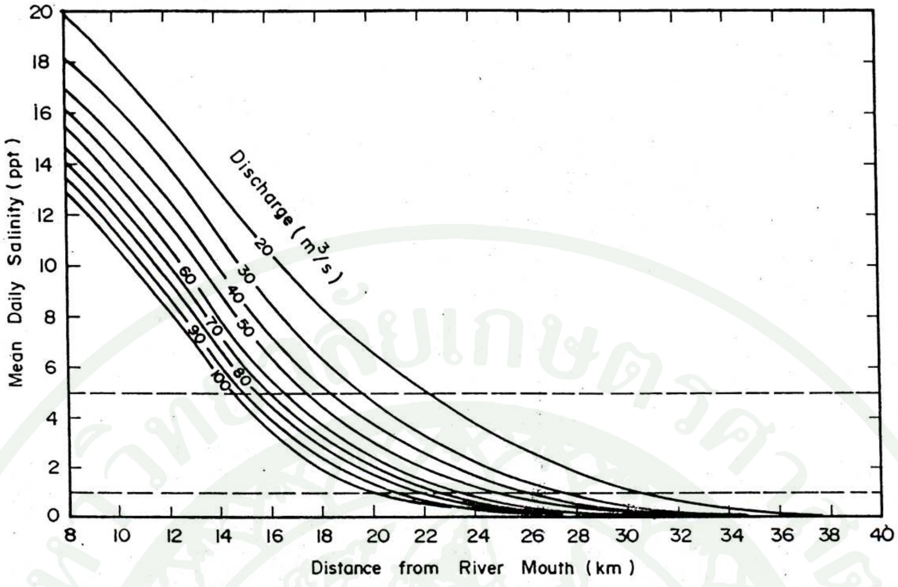
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 41 กราฟแสดงการแพร่กระจายความเค็มสูงสุดตามแนวแม่น้ำแม่กลอง

ที่มา: AIT (1978)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

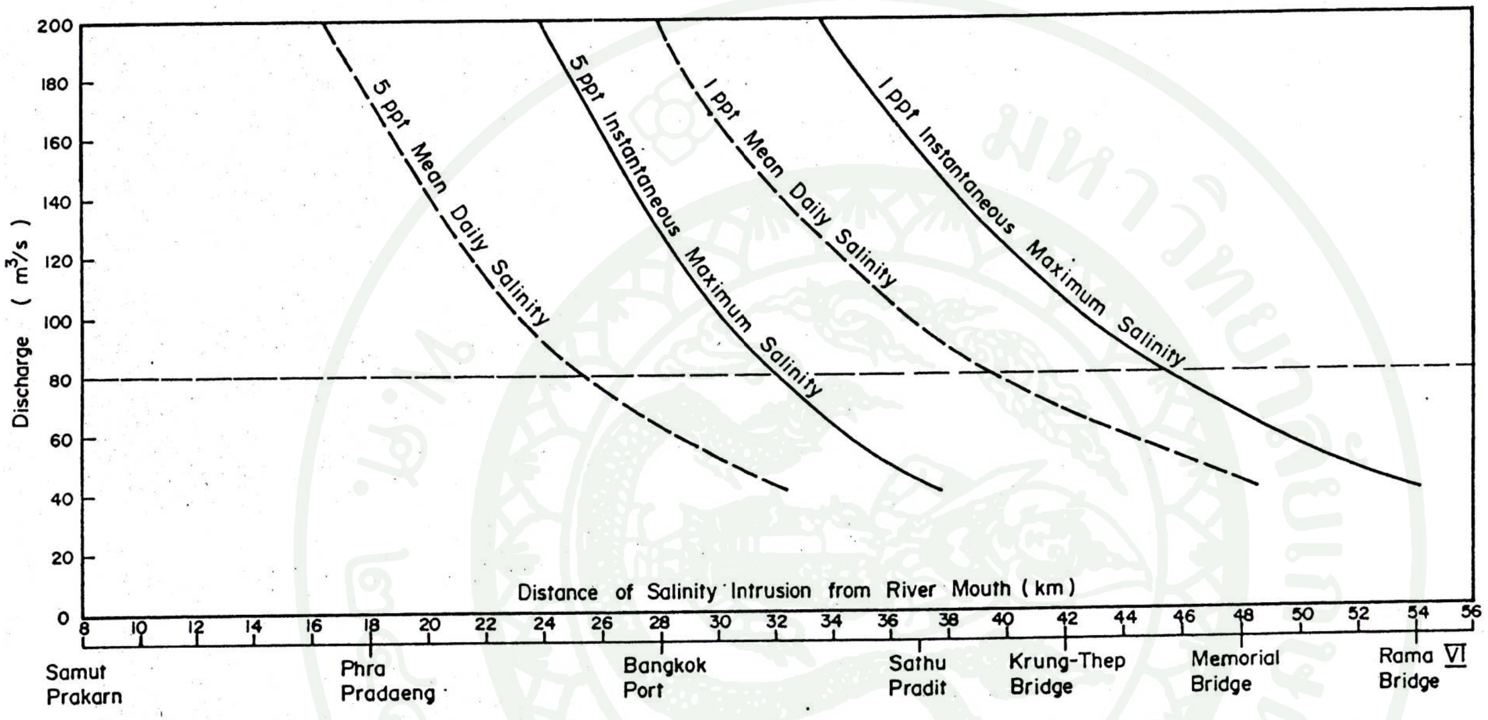


ภาพที่ 42 กราฟแสดงการแพร่กระจายความเค็มเฉลี่ยตามแนวแม่น้ำแม่กลอง

ที่มา: AIT (1978)

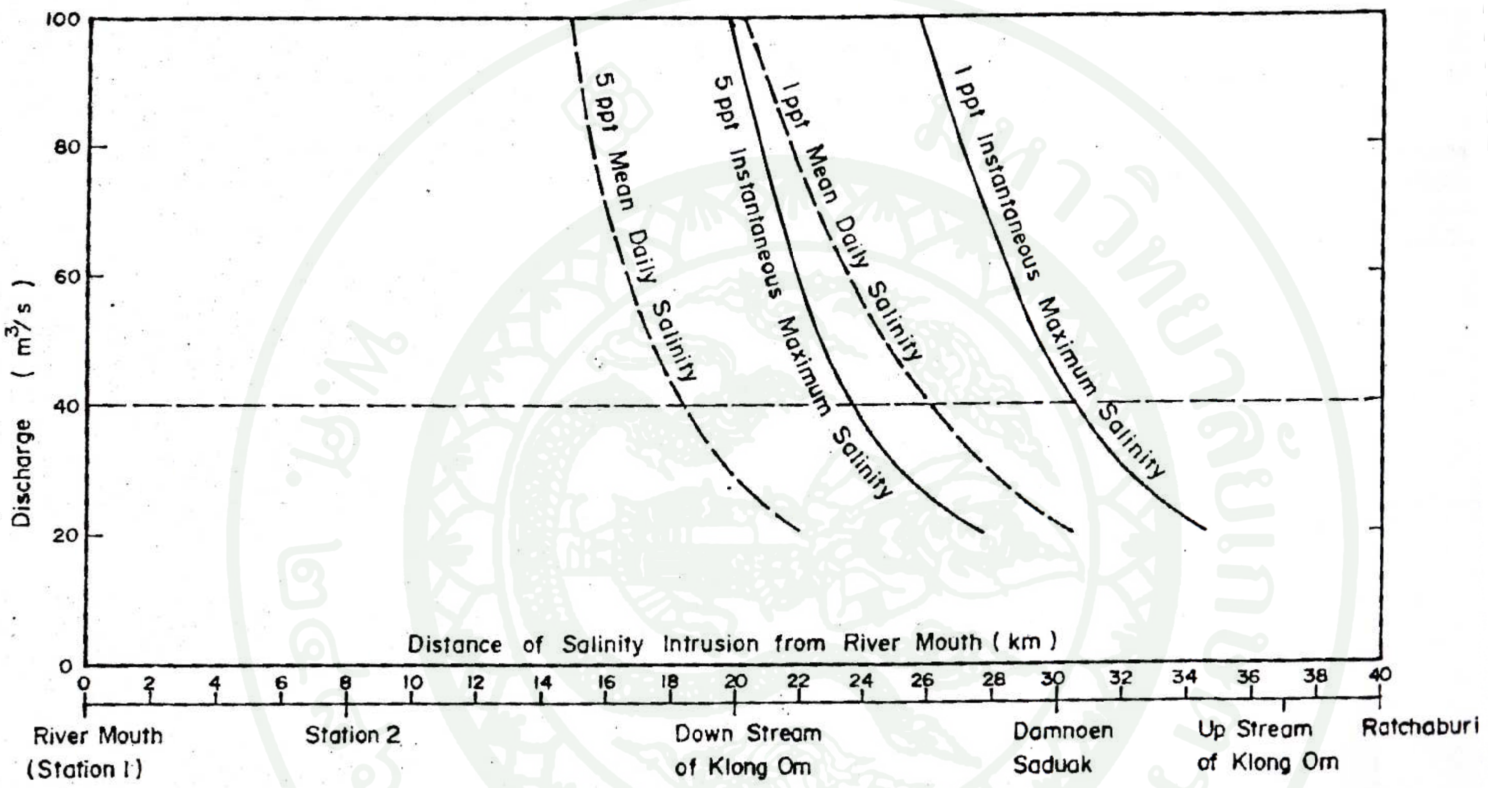
จากภาพแสดงการแพร่กระจายความเค็มตามแนวของแม่น้ำทั้งสองพบว่า ในกรณีที่ในลำน้ำมีอัตราการไหลน้อยๆ ปริมาณความเค็มจะมีค่ามากและเคลื่อนที่รุกล้ำไปตามลำน้ำได้ค่อนข้างไกลจากปากแม่น้ำทำให้ประชาชนและเกษตรกรริมสองฝั่งแม่น้ำได้รับผลกระทบจากปัญหาการรุกล้ำของน้ำเค็มดังกล่าว และถ้าเพิ่มปริมาณการไหลในลำน้ำให้มากขึ้นพบว่าความเค็มในลำน้ำจะลดลงหรือค่าความเค็มจะเคลื่อนที่ออกไปใกล้บริเวณปากแม่น้ำ ทำให้ลดผลกระทบของปัญหาความเค็มได้ ดังนั้นในการเพิ่มปริมาณการไหลในลำน้ำก็จะสามารถควบคุมระดับความเค็มให้อยู่ในปริมาณและตำแหน่งที่ต้องการในแม่น้ำได้ ดังแสดงในภาพที่ 43 และ 44

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการรุกล้ำความเค็มกับอัตราการไหลในแม่น้ำเจ้าพระยา

ที่มา: AIT (1978)



ภาพที่ 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการรุกล้ำความเค็มกับอัตราการไหลในแม่น้ำแม่กลอง

ที่มา: AIT (1978)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรทิพย์ (2540) ได้ทำการเสนอแบบจำลองทางด้านคุณภาพน้ำโดยใช้โปรแกรม MIKE 21 ในการพยากรณ์การกระจายตัวและวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำในทะเลสาบสงขลาซึ่งแบบจำลองดังกล่าวได้ทำการพิจารณาการไหลเป็นแบบ 2 มิติ โดยในแบบจำลองทำการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง ได้จากการทดสอบแบบจำลอง (Trial Runs) โดยป้อนข้อมูลและปรับแก้ให้สมบูรณ์ และเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงในสนาม ในการศึกษาพิจารณาประยุกต์ใช้แบบจำลองทำนายคุณภาพน้ำในสภาพปัจจุบันและอนาคต ตลอดจนเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในกรณีที่ไม่มีแผนการควบคุมน้ำทิ้ง และกรณีมีแผนการควบคุมน้ำทิ้ง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการคุณภาพน้ำต่อไป

Williams *et al.* (2006) ได้ศึกษาสภาพด้านอุทกพลศาสตร์ของพื้นที่ชายฝั่งทะเลเมืองดาร์วิน ประเทศออสเตรเลีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เข้าใจความเชื่อมโยงกันของสภาพด้านอุทกพลศาสตร์, การเคลื่อนตัวของตะกอนดิน และพลศาสตร์ของ nutrient ในพื้นที่ศึกษาดังกล่าว ในอันที่จะช่วยในการบริหารจัดการการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานบริเวณท่าเรือดังกล่าว โดยแบบจำลองที่เลือกในศึกษาดังกล่าวคือ แบบจำลอง RMA-10 (1-D/2-D/3-D stratified flow) และ RMA-11 (1-D/2-D/3-D water quality) ผลที่ได้พบว่า แบบจำลองดังกล่าวประสบความสำเร็จในการจำลองการฟุ้งกระจายและการเคลื่อนตัวของตะกอนดินเนื่องการขุดลอกปากแม่น้ำ และยังสามารถใช้ศึกษาเรื่อง resuspending sediment เนื่องจากการแพร่กระจายของความเค็มเมื่อถูกน้ำสะอาดจากระบบแม่น้ำเคลื่อนทับบริเวณชั้นผิวน้ำตอนบนซึ่งอยู่เหนือชั้นของโคลนที่เกิดจากความเค็ม

วิษุวัฒก์ (2551) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง RMA-10 ในการจำลองแบบระบบแม่น้ำKatherine ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีความยาวของแม่น้ำตามแนวลำน้ำโดยประมาณ 10 กิโลเมตร โดยแบบจำลองดังกล่าวจำลองการไหลในลักษณะการไหลแบบ 2 มิติ คือ การไหลตามทิศทางการไหลของน้ำตามแนวลำน้ำและการไหลตามทิศทางตั้งฉากกับการไหลตามแนวลำน้ำ แบบจำลอง RMA-10 เป็นแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ ที่พัฒนาขึ้นโดย Resource Management Associates ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการพัฒนาแบบจำลอง RMA-10 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ที่เหมาะสมสำหรับแม่น้ำ Katherine อยู่ในช่วง 0.035 - 0.079 ของแต่ละช่วงของแม่น้ำ โดยแบบจำลองที่จัดทำขึ้นมีความพร้อมที่จะใช้ในการศึกษาการไหลของน้ำและการศึกษาด้านอื่นๆ ต่อไป ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาการกัดเซาะและพัดพาของตะกอนในแม่น้ำต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุนัน (2547) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาการไหลเวียนของกระแสน้ำและการแพร่กระจายความเค็มในทะเลสาบสงขลา โดยในการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขซึ่งประกอบไปด้วยโปรแกรม RMA2, RMA4 และ SED2D เพื่อจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำ การแพร่กระจายความเค็ม ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงปี 2545 โดยแบบจำลองได้มีการปรับเทียบจากข้อมูลกระแสน้ำ ความเค็ม และตะกอนแขวนลอยที่วัดจริงได้ 3 สถานี โดยพิจารณาช่วงการเก็บข้อมูลจาก 2 เหตุการณ์ คือ ในช่วงน้ำเกิดระหว่างวันที่ 7-8 พฤศจิกายน 2545 และช่วงน้ำตายระหว่างวันที่ 13-15 พฤศจิกายน 2545 ผลการเปรียบเทียบพบว่าการไหลเวียนของน้ำในช่วงฤดูฝนได้รับอิทธิพลจากน้ำท่าและน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวไทย ส่วนฤดูแล้งได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงจากอ่าวไทยเพียงอย่างเดียว ทำให้ฤดูแล้งเกิดการแพร่กระจายความเค็มมากกว่าฤดูฝน

วิษุวัฒก์ (2552) ได้ศึกษาการจำลองการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลบริเวณพื้นที่ชายฝั่งท่าเรือเมืองดาร์วิน ประเทศออสเตรเลีย โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE21 HDFM ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย DHI Water Environment and Health ประเทศเดนมาร์ก เพื่อทำการจำลองแบบการไหลแบบ 2 มิติ โดยใช้วิธี Flexible Mesh ในการสร้างข้อมูลภูมิประเทศใต้ท้องทะเล (Bathymetry) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 450 ตารางกิโลเมตร การปรับเทียบแบบจำลองเลือกใช้ช่วงเวลาระหว่างวันที่ 24 ต.ค. 2537 ถึงวันที่ 23 พ.ย. 2537 โดยทำการเปรียบเทียบระดับน้ำทะเลรายชั่วโมงที่คำนวณได้กับค่าที่ตรวจวัดจริงบริเวณท่าเรือเมืองดาร์วิน ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองดังกล่าวให้ผลการคำนวณระดับน้ำทะเลที่มีความถูกต้องสูงและมีเสถียรภาพในการคำนวณ แบบจำลองดังกล่าวจะถูกใช้ในการศึกษากระบวนการแพร่กระจายสำหรับประเมินผลดัชนีคุณภาพน้ำในการศึกษาขั้นต่อไป

Wenrui (2009) ได้เสนอการสร้างแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์และแนวทางการวิเคราะห์เพื่อประเมินความน่าจะเป็นของผลกระทบในระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศปากแม่น้ำ โดยแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นแบบ semi-implicit finite-difference ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้หาค่าในด้านต่างๆ เช่น เวลา, การเปลี่ยนแปลงระดับพื้นที่, ความเค็ม, อุณหภูมิ และความเร็วลม ในการศึกษาได้ทำการปรับเทียบผลจากอนุกรมเวลาตัวอย่างของการไหลในแม่น้ำกับผลที่ได้จากแบบจำลองพบว่า การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นนิยมใช้ในการวิเคราะห์ความถี่เพื่อศึกษาผลกระทบของกระแสการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ความเค็มในระยะยาว แบบจำลองอุทกพลศาสตร์และวิธีการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่นำเสนอในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการบริหารความเสี่ยงการประเมินผลกระทบระยะยาว ของนิเวศอุทกวิทยาปากแม่น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยการเปลี่ยนกระแสแม่น้ำ แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ยังสามารถทำนายรูปแบบความเค็มในระยะยาวในการตอบสนองต่างๆ ได้

Wolanski *et al.* (2006) ได้เสนอการใช้แบบจำลองด้านนิเวศอุทกวิทยา (ecohydrology) 1-D ที่ได้เชื่อมโยงลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และกระบวนการทางชีวภาพ ทั่วบริเวณปากแม่น้ำอีกทั้งสำหรับสายใยอาหารทั้งหมดที่เกิดจากผลทางด้านออกของลุ่มน้ำและสภาวะเงื่อนไขของมหาสมุทร โดยในการศึกษาได้กำหนดเงื่อนไขของการไหลในแม่น้ำเป็นแบบ low flow เพราะว่าแม่น้ำที่ใช้ในการศึกษาได้ถูกควบคุมการไหลด้วยเขื่อนด้านเหนือน้ำ และแบบจำลองย่อยทางด้านนิเวศวิทยาจะพิจารณาเป็นแบบ non linear จากสมการ Lotka-Volterra ผลที่ได้พบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้ในการประเมินผลกระทบในอนาคตของระบบนิเวศปากแม่น้ำในกรณีที่พื้นที่การกลายเป็นเมืองหรือปัจจัยอื่น แบบจำลองยังสามารถใช้ในการทำนายประสิทธิภาพในการบรรเทาภัยภายใต้มาตรการต่างๆ เช่น การสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำ, โดยการปล่อยน้ำจากเขื่อนต้นน้ำ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดชนิดในส่วนของบริเวณปากแม่น้ำ

AIT (1978) ศึกษาการรุกล้ำความเค็มของแม่น้ำเจ้าพระยากับแม่น้ำแม่กลองโดยใช้แบบจำลอง Tidal Dynamics และ Salinity model ในช่วงมกราคมถึงพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงที่แม่น้ำแม่กลองมีอัตราการไหลต่ำมีอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงถึงบริเวณจังหวัดราชบุรี (กม.40) และมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มค่อนข้างสูงภายหลังการปรับเทียบแบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องสำหรับแบบจำลอง Tidal Dynamics ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (n) เท่ากับ 0.025 และสำหรับ Salinity model พบว่าความเค็มมีการเปลี่ยนแปลง 2 ระยะคือ ระยะกิโลเมตรที่ 10 จากปากแม่น้ำ ความเค็มลดลงในอัตรา 0.7-0.9 ppt/km. และระยะตั้งแต่กิโลเมตรที่ 10 ขึ้นไปความเค็มลดลงในอัตรา 1.0-1.5 ppt/km. ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมาก

Wolanski *et al.* (2006) ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้หลักการของ Ecohydrology กับพื้นที่ชายฝั่งทะเลเมืองดาร์วิน ประเทศออสเตรเลีย โดยแบบจำลองที่นำเสนอเป็นการรวมเอากระบวนการ flashing และ mixing ของน้ำจืดและน้ำทะเล รวมทั้งการเคลื่อนตัวของน้ำและตะกอนดินละเอียด (ซึ่งได้จากสำรวจภาคสนามร่วมกับผลศึกษาที่ประเมินได้จากแบบจำลองด้านอุทกพลศาสตร์) ส่วนแบบจำลองด้านนิเวศวิทยาจะประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมระบบนิเวศวิทยาจำนวนทั้งสิ้น 10 ตัวแปร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กีรติ (2531) ศึกษาการแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา จากสมุทรปราการ (กม.0) ถึงอำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา (กม.108) ในช่วงเดือนธันวาคมถึงพฤษภาคม โดยหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำเค็มกับการขึ้นลงของระดับน้ำและอัตราการไหลจากแม่น้ำ อาศัยข้อมูลวัดจริงและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 1 มิติ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองใช้ในการคาดการณ์ค่าความเค็มได้ดีพอสมควร และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเค็มกับอัตราการไหล มีความสัมพันธ์กันสูงที่สุด โดยสามารถกำหนดอัตราการไหลเพื่อควบคุมความเค็มที่สูงสุดที่จะเกิดได้เป็นรายเดือนตามพิสัยน้ำขึ้นน้ำลง

บทความที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้

จากการศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ทำให้สามารถเขียนบทความวิจัยหรือบทความวิชาการเพื่อนำไปเผยแพร่ในวารสารและการประชุมวิชาการต่างๆ ทั้งในระดับชาติ และนานาชาติสรุปได้ดังนี้ (บทความทั้งหมดดังแสดงในภาคผนวก ข)

1. ณัฐวุฒิ อินทบุตร และวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ, 2555. **การศึกษาการปรับเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำท่าจีนภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเล**. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17 ที่จังหวัดอุดรธานี, โดยเป็นการนำเสนอเน้นในเรื่องของการปรับเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเลในพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นผลพื้นฐานของการปรับเทียบในวิธีการจัดทำแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ในลำน้ำ (ดังในหัวข้อที่ 2 ในวิธีการศึกษา)

2. Nuttawut Intaboot and Wisuwat Taesombat, 2012. **A Study on Drainage Efficiency of Shortcut Canal Project in the Lower Tha Chin River.** PAWEES 2012 International Conference Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia, จัดขึ้นที่กรมชลประทานปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี โดยเป็นการนำเสนอในส่วนของผลการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ Mannning’n ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของผลการศึกษาการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11-1D(HD) (ในส่วนที่ 1 ของผลและวิจารณ์)

3. Nuttawut Intaboot and Wisuwat Taesombat, 2013. **A comparatives study of the suitable cross sectional shape of shortcut canal for increasing drainage efficiency in the lower portion of Thachin River,** International Conference on Asia Oceania Geoscience Society

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(AOGS 2013) ณ เมือง Brisbane ประเทศออสเตรเลีย, โดยเป็นการนำผลที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11-1D(HD) (ในส่วนที่ 1 ของผลและวิจารณ์) มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์ในลำน้ำ

4. ณัฐวุฒิ อินทบุตร และวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ, 2557. **การรุกล้ำของความเค็ม และการแพร่กระจายความเค็มตามความยาวของลำน้ำในแม่น้ำท่าจีน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล.** วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2557, โดยเป็นการนำเสนอในส่วนของการปรับเทียบแบบจำลองการเคลื่อนย้ายและการแพร่กระจาย (MIKE 11 AD) ซึ่งเป็นส่วนที่ 1 ของผลและวิจารณ์ และในบทความยังได้นำเสนอในส่วนของการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน (ส่วนที่ 3 ของผลและวิจารณ์) พร้อมกับเสนอผลของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการปรับแก้การทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณดังกล่าว (ส่วนที่ 4 ของผลและวิจารณ์) และสุดท้ายในบทความนี้ยังได้ทำการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในอนาคตที่เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำ (ส่วนที่ 5 ของผลและวิจารณ์)

5. ณัฐวุฒิ อินทบุตร และวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ, 2557. **การศึกษาการรุกล้ำความเค็มและมาตรการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีน.** วารสารวิศวกรรมสาร“ฉบับวิจัยและพัฒนา”, ซึ่งในบทความเป็นการนำเสนอเน้นในส่วนของการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคต (ส่วนที่ 5 ของผลและวิจารณ์) และในบทความยังได้นำเสนอมาตรการในการลดผลกระทบดังกล่าวด้วย (ส่วนที่ 6 ของผลและวิจารณ์)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11-HD (Hydrodynamic Module)
2. แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11-AD (Advection-Dispersion Module)
3. แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE-21-HD (Hydrodynamic Module)
4. โปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ArcGIS 9.3

วิธีการ

การศึกษาครั้งนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนโดยสรุปทั้งสิ้น 7 ขั้นตอนได้แก่ 1) รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำ ระดับน้ำ หน้าตัดลำน้ำ ความเค็มในลำน้ำและปากแม่น้ำ 2) จัดทำแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ในลำน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE 11-1D (HD/AD) พร้อมทั้งปรับเทียบ และตรวจสอบแบบจำลอง 3) จัดทำแบบจำลอง MIKE 21-2D พร้อมทั้งปรับเทียบ และตรวจสอบแบบจำลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีน 4) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลด้วยวิธีทางสถิติ 5) ปรับแก้การทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน 6) วิเคราะห์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน 7) จัดทำมาตรการลดผลกระทบการรุกล้ำความเค็ม ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ดูภาพที่ 45 ประกอบ)

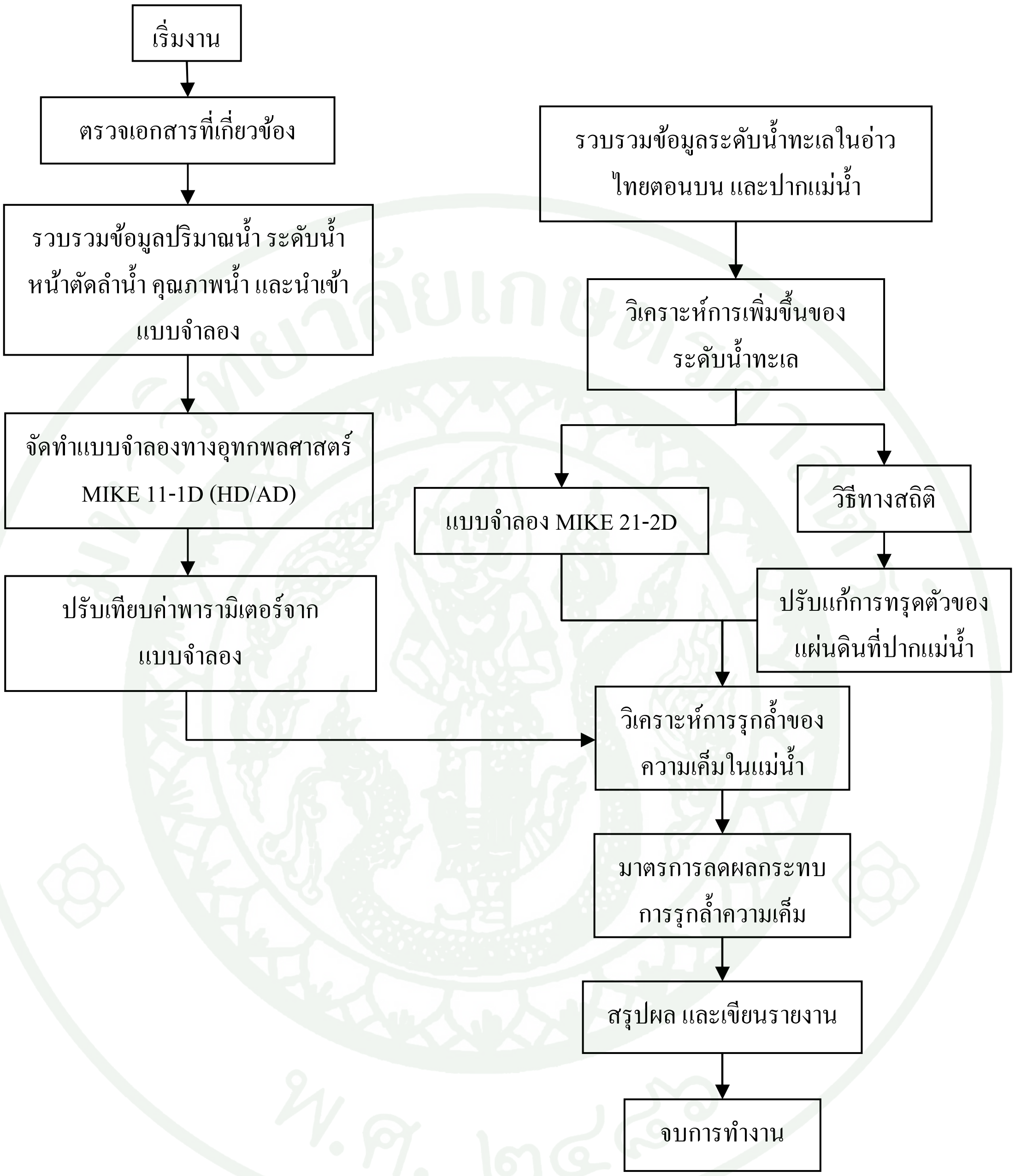
1. รวบรวมและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล

การรวบรวมและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลเพื่อนำเข้าแบบจำลอง MIKE11 แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1.1 ข้อมูลหน้าตัดลำน้ำ

ในการศึกษาถึงสภาพอุทกพลศาสตร์และคุณภาพน้ำของแม่น้ำ และปากแม่น้ำท่าจีน ได้ทำการรวบรวมข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำ (River cross section) ของแม่น้ำท่าจีนตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาซึ่งรวบรวมได้ทั้งหมด 209 รูปตัด แต่ละรูปตัดห่างกัน 1 กิโลเมตร พร้อมทั้งข้อมูลบริเวณปากแม่น้ำและข้อมูลสภาพภูมิประเทศใต้ท้องทะเล (Bathymetry) ซึ่งใช้ในการจัดทำแบบจำลองด้านอุทกพลศาสตร์ ซึ่งได้จากการรวบรวมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



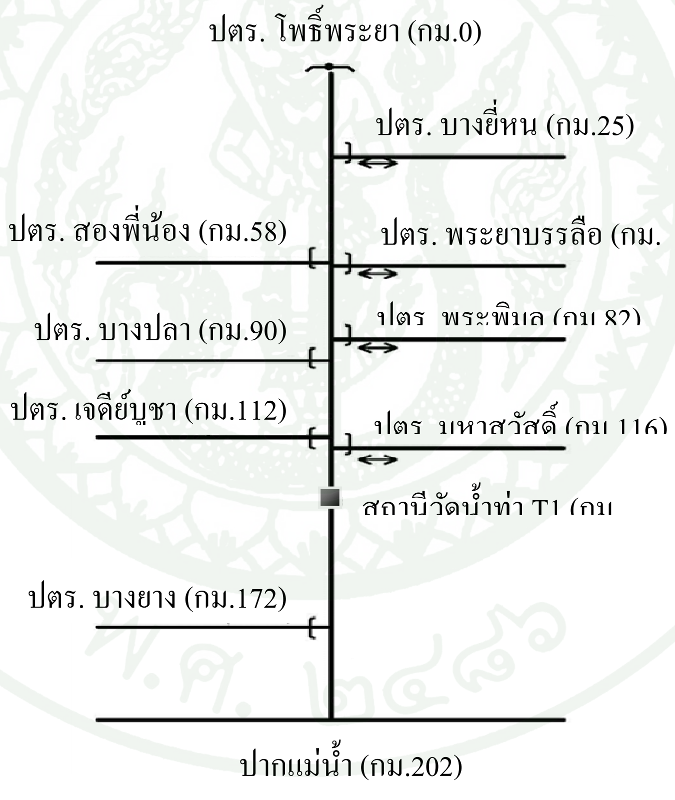
ภาพที่ 45 แผนภาพขั้นตอนการศึกษา

1.2 ข้อมูลปริมาณน้ำท่า

ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาของแม่น้ำท่าจีนที่ใช้ในการศึกษาประกอบไปด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันที่สถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำ T1 (กม.117) และปริมาณน้ำรายวันในปี 2551-2553 ที่ประตูระบายหลักๆในแม่น้ำท่าจีนสังกัดกรมชลประทานจำนวน 9 ประตู ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1) ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโพธิ์พระยา
2) ประตูระบายน้ำสองพี่น้อง โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโพธิ์พระยา
3) ประตูระบายน้ำบางยี่หน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเจ้าเจ็ด-บางยี่หน
4) ประตูระบายน้ำพระยาบรรลือ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพระยาบันลือ
5) ประตูระบายน้ำพระพิมล โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพระพิมล
6) ประตูระบายน้ำมหาสวัสดิ์ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพระพิมล
7) ประตูระบายน้ำบางปลา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่าสาน-บางปลา
8) ประตูระบายน้ำเจดีย์บูชา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพระพิมล
9) ประตูระบายน้ำบางยาง โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดำเนินสะดวก

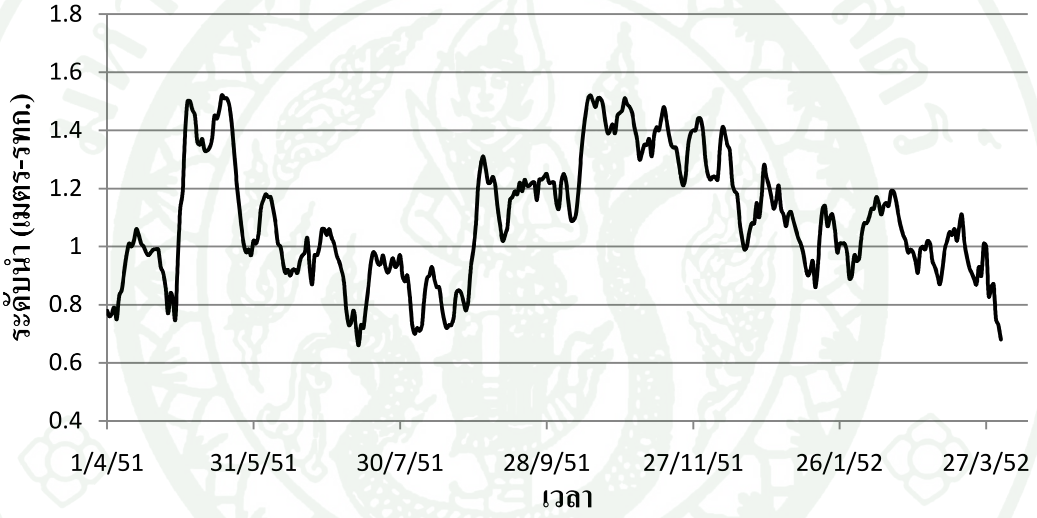


ภาพที่ 46 แผนผังสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำ และระดับน้ำของแม่น้ำท่าจีน ตอนล่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

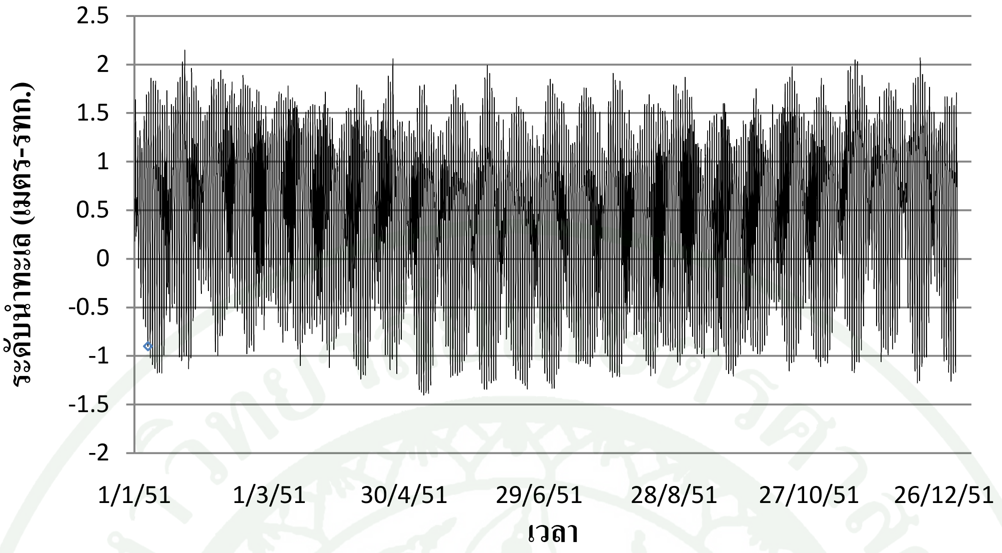
1.3 ข้อมูลระดับน้ำ

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อทำการประเมินการเคลื่อนที่ของน้ำท่า จะพิจารณาเลือกระดับในปีน้ำ 2551น้ำมาใช้ในการประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง โดยข้อมูลระดับน้ำจะเลือกใช้ระดับน้ำรายวันหลังประตูระบายน้ำหลัก และระดับน้ำรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า T1 จากกรมชลประทาน ดังแสดงในภาพที่ 47 และในส่วนขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำจะพิจารณาใช้ข้อมูลระดับน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน ดังแสดงในภาพที่ 48



ภาพที่ 47 ระดับน้ำรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า T1 ในปี 2551

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

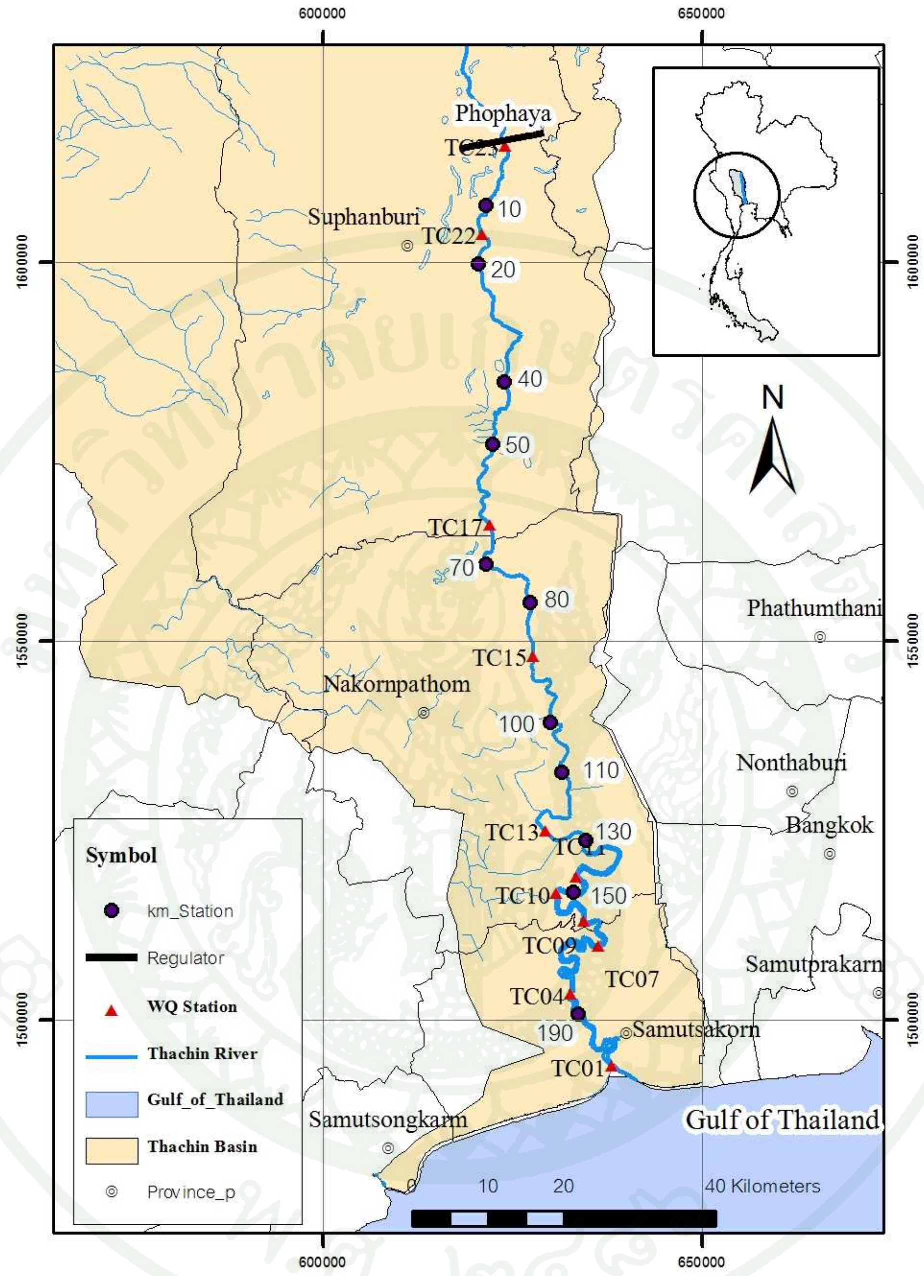


ภาพที่ 48 ระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนช่วงปี พ.ศ. 2551

1.4 ข้อมูลคุณภาพน้ำ

ในการศึกษาถึงการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนจะใช้ข้อมูลของคุณภาพน้ำในส่วนของความเค็มที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษในช่วงปี 2550-2553 โดยมีตำแหน่งของสถานีตรวจวัดในลำน้ำดังแสดงในภาพที่ 49

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 49 แผนผังสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำของแม่น้ำท่าจีนตอนล่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. จัดทำแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ในลำน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE 11-1D (HD/AD) พร้อมทั้งปรับเทียบแบบจำลอง

2.1 ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE11 HD เพื่อทำการประเมินการเคลื่อนที่ของน้ำท่าในแม่น้ำจะพิจารณาเลือกใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันที่ประตูระบายน้ำหลักในปี 2551 และข้อมูลระดับน้ำรายวันที่ปากแม่น้ำท่าจีนในปี 2551 เป็นข้อมูลขอบเขตด้านท้ายน้ำมาใช้ในการปรับเทียบหาสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (Manning'n) ที่เหมาะสม โดยขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองสรุปได้ดังนี้

2.1.1 นำเข้ารูปตัดขวาง (Cross-section) ซึ่งจะเป็นข้อมูลลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำท่าจีนที่อยู่ในรูป coordinate ระหว่างระยะตามแนวของลำน้ำ (x) และค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลหรือความสูงเทียบระดับน้ำทะเลมาตรฐาน (z) เข้าในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (HD Model) พร้อมกับจัดทำโครงข่ายลำน้ำ ซึ่งเป็นการจำลองสภาพลำน้ำ

2.1.2 กำหนดข้อมูลปริมาณน้ำและระดับน้ำในรูปอนุกรมเวลา (time series) และกำหนดขอบเขต (boundary) โดยจะเป็นการกำหนดขอบเขตสภาพเงื่อนไขทั้งทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำ โดยทางด้านเหนือน้ำเป็นปริมาณการไหลรายวันที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาในปี 2551 ในส่วนท้ายน้ำจะเป็นระดับน้ำรายวันตรงบริเวณปากแม่น้ำในปี 2551 จากนั้นกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำเพื่อใช้ในการปรับเทียบ โดยในการปรับเทียบจะแบ่งช่วงลำน้ำออกเป็น 3 ตำแหน่ง เพื่อใช้เป็นตัวแทนของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำในแม่น้ำท่าจีน ซึ่งประกอบไปด้วย ตำแหน่งประตูระบายน้ำบางยี่หน (กม.25) เพื่อใช้เป็นตัวแทนต้นลำน้ำ ตำแหน่งประตูระบายน้ำพระพิมล (กม.82) เพื่อใช้เป็นตัวแทนกลางลำน้ำ และตำแหน่งประตูระบายน้ำมหาสวัสดิ์ (กม.116) เพื่อใช้เป็นตัวแทนท้ายลำน้ำ

2.1.3 ปรับเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ เมื่อได้ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำและข้อมูลปริมาณน้ำและระดับน้ำในรูปอนุกรมเวลาแล้ว ให้ดำเนินการคำนวณผลโดยแบบจำลองเพื่อให้ได้ลักษณะทางอุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำท่าจีน โดยผลการคำนวณคือปริมาณน้ำและระดับน้ำตามระยะทางต่างๆ ในแม่น้ำ แล้วทำการทดลองปรับเทียบเพื่อหาค่าตัวแทนของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำในแม่น้ำท่าจีนทั้ง 3 ตำแหน่งในแม่น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ในการจัดทำแบบจำลอง MIKE 11 AD เพื่อที่จะศึกษาพารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำในส่วนของความเค็มในแม่น้ำท่าจีน โดยทำการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในลำน้ำ ซึ่งในการสร้างแบบจำลองนี้จะพิจารณาเริ่มต้นจากแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ได้จากการปรับเทียบพารามิเตอร์แล้ว เพื่อที่จะพิจารณาทางด้านกายภาพการไหลในลำน้ำ โดยมีขั้นตอนประกอบไปด้วย

2.2.1 กำหนดข้อมูลคุณภาพน้ำ (ความเค็ม) ในรูปอนุกรมเวลาและขอบเขต ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมได้จากกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ.2553 ของสถานี TC01 ถึง TC23 ซึ่งเป็นของเขตเงื่อนไขของข้อมูลคุณภาพน้ำ (ความเค็ม) ทั้งทางด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ โดยในการปรับเทียบจะใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำ (ความเค็ม) ของสถานี TC 04 เป็นสถานีปรับเทียบ

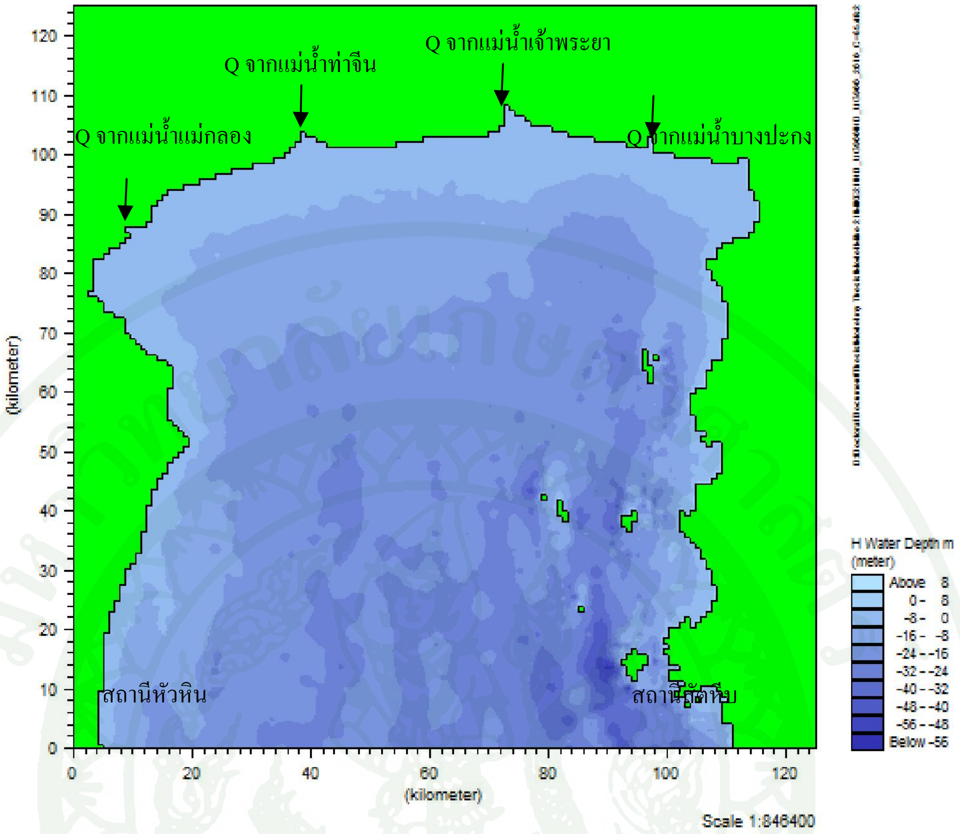
2.2.2 ปรับเทียบแบบจำลองการแพร่กระจายของสาร (ความเค็ม) โดยในขั้นตอนนี้จะพิจารณานำผลที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ หรือการจำลองการไหลในรูปของปริมาณน้ำและระดับน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง และข้อมูลความเค็มในรูปอนุกรมเวลา มาทำการคำนวณเพื่อให้ได้ลักษณะการแพร่กระจายของสาร (ความเค็ม) ในลำน้ำ แล้วทำการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Df) โดยจะทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์จนได้ความเค็มจากการคำนวณใกล้ค่าความเค็มที่ได้จากการตรวจวัดที่ดีที่สุด

3. จัดทำแบบจำลอง MIKE 21-2D พร้อมทั้งปรับเทียบ และตรวจสอบแบบจำลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีน

ในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองเพื่อที่จะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน โดยเริ่มต้นจากการปรับเทียบหาค่าความขรุขระท้องน้ำ (Chezy's number) โดยพิจารณาขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำด้วยระดับน้ำที่มีการกระจายเป็นเส้นตรงจากสถานีวัดระดับน้ำหัวหินไปจนถึงสถานีวัดระดับน้ำสัตหีบ โดยขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองสรุปได้ดังนี้

3.1 รวบรวมข้อมูลพื้นที่ได้แก่ ข้อมูล Digital Elevation Model (DEM) ซึ่งเป็นข้อมูลลักษณะทางกายภาพเพื่อทำการจัดสร้างสภาพภูมิประเทศท้องน้ำของอ่าวไทยตอนบนเพื่อเป็นการจำลองสภาพของท้องน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 50

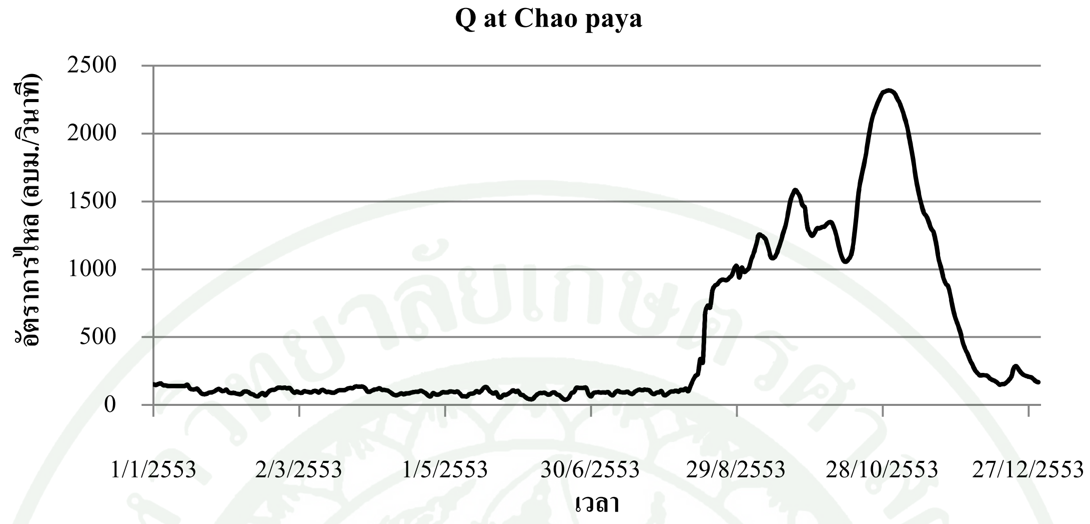
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



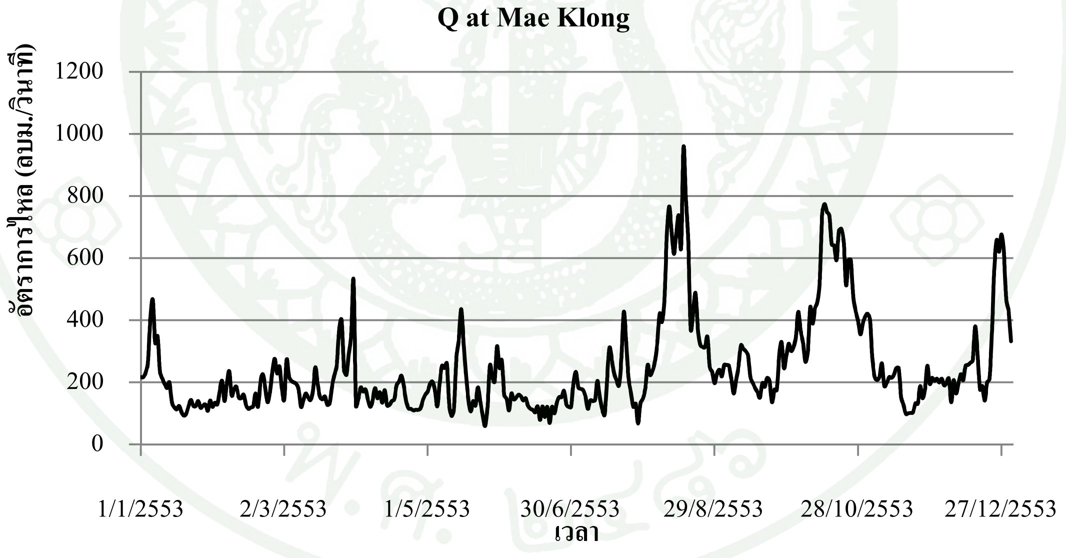
ภาพที่ 50 สภาพภูมิประเทศท้องน้ำของอ่าวไทยตอนบนในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (HD Model)

3.2 จัดเตรียมข้อมูลขอบเขตสภาพเงื่อนไข โดยพิจารณาปริมาณการไหลลงของแม่น้ำสายหลักในอ่าวไทย ซึ่งประกอบไปด้วย ปริมาณการไหลของแม่น้ำแม่กลองที่สถานีวัดน้ำท่า K11A อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี แม่น้ำท่าจีนที่สถานีวัดน้ำท่า T1 อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม แม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานีวัดน้ำท่า C7A อ.เมือง จ.อ่างทอง และแม่น้ำบางปะกงที่สถานีวัดน้ำท่า KGT13A อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี รวบรวมได้จากกรมชลประทานปี 2553 และในส่วนทางด้านท้ายน้ำจะเป็นขอบเขตแบบเปิดซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ จนถึง อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี ดังแสดงตัวอย่างตามภาพที่ 51 ถึง 54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

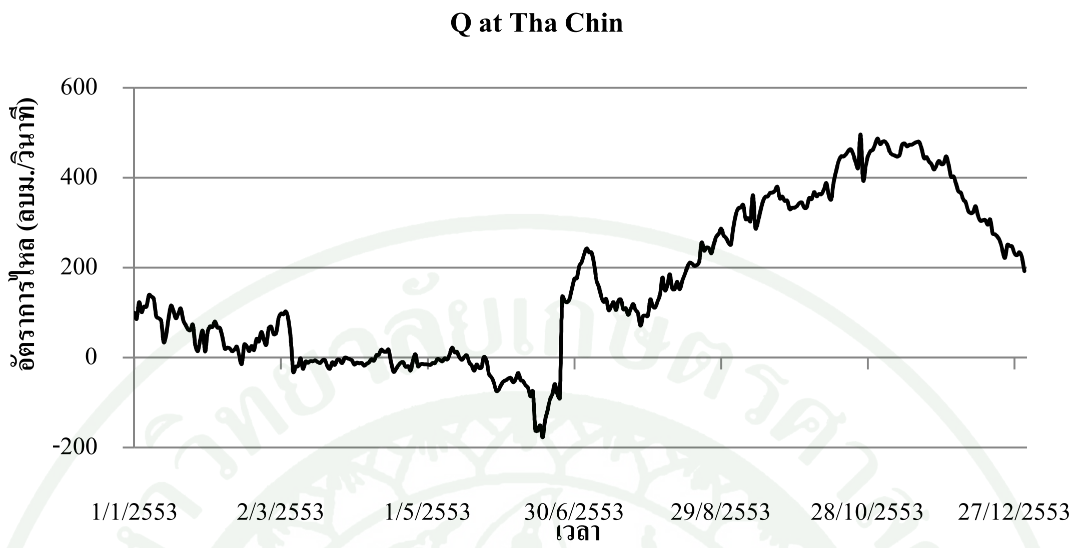


ภาพที่ 51 อัตราการไหลรายวันในแม่น้ำเจ้าพระยาที่ไหลลงอ่าวไทยในปี 2553

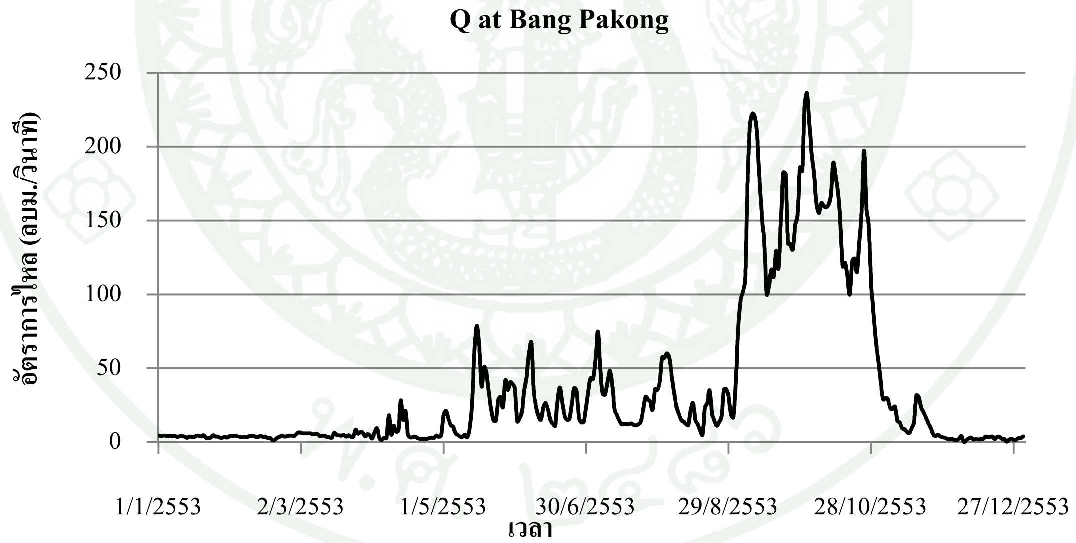


ภาพที่ 52 อัตราการไหลรายวันในแม่น้ำแม่กลองที่ไหลลงอ่าวไทยในปี 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 53 อัตราการไหลรายวันในแม่น้ำท่าจีนที่ไหลลงอ่าวไทยในปี 2553



ภาพที่ 54 อัตราการไหลรายวันในแม่น้ำบางปะกงที่ไหลลงอ่าวไทยในปี 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 ทำการวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อที่จะทำการประเมินปรับเทียบหาค่าตัวแทนของสัมประสิทธิ์ความขรุขระท้องน้ำ ซึ่งหลังจากการคำนวณโดยแบบจำลองจะได้ลักษณะทางอุทกพลศาสตร์ในอ่าวไทย โดยผลการคำนวณจะได้ระดับน้ำที่ตำแหน่งปากแม่น้ำต่างๆ แล้วทำการเปรียบเทียบกับระดับน้ำที่ปากแม่น้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในการศึกษาจะพิจารณาระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีน เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับระดับที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลอง

ในการปรับเทียบแบบจำลองต่างๆ จะใช้ข้อมูลทางสถิติมาเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบและตัดสินใจ ประกอบด้วย

ค่าความแม่นยำ

ค่าความแม่นยำจะใช้วิธี Root mean square error (RMSE) ซึ่งจะแสดงวิธีคำนวณได้ดังสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x-y)^2}{n}} \tag{30}$$

วิธีทาง Goodness-of-fit

ประมาณค่าผลที่ได้จากทางวิธี Goodness-of-fit ประกอบไปด้วย ค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์ Coefficient of determination (R^2) และ Nash coefficient (E) ดังสมการ

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)\left(y_i - \bar{y}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)^2 \times \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \bar{y}\right)^2}} \right)^2 \tag{31}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$E = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \tag{32}$$

เมื่อ y = ระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง

x = ระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด

$\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง

i = ลำดับของข้อมูล

n = จำนวนข้อมูล

ค่าที่ยอมรับได้ของค่าทางสถิติ RMSE ต้องมีค่าน้อยที่สุด (เข้าใกล้ 0) และค่าสัมประสิทธิ์ Coefficient of determination (R^2) และ Nash coefficient (E) ต้องเข้าใกล้ 1

4. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลด้วยวิธีทางสถิติ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน โดยทำการศึกษาจากการตรวจเอกสารถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย และปากแม่น้ำท่าจีน จากนั้นทำการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลโดยใช้ข้อมูลทางสถิติย้อนหลังของข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยรายปีมาทำการคำนวณตามเทคนิควิธี Linear Regression พร้อมทั้งทำการปรับแก้ผลของการทรุดตัวของแผ่นดินที่สถานีตรวจวัดระดับน้ำเพื่อที่จะได้อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนที่แท้จริง

5. ปรับแก้การทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณปากแม่น้ำ

ในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่บริเวณปากแม่น้ำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลจากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) พบว่า บริเวณจังหวัดชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน ประกอบด้วย สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร และสมุทรปราการ แผ่นดินมีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง ในตลอดระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้เป็นจำนวนมาก โดยเหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Trisirisatayawong (2011) ซึ่งได้ทำการสำรวจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าเกิดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่สถานีวัดระดับน้ำเท่ากับ 12.6 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีสันดอนกรุงเทพ และเท่ากับ 14.8 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีป้อมพระจุล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำอย่างมากดังกล่าวเกิดจากการทรุดตัวของสถานีวัดระดับเองด้วย

โดยในการศึกษาการปรับแก้การทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนจะพิจารณาใช้ผลการทรุดตัวที่ได้จากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) มาทำการปรับแก้กับผลของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีน เพราะผลการคำนวณของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนนี้ได้รวมผลของการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำไปด้วยแล้ว ดังนั้นเพื่อให้ได้การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำที่แท้จริงจึงจำเป็นจะต้องมีการปรับแก้จากค่าการทรุดตัวดังกล่าว

6. วิเคราะห์การรุกล้ำของความเค็มในแม่น้ำ

การศึกษาพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนจะพิจารณาจากอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ได้ศึกษาก่อนหน้านี้ โดยกำหนดระดับทะเลที่ปากแม่น้ำในปี พ.ศ.2558 พ.ศ.2563 พ.ศ.2568 และในปี พ.ศ.2573 เป็นขอบเขตด้านท้ายน้ำ และใช้แบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจาย มาทำการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็ม ในปีดังกล่าว เพื่อที่ทำให้ทราบถึงการรุกล้ำความเค็มในอนาคตข้างหน้า และเพื่อเป็นแนวทางในการหามาตรการ หรือการบริหารจัดการความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

7. มาตรการลดผลกระทบการรุกล้ำความเค็ม

ในการควบคุมความเค็มในแม่น้ำได้มีแนวทางหรือมาตรการต่างๆ เพื่อใช้ในการบรรเทาปัญหาการรุกล้ำความเค็ม ซึ่งมีอยู่หลากหลายวิธีเช่น การสร้างประตูระบายน้ำที่ปากแม่น้ำเพื่อป้องกันน้ำทะเลหนุน เพิ่มการปล่อยน้ำในแม่น้ำเพื่อทำการผลักดันน้ำเค็ม เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งการสร้างประตูระบายน้ำที่ปากแม่น้ำดังกล่าวนี้จะส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นที่การก่อสร้างเป็นอย่างมาก และยังส่งผลสภาพแวดล้อม สภาพทางกายภาพ รวมถึงสภาพทางนิเวศที่เปลี่ยนไป และในการดำเนินการก่อสร้างก็ยังมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเป็นจำนวนมาก และในส่วนของการเพิ่มการปล่อยน้ำในแม่น้ำเพื่อทำการผลักดันน้ำเค็มสามารถทำได้สะดวกกว่าวิธีการดังกล่าวข้างต้น ซึ่งเพียงแต่ต้องมีการขอความร่วมมือในการทดน้ำจากเขื่อนแม่กลองเพื่อทำการทดน้ำมาลงที่แม่น้ำท่าจีนเพื่อใช้ในการผลักดันน้ำเค็ม

โดยในการศึกษานี้กำหนดใช้มาตรการในการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีนด้วยการเพิ่มปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำ โดยการผันน้ำจากแม่น้ำแม่กลองที่เขื่อนแม่กลองอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี โดยผ่านมาทางคลองจระเข้สามพัน และคลองท่าสารบางปลา ซึ่งในการเพิ่มปริมาณน้ำในแม่น้ำจะทำการทดลองสมมติเพิ่มอัตราการไหลเริ่มต้นที่ 20 ลบ.ม.ต่อวินาทีและค่อยๆ เพิ่มทีละ 20 ลบ.ม.ต่อวินาที ไปจนเต็มความจุของแม่น้ำท่าจีนบริเวณดังกล่าวซึ่งมีค่าประมาณ 102 ลบ.ม.ต่อวินาทีโดยจะมีอัตราการไหลที่ใช้ในการศึกษานี้คือ 20, 40, 60, 80 และ100 ลบ.ม.ต่อวินาที ตามลำดับเพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการความเค็มในแม่น้ำท่าจีนต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษา

ในการประยุกต์ใช้ชุดแบบจำลอง เพื่อศึกษาสภาพคุณภาพน้ำทางด้านความเค็มในแม่น้ำท่าจีน ตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาจนถึงปากแม่น้ำ ที่เกิดจากการรุกล้ำความเค็มของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคตนั้น ได้ดำเนินการโดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อยคือ 1) แบบจำลอง MIKE 11 HD, 2) แบบจำลอง MIKE 21 HD, และ 3) แบบจำลอง MIKE 11 AD โดยในการประยุกต์ใช้แบบจำลองจะเริ่มต้นจากการปรับเทียบเพื่อประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละแบบจำลองและเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานของแบบจำลอง ซึ่งผลการปรับเทียบแต่ละแบบจำลอง และรวมถึงผลของการศึกษาในขั้นตอนต่างๆ ดังสรุปได้ดังนี้

1. การปรับเทียบแบบจำลอง MIKE 11-1D (HD/AD) เพื่อประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

1.1 การปรับเทียบเพื่อประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง MIKE 11 HD

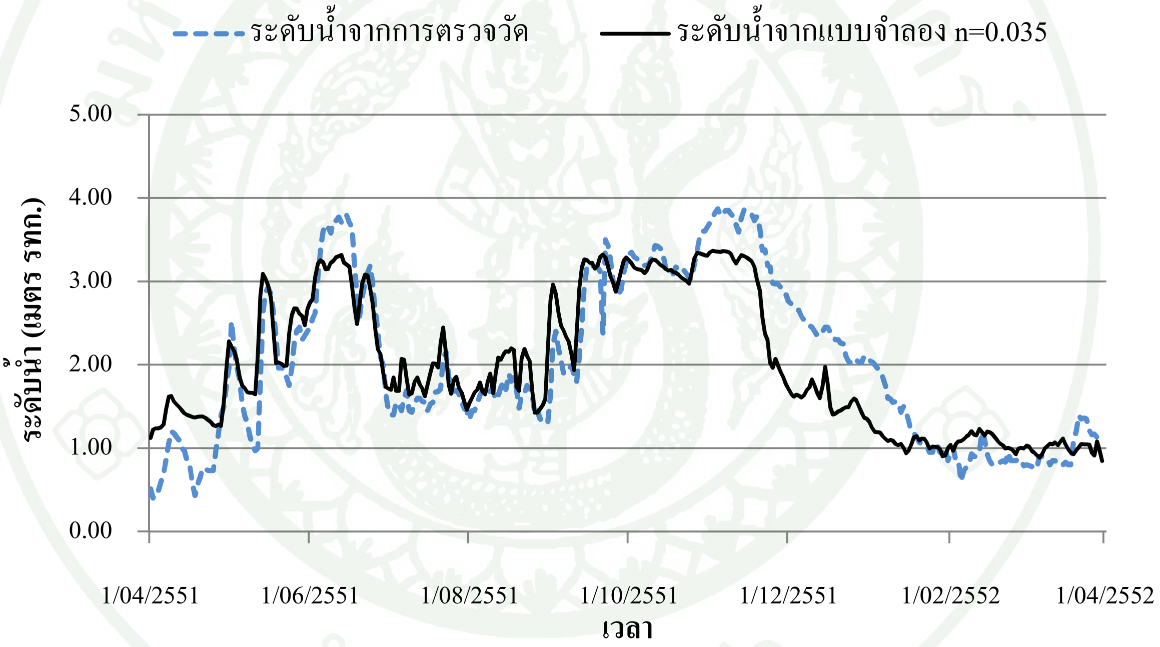
ในการปรับเทียบแบบจำลองนี้จะทำการปรับเทียบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (Manning’s n) ที่เหมาะสม โดยในการศึกษาได้ทำการเลือกตำแหน่งที่ใช้ในการปรับเทียบ 3 ตำแหน่ง ประกอบไปด้วย ตำแหน่งประตูระบายน้ำบางยี่หน (กม.25) เพื่อใช้เป็นตัวแทนต้นลำน้ำ ตำแหน่งประตูระบายน้ำพระพิมล (กม.82) เพื่อใช้เป็นตัวแทนกลางลำน้ำ และตำแหน่งประตูระบายน้ำมหาสวัสดิ์ (กม.116) เพื่อใช้เป็นตัวแทนท้ายลำน้ำ ซึ่งจากผลการปรับเทียบแต่ละตำแหน่งของประตูระบายน้ำจะพิจารณาเริ่มต้นใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่แตกต่างกัน

ดังนั้นในการปรับเทียบแบบจำลองในตำแหน่งประตูระบายน้ำบางยี่หนจนถึงประตูระบายน้ำมหาสวัสดิ์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.035 - 0.062 โดยค่าดังกล่าวจะเป็นค่าที่ยอมรับได้ทางสถิติ ดังสรุปได้ตามตารางที่ 5 และภาพที่ 55 ถึงภาพที่ 57 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

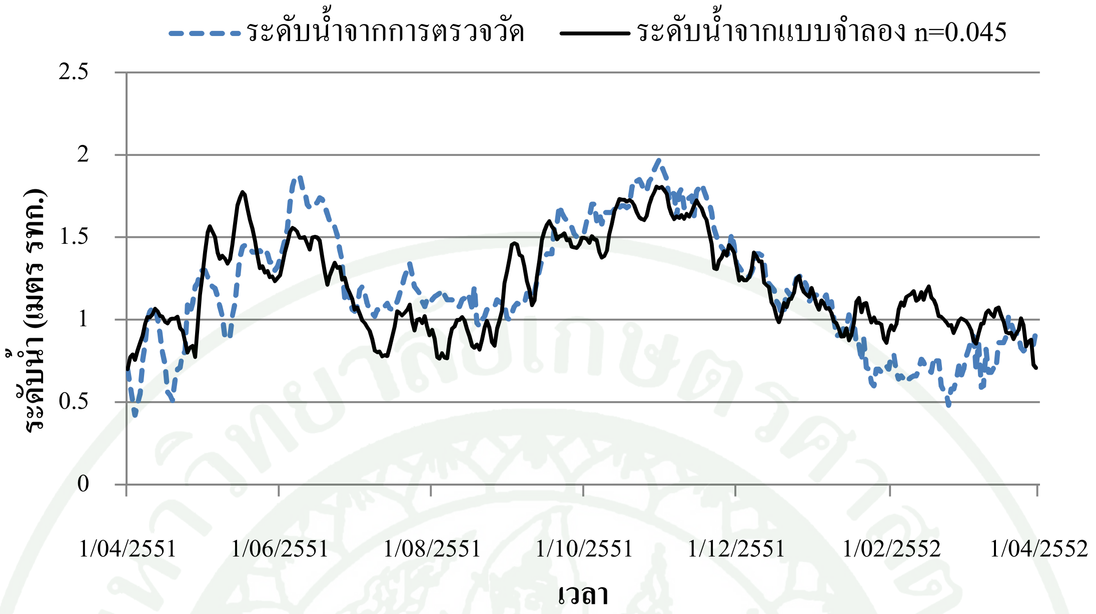
ตารางที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิผลของการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD

ระยะทาง (กม.)	Manning's coefficient (n)	Performance indicates		
		Coefficient of determination (R^2)	Nash coefficient (E)	RMSE (m)
0.00 - 25.00	0.035	0.7889	0.7860	0.4533
25.00 – 116.00	0.045	0.6939	0.6456	0.2190
116.00 – 202.00	0.062	0.6159	0.4089	0.1804

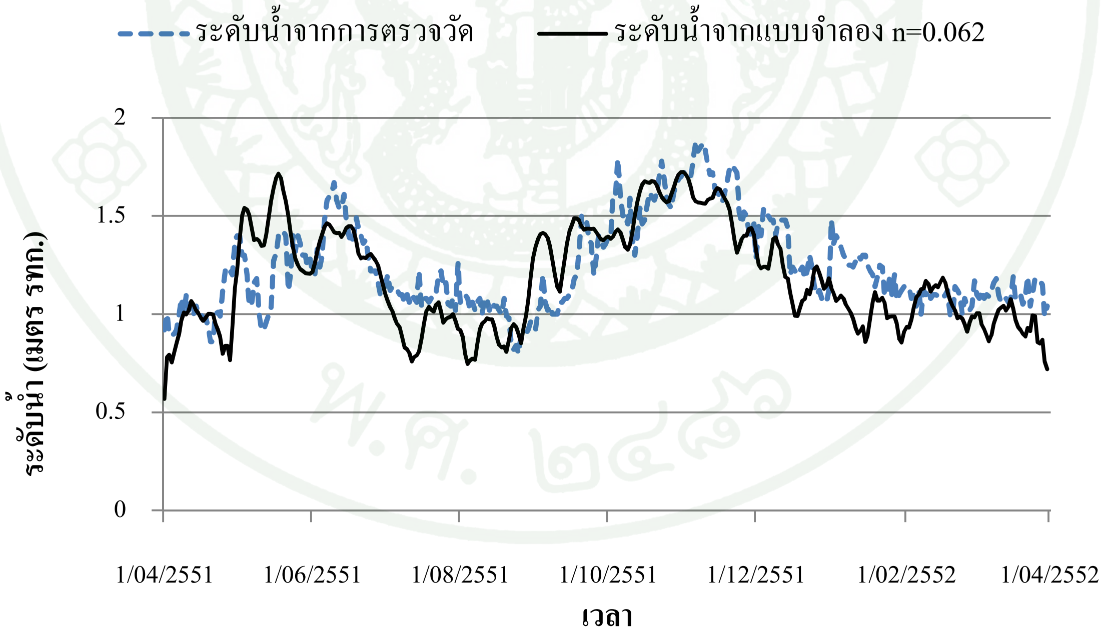


ภาพที่ 55 ผลการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ประตูระบายน้ำบางยี่หน (กม.25)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 56 ผลการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ประตูระบายน้ำพระพิมล (กม.82)



ภาพที่ 57 ผลการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD ที่ประตูระบายน้ำมหาสวัสดิ์ (กม.116)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลของการเปรียบเทียบดังแสดงข้างต้นเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่เป็นตัวแทนในลำน้ำที่ดีที่สุดพบว่าในตำแหน่งต้นลำน้ำหรือที่ประตูระบายน้ำบางยี่หน จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.035 ในตำแหน่งกลางลำน้ำหรือที่ประตูระบายน้ำพระพิมล จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.045 และในตำแหน่งท้ายลำน้ำหรือที่ประตูระบายน้ำมหาสวัสดิ์ จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.062 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระดังกล่าวจะสอดคล้องกับสภาพจริงตามธรรมชาติของลำน้ำ เพราะเนื่องจากลักษณะของทางน้ำ และพื้นทางน้ำจะมีลักษณะเป็นหลุมเป็นบ่อบ้างแต่ก็มีความลึกไม่แตกต่างกันมาก และหน้าตัดของทางน้ำบริเวณต้นน้ำจะมีลักษณะลึกแต่แคบทำให้น้ำไหลได้สะดวกและเร็ว จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวในช่วงต้นน้ำมีค่าต่ำที่สุดซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะสอดคล้องกับสภาพลำน้ำได้เป็นอย่างดี

และในส่วนด้านกลางแม่น้ำลักษณะของทางน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับหรือความชันบ้างเล็กน้อย แต่ความลึกหรือสภาพท้องน้ำจะมีสภาพที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำในแม่น้ำ และในสภาพพื้นที่ในบริเวณตอนกลางของแม่น้ำพบว่าจะมีสิ่งปลูกสร้างที่อยู่อาศัย แพริมน้ำ หรือวัชพืช ขยะในแม่น้ำ ดังแสดงในภาพที่ 58-59 จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ในช่วงกลางลำน้ำนี้สูงกว่าทางต้นน้ำบ้างเล็กน้อย และในส่วนด้านท้ายลำน้ำในสภาพของลำน้ำจะมีลักษณะคดเคี้ยวเป็นอย่างมาก ประกอบกับมีความแตกต่างของระดับความลึกหรือสภาพท้องน้ำมีความขรุขระเป็นหลุมเป็นบ่อมาก และหน้าตัดลำน้ำจะมีลักษณะค่อยๆแผ่กว้างออกมีความกว้างมากขึ้นและความลึกลดลง เนื่องจากเกิดการทับถมของตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ ทำให้การไหลของน้ำไม่ค่อยสะดวก และในช่วงท้ายน้ำแม่น้ำจะไหลผ่านพื้นที่ในชุมชนเมืองดังนั้นจึงอาจมีการก่อสร้างสะพานข้ามแม่น้ำหรือสิ่งปลูกสร้างในลำน้ำดังแสดงในภาพที่ 60-61 จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ระดับน้ำในบริเวณด้านท้ายน้ำนี้สูงขึ้น การไหลไม่ค่อยสะดวก ซึ่งเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำเพิ่มสูงขึ้นกว่าบริเวณอื่นๆ โดยลักษณะสภาพทางกายภาพของลำน้ำหรือภาคตัดขวางแม่น้ำดังแสดงในภาพที่ 62

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 58 แสดงขยะหรือวัชพืชที่อยู่ในแม่น้ำ (กม.121)

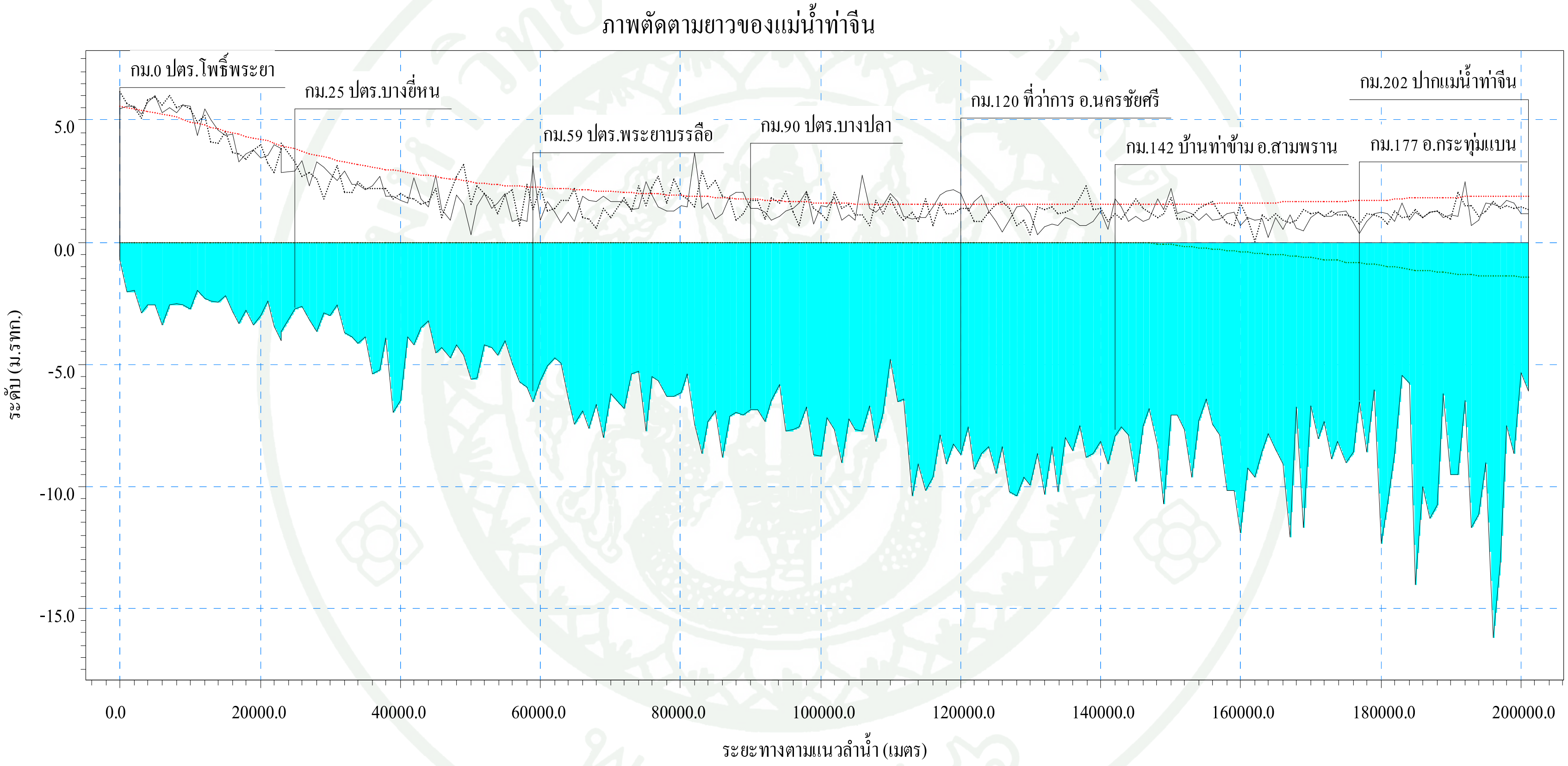
ภาพที่ 59 แสดงสิ่งปลูกสร้างหรือแพริมน้ำที่รุกล้ำอยู่ในแม่น้ำ (กม.141)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 60 แสดงสิ่งก่อสร้างมีการขวางการไหลในแม่น้ำ (กม.141)

ภาพที่ 61 แสดงความกว้างของแม่น้ำในบริเวณใกล้กับปากแม่น้ำ (กม.200)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 62 ภาพแนวยาว (longitudinal profile) ของแม่น้ำท่าจีนที่ใช้ในการศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

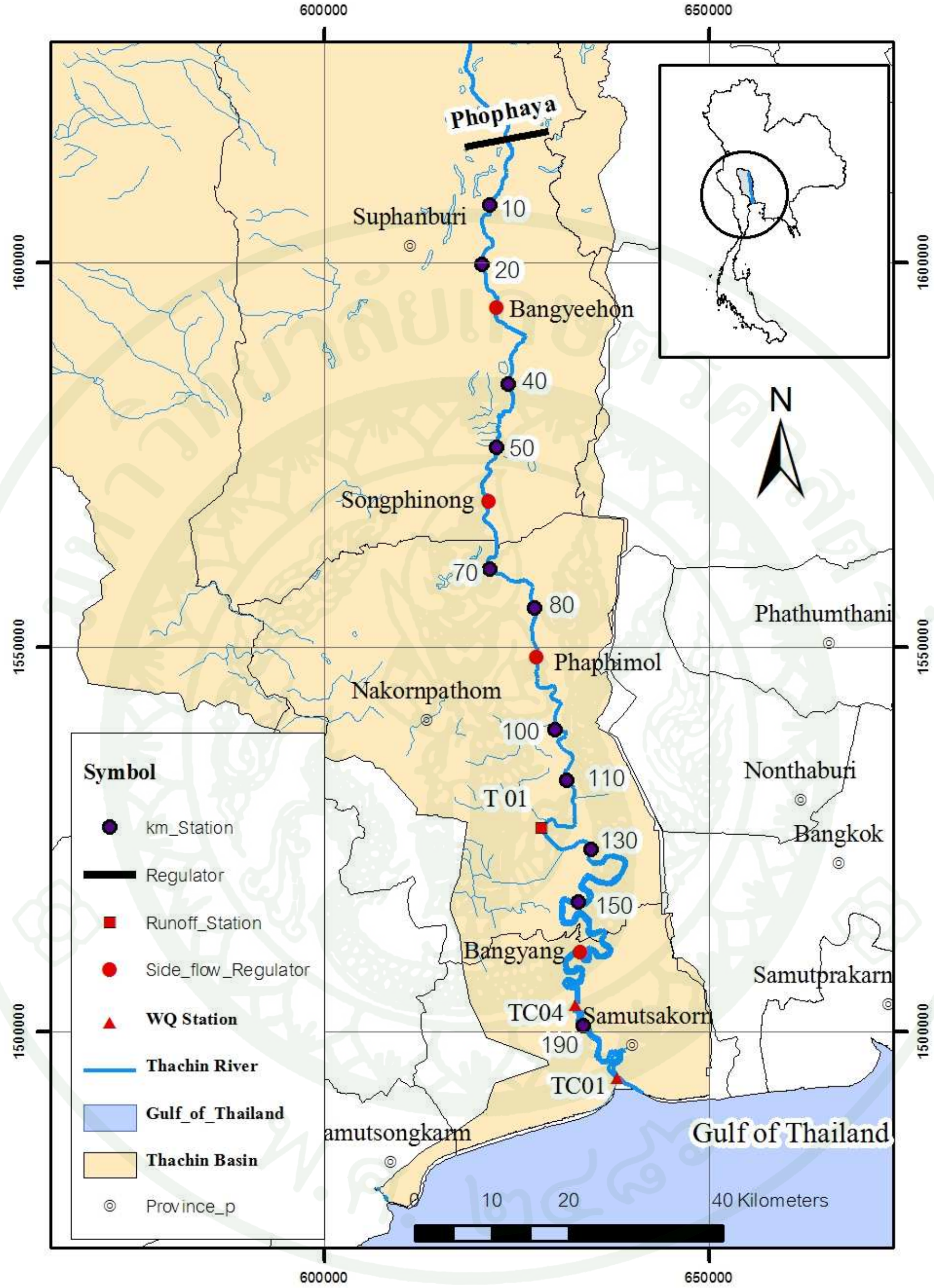
1.2 การปรับเทียบเพื่อประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง MIKE 11 AD

ในการปรับเทียบแบบจำลองการเคลื่อนย้ายและการแพร่กระจาย ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเลือกใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์1มิติในโมดูล Advection-Dispersion Module (MIKE 11 AD) มาประยุกต์ใช้ และสำหรับ AD Module นี้ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการการปรับเทียบ (Calibration) คือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient) โดยจะทำการปรับแก้ จนกระทั่งค่าความเข้มข้นของสารที่พิจารณาจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นของสารจากข้อมูลเก็บสำรวจ สารที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองที่ดีนั้น ควรเป็นสารที่ไม่มีการย่อยสลายตามเวลา หรืออัตราการย่อยสลายคงที่จะดีที่สุด เช่นค่าความเค็ม (Salinity) เป็นต้น

โดยในการศึกษาจะทำการทดลองปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็ม ซึ่งพิจารณาปริมาณการไหลรายวันที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาเป็นขอบเขตเงื่อนไขด้านเหนือน้ำ และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนเป็นขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำ ในการปรับเทียบจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจที่สถานีตรวจสอบคุณภาพน้ำ TC04 ซึ่งมีระยะทางห่างจากปากแม่น้ำ 16 กิโลเมตร(กม.186) ดังแสดงในภาพที่ 63 มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความเค็มจากแบบจำลอง และในส่วนการวิเคราะห์การแพร่กระจายความเค็มจะทำการกำหนดค่าความเค็มบริเวณปากแม่น้ำเป็นค่าความเค็มของน้ำกร่อยที่ได้จากการผสมกันของน้ำจืดและน้ำทะเลซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากการสำรวจในบริเวณปากแม่น้ำเท่ากับ 21.4 ppt.

ในการศึกษาจะทำการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D_f) ที่เหมาะสม โดยแปรผันค่า D_f ในช่วง 300,400,500, และ1000 m^2/s ที่ค่าความเค็มท้ายน้ำเท่ากับ 21.4 ppt. ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองเป็นข้อมูลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแม่น้ำท่าจีน ในปี 2553 ซึ่งเก็บรวบรวมโดยกรมควบคุมมลพิษ ดังแสดงผลการปรับเทียบตามตารางที่ 6 และภาพที่ 64 ถึงภาพที่ 67

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

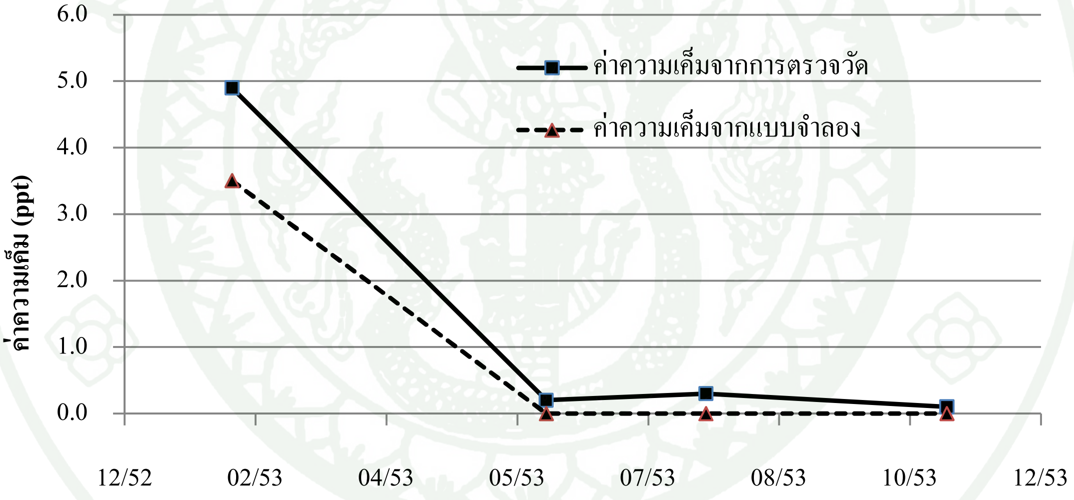


ภาพที่ 63 ตำแหน่งของสถานีตรวจสอบคุณภาพน้ำที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

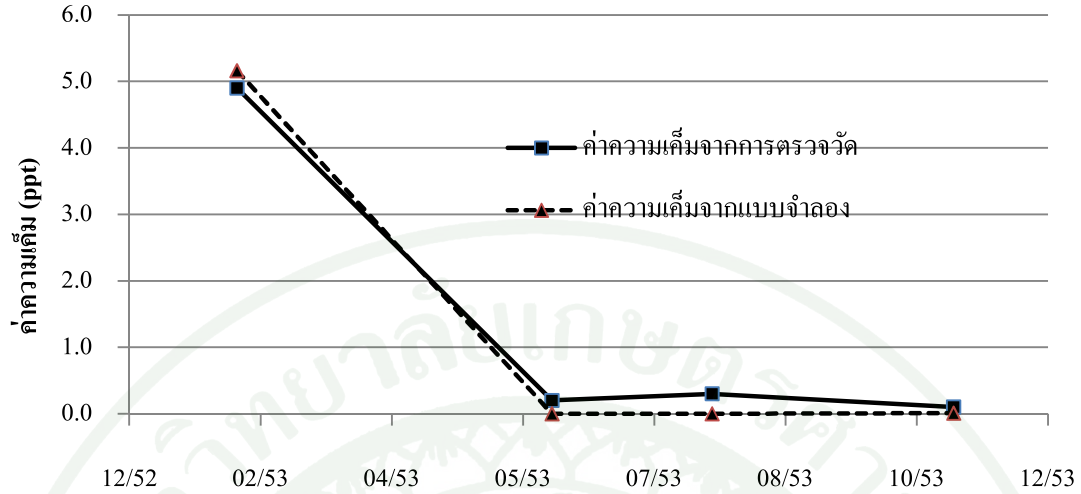
ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบผลของการปรับเทียบแบบจำลองการแพร่กระจาย

สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)	Performance indicates (R^2)	RMSE	E
D_f=300	0.9988	0.7216	0.8744
D_f=400	0.9987	0.2274	0.9875
D_f=500	0.9984	0.8592	0.8220
D_f=1000	0.9911	3.1275	-1.3587

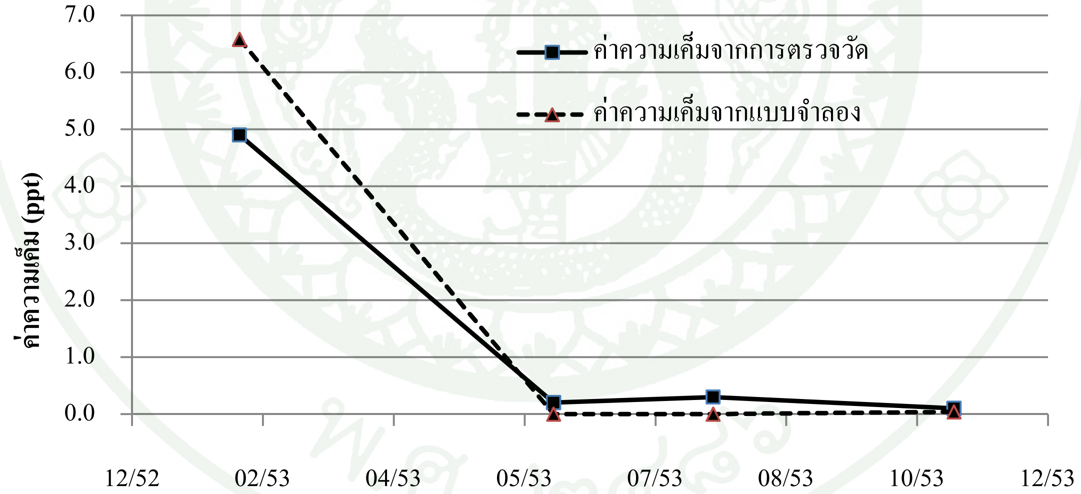


ภาพที่ 64 ผลการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็มที่สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย D_f = 300 m^2/s

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

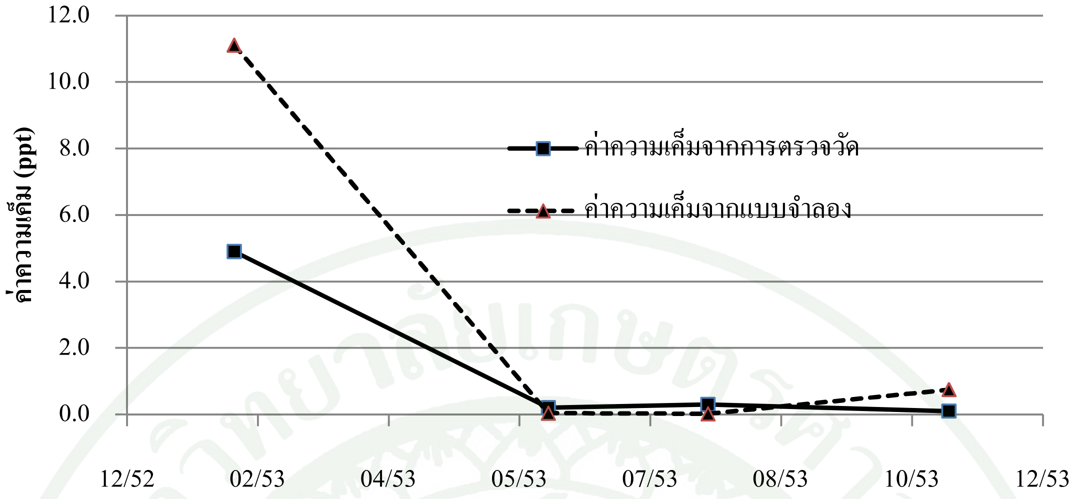


ภาพที่ 65 ผลการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็มที่สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย $D_f = 400\ m^2/s$



ภาพที่ 66 ผลการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็มที่สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย $D_f = 500\ m^2/s$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 67 ผลการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็มที่สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย D_f=1000 m^2/s

ในการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D_f) เท่ากับ 400 ตารางเมตรต่อวินาที ของค่าความเค็มท้ายน้ำ 21.4 ppt. จะให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจของ R^2, NSE, และ RMSE, เท่ากับ 0.9987, 0.9875, และ0.2274 ppt. ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าในตอนบนของแม่น้ำหรือตำแหน่งที่ไกลจากปากแม่น้ำจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายต่ำกว่า ในช่วงบริเวณปากแม่น้ำ เพราะในช่วงบริเวณปากแม่น้ำจะมีปัจจัยภายนอกอื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายของความเค็มได้ เช่น กระแสน้ำขึ้นน้ำลง กระแสลม เป็นต้น และอัตราการไหลในลำน้ำก็ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในบริเวณลำน้ำไม่เท่ากันด้วย เพราะเนื่องจากทางตอนต้นของลำน้ำจะมีปริมาณการไหลสูงกว่าในบริเวณท้ายน้ำ ซึ่งปริมาณการไหลนี้จะส่งผลในเรื่องของการควบคุมความเค็มของน้ำในลำน้ำด้วย ดังนั้นจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในต้นน้ำมีค่าต่ำกว่าท้ายลำน้ำนั้นเอง (ภัทรา, 2541)

และจากการศึกษานี้ใช้ค่าความเค็มที่ได้จากการตรวจวัดในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมาทำการปรับเทียบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่เหมาะสมในลำน้ำ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องนี้มีไม่เพียงพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์ปรับเทียบเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวถูกต้องมากยิ่งขึ้นทั้งในบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำ ดังนั้นในการปรับเทียบจึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นตัวแทนในลำน้ำ และจากการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องพบว่า ในการเก็บข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูลปีละ 4 ครั้ง ประกอบไปด้วย ประมาณปลายเดือนกุมภาพันธ์ กลางเดือนมิถุนายน ปลายเดือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิงหาคม และปลายเดือนพฤศจิกายน ซึ่งข้อมูล 4 ครั้งต่อปีนี้ เมื่อนำมาทำการปรับเทียบอาจจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่ผลที่ได้ก็ยังสอดคล้องกับผลของการแพร่กระจายความเค็มในแม่น้ำที่อยู่ถัดกันออกไปอย่างแม่น้ำแม่กลอง ซึ่งจากการศึกษาของ ภัทรา 2541 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายความเค็มจะมีค่าประมาณ 300- 700 ตารางเมตรต่อวินาที ในส่วนของต้นน้ำถึงท้ายน้ำ

2. การปรับเทียบเพื่อประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง MIKE 21 HD

ในการสร้างแบบจำลองเพื่อที่จะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน ภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน จะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อปรับเทียบหาค่าความขรุขระท้องน้ำ (Chezy's number) จากแบบจำลอง MIKE 21-2D โดยพิจารณาขอบเขตเงื่อนด้านท้ายน้ำด้วยระดับน้ำที่มีการกระจายเป็นเส้นตรงจากสถานีวัดระดับน้ำหัวหินไปจนถึงสถานีวัดระดับน้ำสัตหีบ

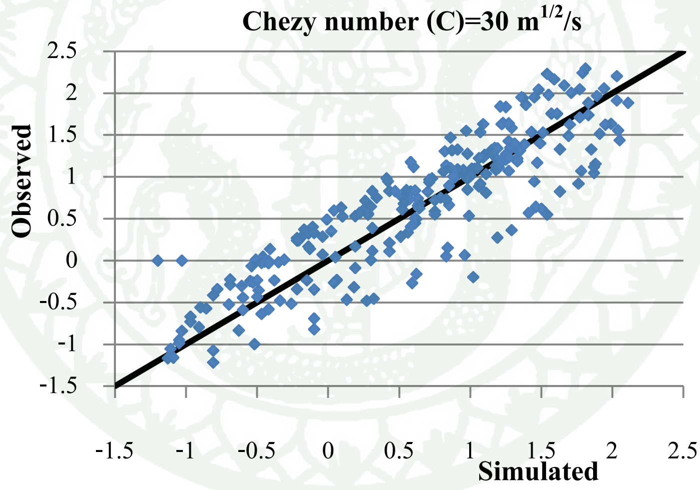
จากการสร้างแบบจำลองจะพิจารณาตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวเนื่องกับการไหลในทิศทาง 2 มิติ ดังนี้ ขนาดและทิศทางลมจะกำหนดให้กำหนดให้เปลี่ยนแปลงตามเวลา ในส่วนค่าแรงเสียดทานเนื่องจากลม (Wind friction) นั้นจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วลมที่ระดับ 10 เมตรเหนือผิวน้ำทะเล, ความฝืดจากลมมีค่าเท่ากับ 0.001255 และ 0.002425 เมื่อความเร็วลมมีค่าเท่ากับ 7 เมตรต่อวินาที และ 25 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าจากการทดลองที่เหมาะสมกับทะเลเปิด เนื่องจากอ่าวไทยตอนบนเป็นเขตน้ำตื้นที่มีความลึกเพียง 15 เมตร ทำให้ไม่มีการแบ่งชั้นน้ำเนื่องจากการผันแปรของอุณหภูมิ (นาฝีซ๊ะ, 2553) และค่าความหนืดไหลวน จึงถูกกำหนดให้ค่าคงที่เท่ากับ 0.28 (DHI Water and Environment, 2008)

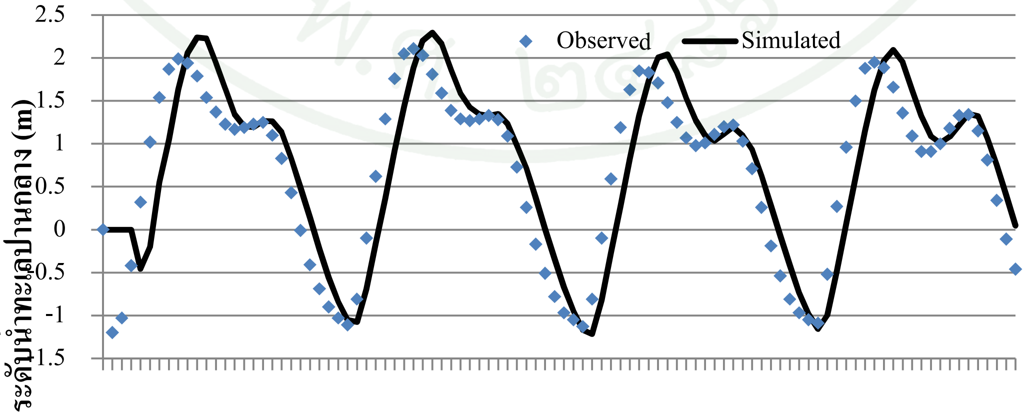
ในการศึกษานี้จะทำการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระท้องน้ำของ Chezy (C) ที่เหมาะสม โดยแปรผันค่า C ในช่วง 30-120 $m^{1/2}/s$ โดยค่า C ที่ทดลองใช้คือ 30, 50, 70, 100, และ120 $m^{1/2}/s$ ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองเป็นข้อมูลระดับน้ำจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ณ ตำแหน่งสถานีปากแม่น้ำท่าจีน พ.ศ.2553 ซึ่งเก็บรวบรวมโดยกรมเจ้าท่า โดยผลการเปรียบเทียบดังแสดงได้ตามตารางที่ 7 และภาพที่ 68 ถึงภาพที่ 72 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบผลของการปรับเทียบแบบจำลอง MIKE21 HD

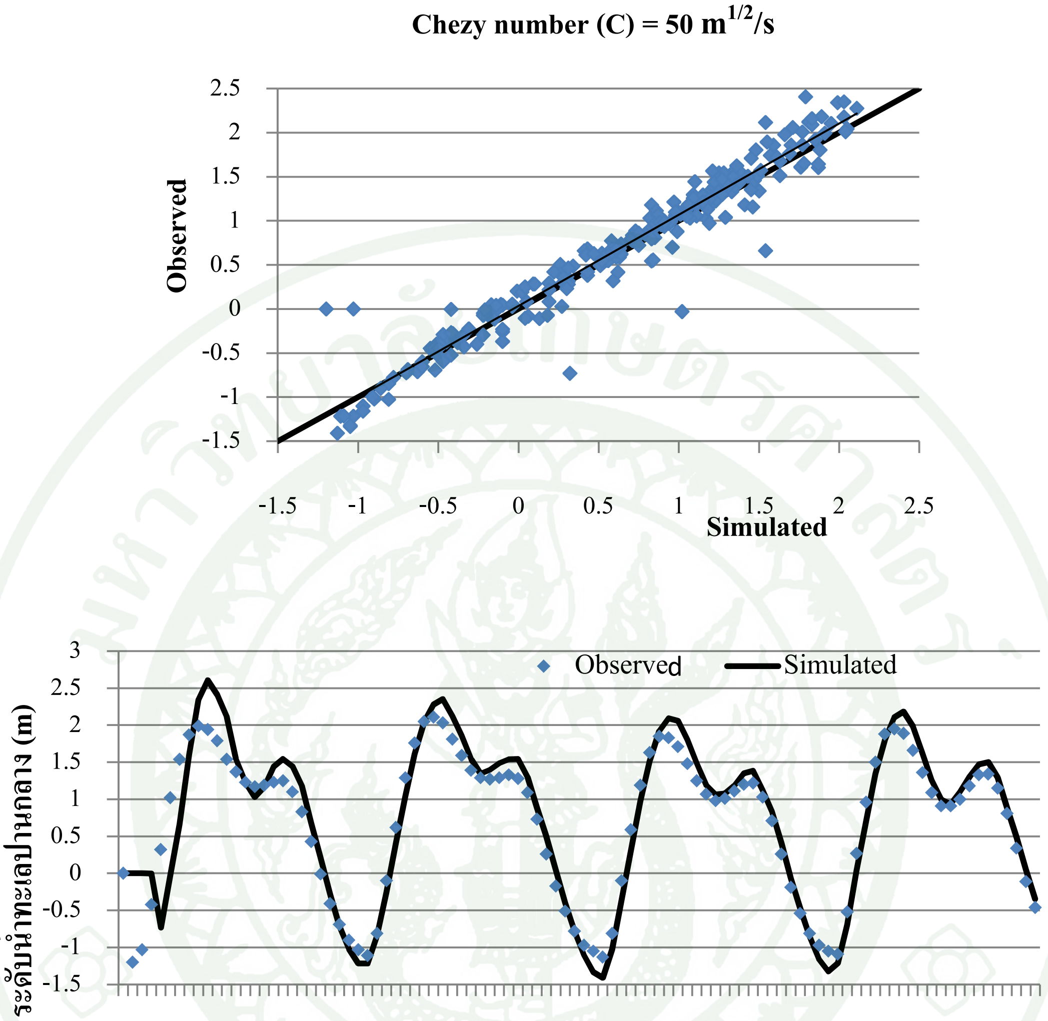
Chezy number (C)	Performance indicates		
	Coefficient of determination (R^2)	Nash coefficient (E)	RMSE (m)
C=30	0.5969	0.8774	0.3867
C=50	0.9605	0.9640	0.2097
C=70	0.9748	0.9736	0.1796
C=100	0.9642	0.9679	0.1980
C=120	0.9578	0.9623	0.2146





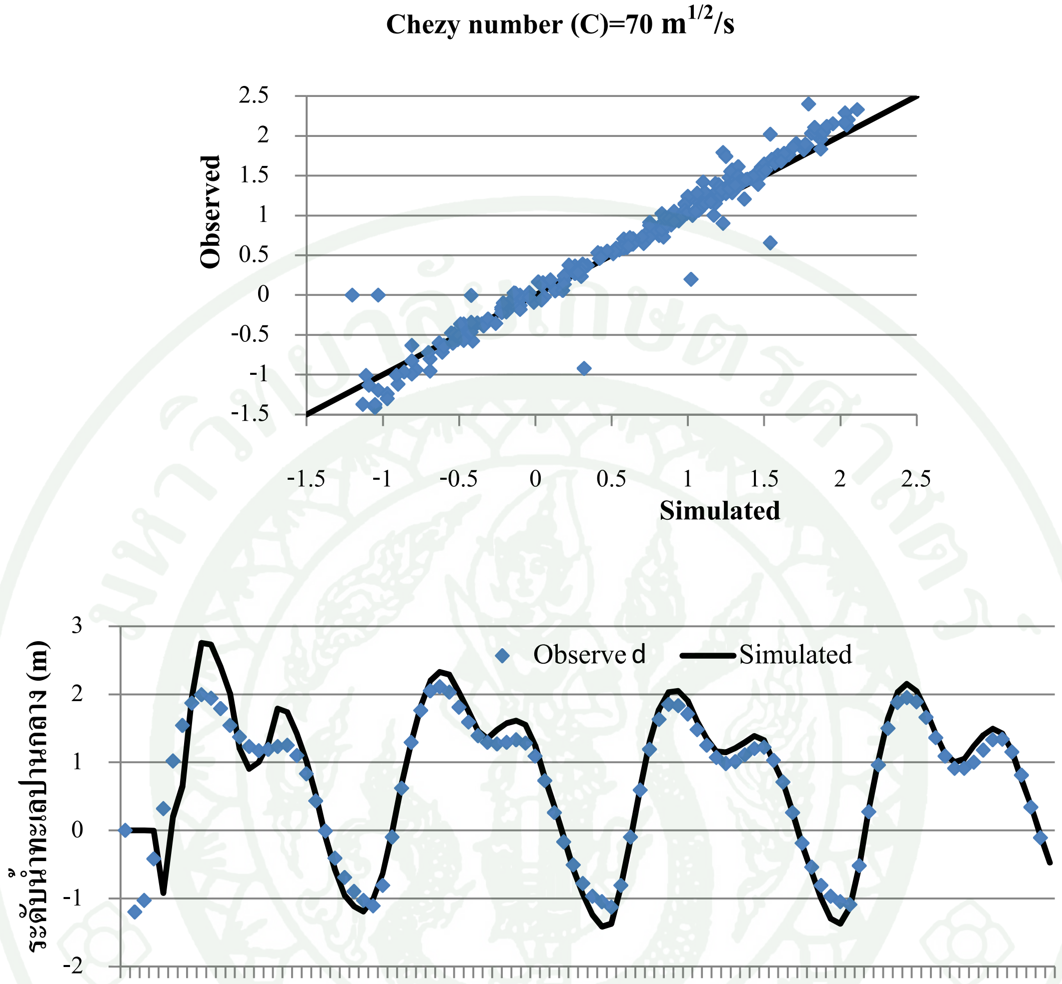
ภาพที่ 68 ผลการปรับเทียบค่าความขรุขระท้องน้ำ Chezy number (C)=30 $m^{1/2}/s$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



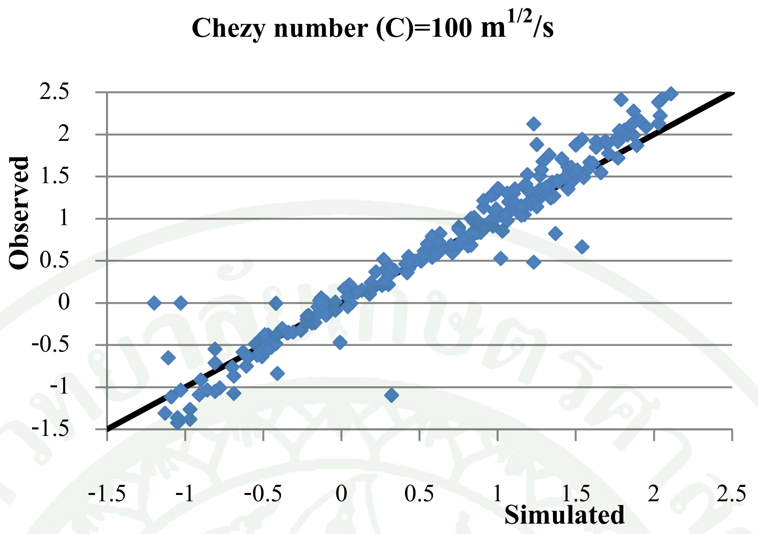
ภาพที่ 69 ผลการปรับเทียบค่าความขรุขระท้องน้ำ Chezy number (C)=50 $m^{1/2}/s$

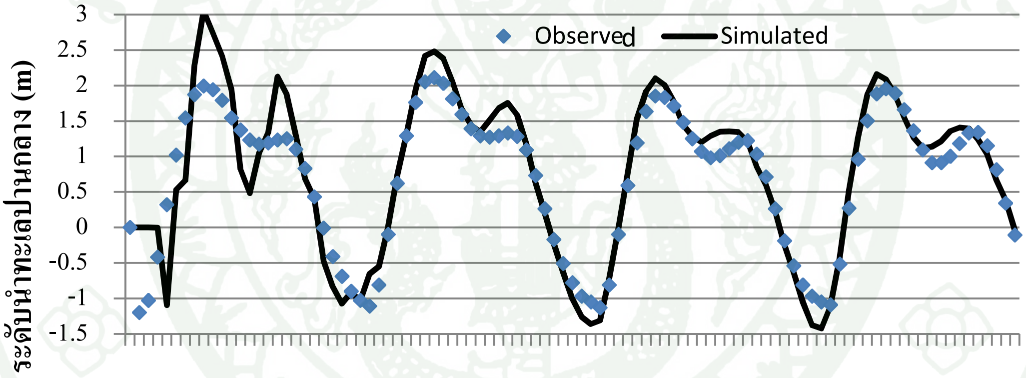
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 70 ผลการปรับเทียบค่าความขรุขระท้องน้ำ Chezy number (C)=70 $m^{1/2}/s$

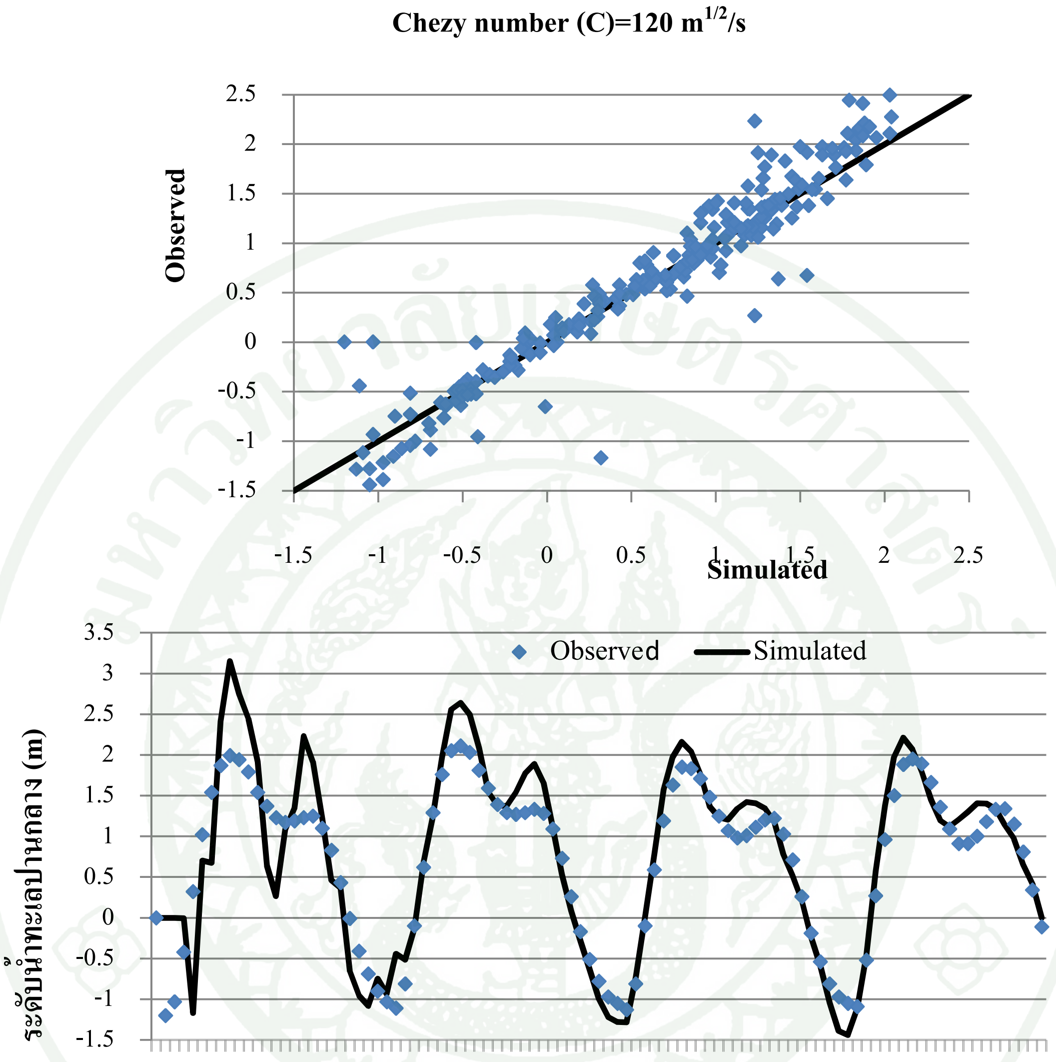
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์





ภาพที่ 71 ผลการปรับเทียบค่าความขรุขระท้องน้ำ Chezy number (C)=100 $m^{1/2}/s$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 72 ผลการปรับเทียบค่าความขรุขระท้องน้ำ Chezy number (C)=120 $m^{1/2}/s$

จากผลการปรับเทียบจะพบว่าค่าความขรุขระท้องน้ำหรือ Chezy number (C) เท่ากับ 70 $m^{1/2}/s$ จะให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด และจากการเปรียบเทียบทางสถิติก็ยังพบว่า ค่าความขรุขระท้องน้ำเท่ากับ 70 $m^{1/2}/s$ จะให้ค่าทางสถิติที่ดีที่สุดด้วย ซึ่งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงที่สุดเท่ากับ 0.9748 ค่าความความแม่นยำของแบบจำลองหรือ Nash coefficient (E) เท่ากับ 0.9736 และค่าความคลาดเคลื่อน Root mean square error (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 0.1796 เมตร และจากการวิเคราะห์ยังพบว่าค่า Chezy number ที่อยู่ในช่วง 68-75 $m^{1/2}/s$ ของท้องน้ำที่ความลึกเฉลี่ย 15 เมตร อาจสันนิษฐานได้ว่าท้องน้ำมีลักษณะเป็นโคลน หรือทรายที่ไม่เป็นสันดอน ที่มีลักษณะของท้องน้ำ

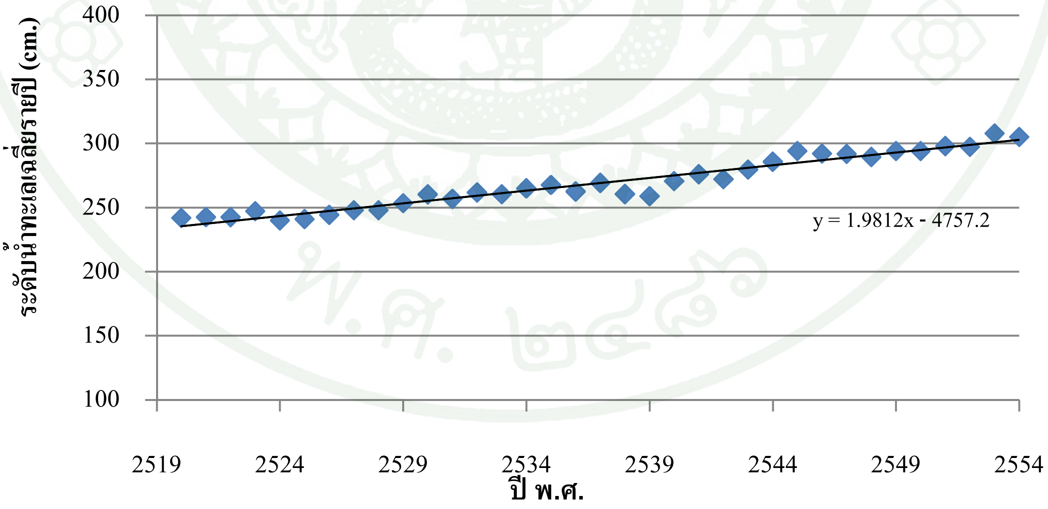
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ค่อนข้างราบเรียบ จากกระแสคลื่นในทะเลและเมื่อตรวจสอบกับสภาพของพื้นที่อ่าวไทยตอนบน ซึ่งเป็นดินเลนที่มีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบหลัก และมีหาดทรายโดยรอบชายฝั่ง พบว่าผลการศึกษาสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง (นาฝีซ๊ะ และคณะ, 2554)

3. การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน

3.1 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในปากแม่น้ำท่าจีน และอ่าวไทยตอนบนด้วยการวิเคราะห์จากข้อมูลทางสถิติ

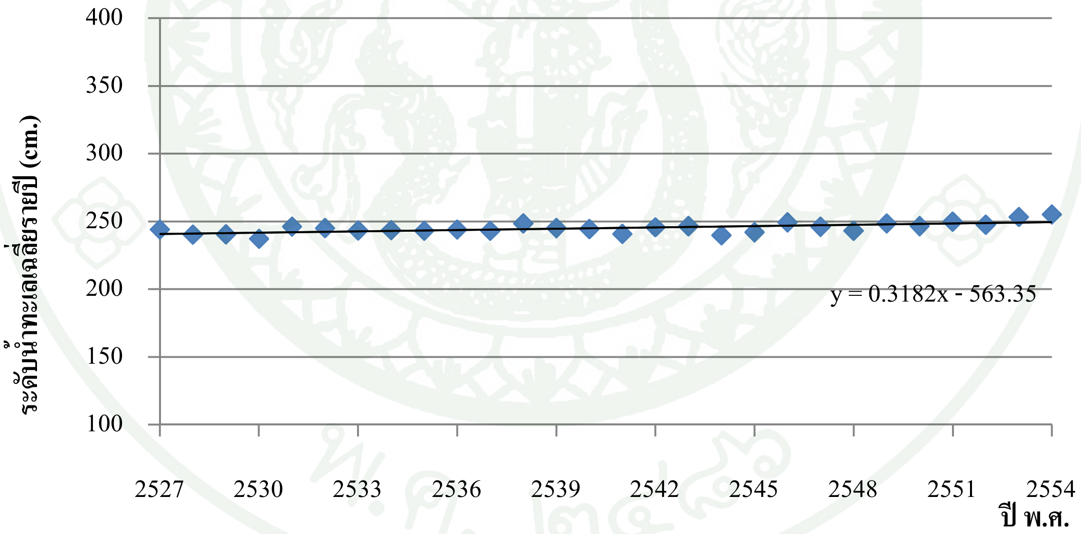
จากการศึกษาถึงการการรุกล้ำความเค็มของแม่น้ำท่าจีนที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำนั้นจะเริ่มจากการศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในระยะยาว (Long term sea level change) โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยรายปีจากสถานีวัดระดับน้ำของกรมเจ้าท่าที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน ในปี พ.ศ. 2520 –2554 จำนวน 35 ปี มาทำการคำนวณตามเทคนิควิธี Linear Regression พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 19.25 มิลลิเมตรต่อปี ดังแสดงในภาพที่ 73



ภาพที่ 73 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนในปี พ.ศ. 2520-2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนจะทำการวิเคราะห์จากข้อมูลในระยะยาว (Long term sea level change) เช่นกัน โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยรายปีจากสถานีวัดระดับน้ำของกรมเจ้าท่า สถานีตัวแทน 1 สถานี คือ สถานีแหลมงอบ เพื่อใช้เป็นตัวแทนการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน เพราะสถานีดังกล่าวไม่ได้อยู่ในที่ตั้งบริเวณปากแม่น้ำดังนั้นจึงไม่มีผลกระทบของการไหลลงของน้ำในแม่น้ำ แต่จะมีแค่การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ได้รับอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นในอ่าวไทยอย่างเดียว โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2527 – 2554 จำนวน 28 ปี มาทำการคำนวณตามเทคนิควิธี Linear Regression พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่สถานีนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.07 มิลลิเมตรต่อปี ดังแสดงในภาพที่ 74 ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ตรวจวัดได้จากสถานีแหลมงอบนี้ จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสอดคล้องกับผลการศึกษาของ คงวัฒน์ (2551) และ Itti (2011) โดยได้ระบุไว้ว่าการเพิ่มขึ้นของระดับเฉลี่ยรายปีของสถานีวัดระดับน้ำในอ่าวไทยจะสูงขึ้นประมาณ 3 – 6 มิลลิเมตรต่อปี



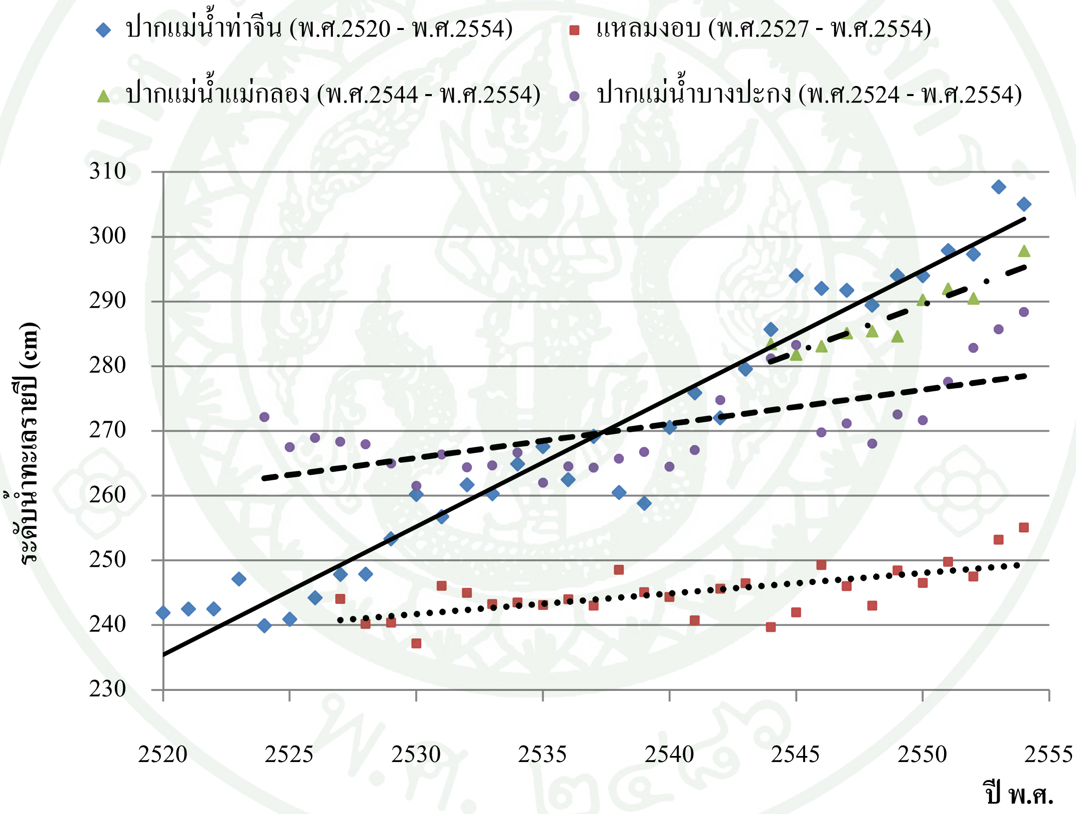
ภาพที่ 74 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สถานีแหลมงอบในปี พ.ศ. 2527-2554

และอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำอื่นๆ ที่รวบรวมข้อมูลได้ คือ ปากแม่น้ำแม่กลอง และปากแม่น้ำบางปะกง ดังแสดงได้ในตารางที่ 8 และภาพที่ 75 ซึ่งพบว่าระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำทั้งสามแห่งนี้ (5.7-19.2 มม./ปี) จะเพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน

สถานี	การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (มม./ปี)
ปากแม่น้ำท่าจีน	19.2
ปากแม่น้ำแม่กลอง	14.6
ปากแม่น้ำบางปะกง	5.7
แหลมงอบ	3.1



ภาพที่ 75 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สถานีวัดระดับน้ำในอ่าวไทยตอนบน

เมื่อระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นนี้จะส่งผลกระทบในด้านต่างๆของพื้นที่บริเวณชายฝั่ง เช่นการกัดเซาะชายฝั่ง การรุกล้ำน้ำเค็มเข้าสู่น้ำใต้ดิน และจากการรุกของน้ำเค็มเข้าไปในแม่น้ำ จะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรเป็นอย่างมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในปากแม่น้ำท่าจีน ด้วยการวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (MIKE21-HD)

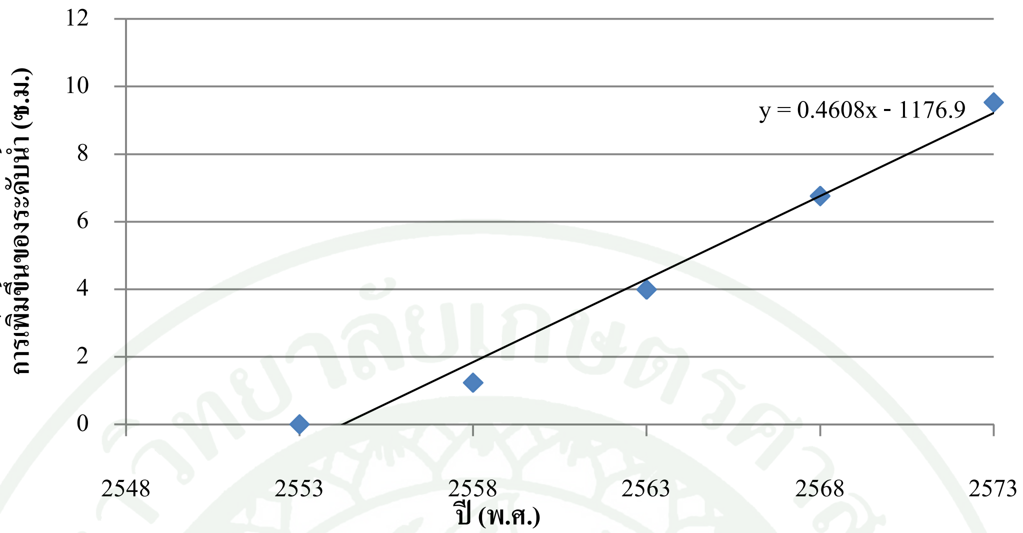
การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนจากผลการศึกษาของนักวิจัยต่างๆ ที่ได้ศึกษาก่อนหน้านี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนจะมีค่าอยู่ในช่วง 5-6 มิลลิเมตรต่อปี โดยอัตราการเพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นอัตราที่ได้มีการศึกษาและยอมรับในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตั้งแต่ในอดีต ปัจจุบัน จนถึงในอนาคต ดังนั้นในการวิเคราะห์แบบจำลองจะกำหนดขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นระดับทะเลที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 5.5 มิลลิเมตร ของสถานีหัวหิน และสถานีสัตหีบ จากนั้นทำการวิเคราะห์คำนวณหาระดับน้ำที่ปากแม่น้ำท่าจีนในปี พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2563 พ.ศ. 2568 และพ.ศ. 2573 พบว่าระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำจะเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 9 โดยระดับน้ำที่เพิ่มนี้จะเป็นระดับที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระดับน้ำที่ปากแม่น้ำท่าจีนในปี พ.ศ. 2553

ตารางที่ 9 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในในปากแม่น้ำท่าจีนจากการวิเคราะห์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์

ปี พ.ศ.	การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (ซม.)
2558	1.23
2563	3.99
2568	6.76
2573	9.53

จากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำตามปี พ.ศ. ดังกล่าวทำให้สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยได้ประมาณปีละ 4.6 มิลลิเมตรต่อปี ดังแสดงในภาพที่ 76 โดยการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ ได้จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเฉพาะขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำ แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากแบบจำลองนี้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สอดคล้อง หรือใกล้เคียงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติหลังจากการปรับแก้การทรุดตัวแล้ว ดังนั้นผลที่ได้จากแบบจำลองมีความแม่นยำสูง และถูกต้องเพียงพอในการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลดังกล่าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 76 อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนจากแบบจำลอง

4. การทรุดตัว และการปรับแก้การทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน

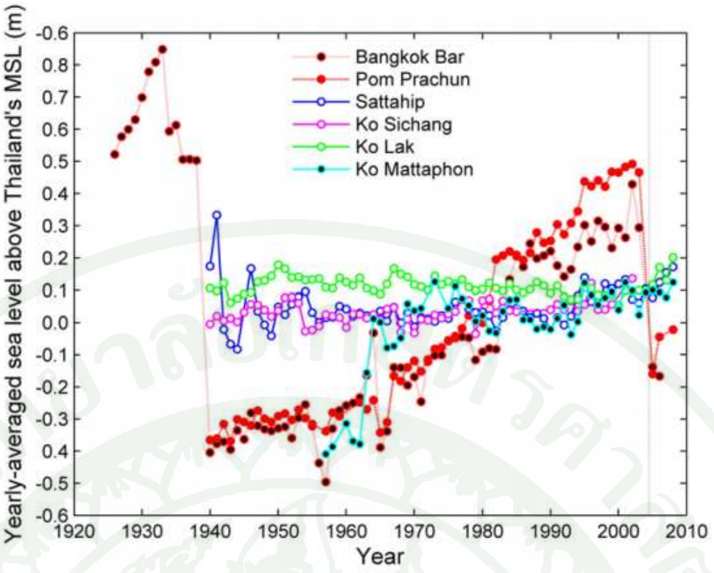
การที่อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีการเพิ่มขึ้นอย่างมากนั้น มีผลมาจากสาเหตุการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่บริเวณปากแม่น้ำเอง เพราะจากการการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าแผ่นดินเกิดการทรุดตัวเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะที่บริเวณของสถานีวัดระดับน้ำ และจากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) พบว่า บริเวณจังหวัดชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน ประกอบด้วย สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร และสมุทรปาการ มีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่องในตลอดระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้เป็นจำนวนมาก โดยเหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Itti *et al.* (2011) ซึ่งได้ทำการสำรวจและวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สถานีต่างๆ ทั้งที่อยู่บนเกาะ และบริเวณแผ่นดินตรงปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สถานี ป้อมพระจุล และสันดอนกรุงเทพฯ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยมีอัตราการเพิ่มเท่ากับ 12.6 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีสันดอนกรุงเทพ และเท่ากับ 14.8 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีป้อมพระจุล ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นดังกล่าวจะสูงกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สถานีอื่น ดังแสดงในภาพที่ 77 เพราะเนื่องจากที่ตั้งของสถานีอื่นๆ นั้นอยู่บนเกาะหรืออยู่บนชั้นหิน ทำให้ไม่มีการทรุดตัวของผืนดิน แต่สถานีวัดระดับน้ำป้อมพระจุล และสันดอนกรุงเทพฯ ตั้งอยู่บนแผ่นดินที่มีชุมชนอาศัยอยู่หนาแน่น ได้มีการทรุดตัวลงอย่างต่อเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลไปใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งการทรุดตัวของแผ่นดินดังกล่าวจะเป็นการทรุดตัวลงอย่างเป็นระบบที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรน้ำบาดาลเป็นจำนวนมากในบริเวณตอนบนของอ่าวไทย ซึ่งประกอบด้วยจังหวัดสมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร และสมุทรปราการ ดังนั้นปากแม่น้ำท่าจีนก็ได้รับอิทธิพลดังกล่าวด้วย โดยในการศึกษาการทรุดตัวของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2554) ในเรื่องการเกิดแผ่นดินทรุดในจังหวัดสมุทรสาครพบว่าปี พ.ศ. 2540-2553 ค่าการทรุดตัวของพื้นที่จังหวัดสมุทรสาครจะมีค่าการทรุดตัวคือ อำเภอบ้านแพ้วค่าเฉลี่ยการทรุดตัวจะอยู่ที่ 39.0 มิลลิเมตรต่อปี อำเภอกระทุ่มแบนจะอยู่ที่ 38.2 มิลลิเมตรต่อปี และสุดท้ายคือพื้นที่อำเภอเมืองสมุทรสาครจะมีอัตราการทรุดตัวอยู่ที่ 42.1 มิลลิเมตรต่อปี ทั้งนี้ค่าที่ได้เป็นการคิดคำนวณทั้งพื้นที่โดยรวมซึ่งเป็นการประมาณการที่ใช้ดูแนวโน้ม ส่วนค่าที่แท้จริงจะแปรผันไปตามสภาพหมุดหลักฐานของแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะมีขนาดการทรุดตัวมากน้อยแตกต่างกัน โดยค่าการทรุดตัวดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการทรุดตัวในจังหวัดสมุทรสาครนั้นเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปีและมีปริมาณค่อนข้างมาก ดังนั้นในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนก็จะเกิดการทรุดตัวด้วย โดยที่ผ่านมากรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) ได้ทำการศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนโดยใช้การประมวลผลจากภาพถ่ายดาวเทียม Radarsat-1 และ ERS-1/2 เป็นข้อมูลหลักในการประมวลผลด้วยวิธี PSInSAR เนื่องจากทั้งดาวเทียม Radarsat-1 และ ERS-2 ใช้ช่วงคลื่น C-band เหมือนกัน จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ศึกษาการทรุดตัว ดังนั้นการทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน และบริเวณอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 78 จากภาพดังกล่าวทำให้ทราบว่าที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีการทรุดตัวอย่างมาก ซึ่งการทรุดตัวอยู่ที่ประมาณ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี

การวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้มีค่าเท่ากับ 19.2 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งค่าดังกล่าวได้รวมผลของการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำไปด้วย โดยค่าการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่ได้จากการศึกษาดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนจำเป็นจะต้องพิจารณาผลจากการปรับแก้การทรุดตัวของบริเวณปากแม่น้ำด้วย โดยการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงจะมีค่าเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



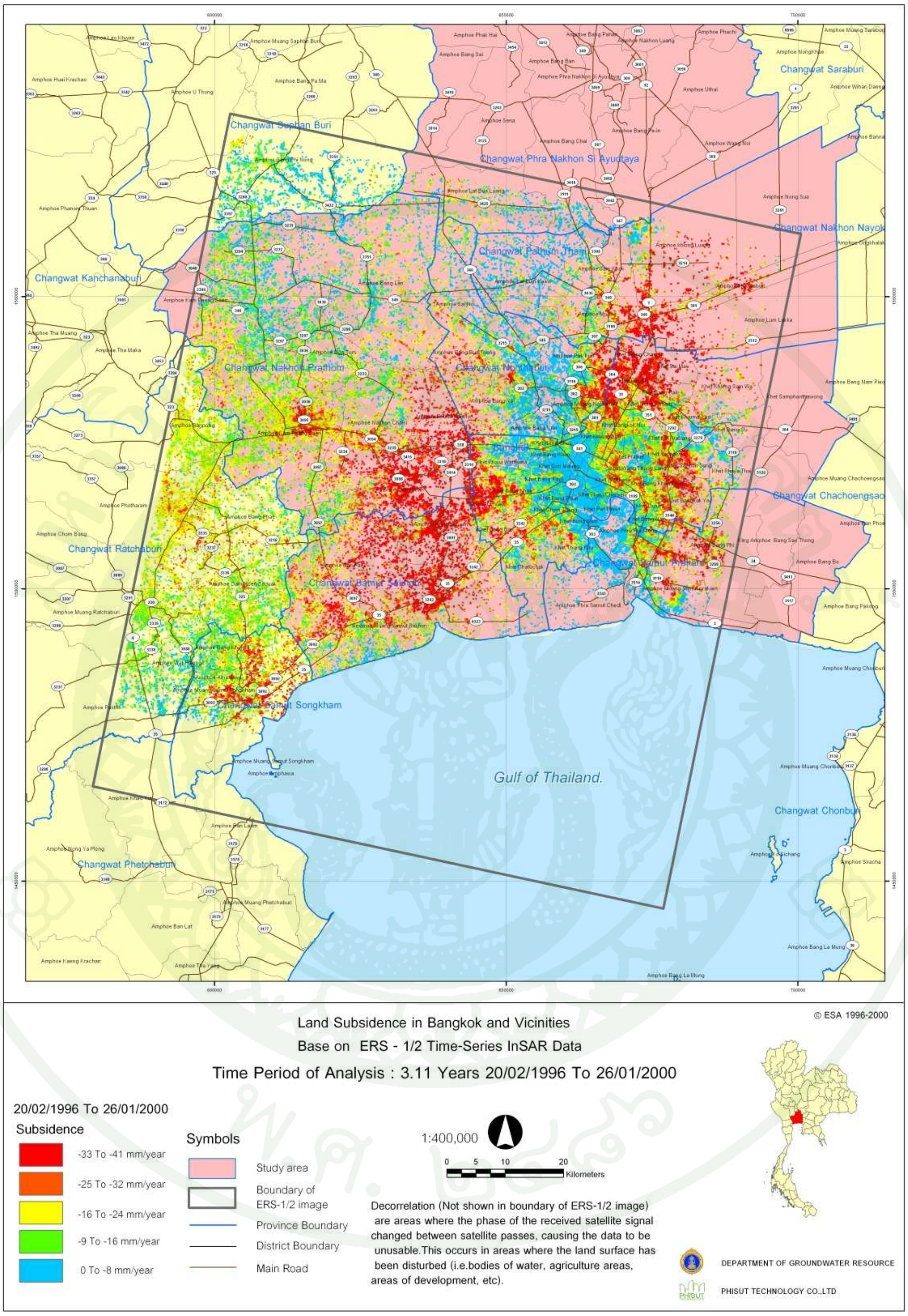
ภาพที่ 77 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สถานีต่างๆ

ที่มา: Itti *et al.* (2011)

5. การรุกล้ำของความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปากแม่น้ำจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลค่อนข้างสูงย่อมจะส่งผลต่อการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานหลายๆ ปี ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์หาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนเพื่อทำการพยากรณ์ถึงการรุกล้ำความเค็มในอนาคตและทำการเปรียบเทียบกับค่าความเค็มที่ได้ในปีปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2553) โดยในการวิเคราะห์จะพิจารณาขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำ ที่ได้จากการคำนวณวิเคราะห์จากข้อมูลทางสถิติเพราะผลที่ได้จากการคำนวณนี้จะให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง เนื่องจากมีการเก็บรวบรวมข้อมูลมาอย่างยาวนาน โดยจะพิจารณาให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 4.7 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้ ดังนั้นในการพยากรณ์จะประกอบไปด้วยการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2558 หรือในอีก 5 ปีข้างหน้า พยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2563 หรือในอีก 10 ปีข้างหน้า พยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2568 หรือในอีก 15 ปีข้างหน้า และพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2573 หรือในอีก 20 ปีข้างหน้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 78 อัตราการทรุดตัวของพื้นที่ศึกษาในช่วง กุมภาพันธ์ ค.ศ. 1996 – มกราคม ค.ศ. 2000

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555)

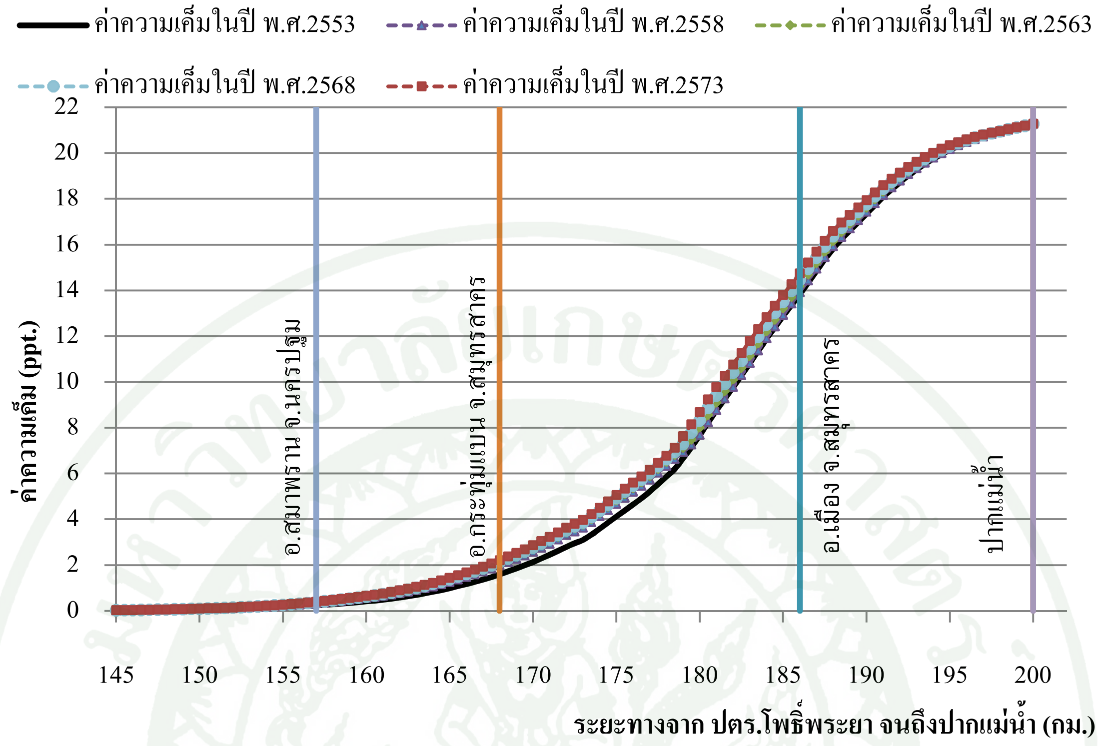
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการวิเคราะห์จะกำหนดค่าความเค็มเริ่มต้นที่ปากแม่น้ำเท่ากับ 21.4 ppt ซึ่งเป็นค่าความเค็มที่ได้จากการสำรวจที่ปากแม่น้ำของกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2553 โดยค่าความเค็มดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากการไหลลงของน้ำจืดจากแม่น้ำลงสู่ทะเลในปริมาณมากโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน จะทำให้ปริมาณความเค็มในบริเวณปากแม่น้ำลดลง ซึ่งค่าความเค็มสูงสุดของน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยมีค่าประมาณ 33 – 34 ppt ในช่วงฤดูแล้ง และค่าความเค็มต่ำที่สุดจะมีค่าเท่ากับ 16 – 17 ppt ในช่วงฤดูฝน หรือประมาณเดือนตุลาคม (Buranapratheprat *et al.*, 2008) และจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการศึกษาของ ฐิติมา และคณะ (2551) พบว่า ค่าความเค็มเฉลี่ยที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนจะมีความเค็ม ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15.7 ± 9.4 ppt โดยมีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 0.7-29.3 ppt เพราะเนื่องจากน้ำทะเลในบริเวณดังกล่าวได้รับอิทธิพลของน้ำจืด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน บริเวณปากแม่น้ำจะได้รับอิทธิพลของทั้งน้ำฝนและน้ำจืดที่ไหลมาจากแม่น้ำซึ่งเป็นลักษณะเด่นของระบบนิเวศบริเวณปากแม่น้ำที่มักจะมีความผันแปรค่าความเค็มค่อนข้างสูง

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเค็มพบว่าความเค็มที่เริ่มส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชจะอยู่ที่ 0.05 ppt (ภัทรา, 2541) ดังนั้นจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2553 ค่าความเค็มที่เริ่มส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชได้รุกล้ำเข้าไปถึง กม.150 บริเวณคลองทำนา เขต ต.บางช้าง อ.สามพราน จ.นครปฐม และในส่วนการวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคตนั้นจะพิจารณาการรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2558 ในปี พ.ศ. 2563 ในปี พ.ศ. 2568 และในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่าในปี 2558 ค่าความเค็มที่เริ่มส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชจะรุกขึ้นไปถึง กม.149 ในปี 2563 จะรุกขึ้นไปถึง กม.148 ในปี 2568 จะรุกขึ้นไปถึง กม.147 และในปี 2573 จะรุกขึ้นไปถึง กม.146.5 ดังแสดงในภาพที่ 79 ซึ่งจากการเปรียบเทียบกับการรุกล้ำความเค็มในปี 2553 พบว่าอัตราการรุกล้ำของความเค็มจะเข้าไปสูงสุดในปี 2573 ที่ระยะทาง 55.5 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ (กม. 146.5) หรือรุกเข้าไปมากกว่าในปัจจุบัน (ปี 2553) ประมาณ 3.5 กิโลเมตร โดยความเค็มดังกล่าวจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.05 ppt ซึ่งเป็นค่าความเค็มที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตพืช ซึ่งการรุกล้ำความเค็มดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม เพราะปริมาณน้ำในแม่น้ำท่าจีนมีปริมาณน้อย

ซึ่งในการวิเคราะห์จากแบบจำลองพบว่าในระดับค่าความเค็มที่ 0.05-0.30 ppt ในปี พ.ศ. 2573 จะอยู่ที่บริเวณ กม. 146.5-155.5 หรือตรงกับบ้านตลาดสามพราน อ.สามพราน จ.นครปฐม ซึ่งพื้นที่บริเวณนี้และบริเวณใกล้เคียงจะส่งกระทบต่อผลผลิตของเกษตรกร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



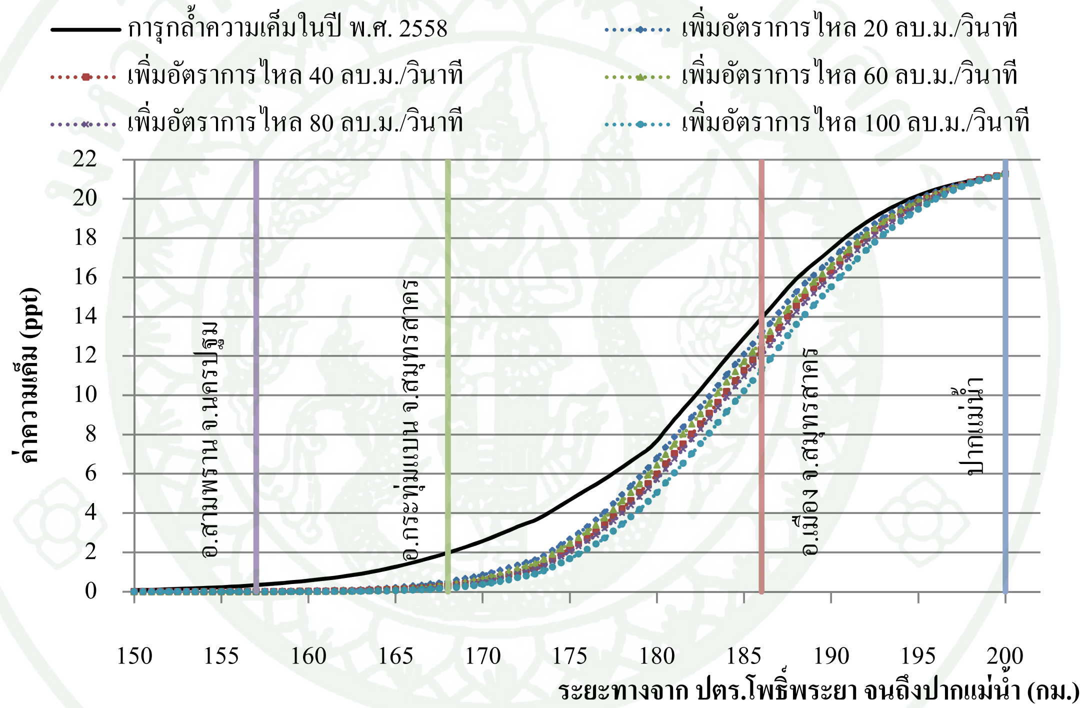
ภาพที่ 79 การเปรียบเทียบการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการพยากรณ์ในปีต่างๆ (มี.ค.)

6. การ**เพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำเพื่อช่วยลดปัญหาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน**

จากการศึกษาถึงการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลทำให้ทราบว่า ในแม่น้ำท่าจีนมีการรุกล้ำความเค็มเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคตข้างหน้า ดังนั้นในการแก้ปัญหาการรุกล้ำความเค็มดังกล่าวจะต้องทำการเพิ่มปริมาณการไหลในแม่น้ำเพื่อช่วยในการผลักดันค่าความเค็มในแม่น้ำให้ลดลง ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวจึงได้พิจารณาจำลองเพิ่มการปล่อยน้ำจากเขื่อนแม่กลอง (แม่น้ำแม่กลอง) ให้ไหลลงมาสมทบในแม่น้ำท่าจีน โดยการผันน้ำผ่านคลองจระเข้สามพันในตอนบน คลองท่าสาร-บางปลา ในตอนล่าง และจากประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา เพื่อให้มีปริมาณน้ำในแม่น้ำเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ช่วยในการผลักดันน้ำเค็มให้ลงสู่ปากแม่น้ำทำให้ความเค็มในแม่น้ำลดน้อยลง

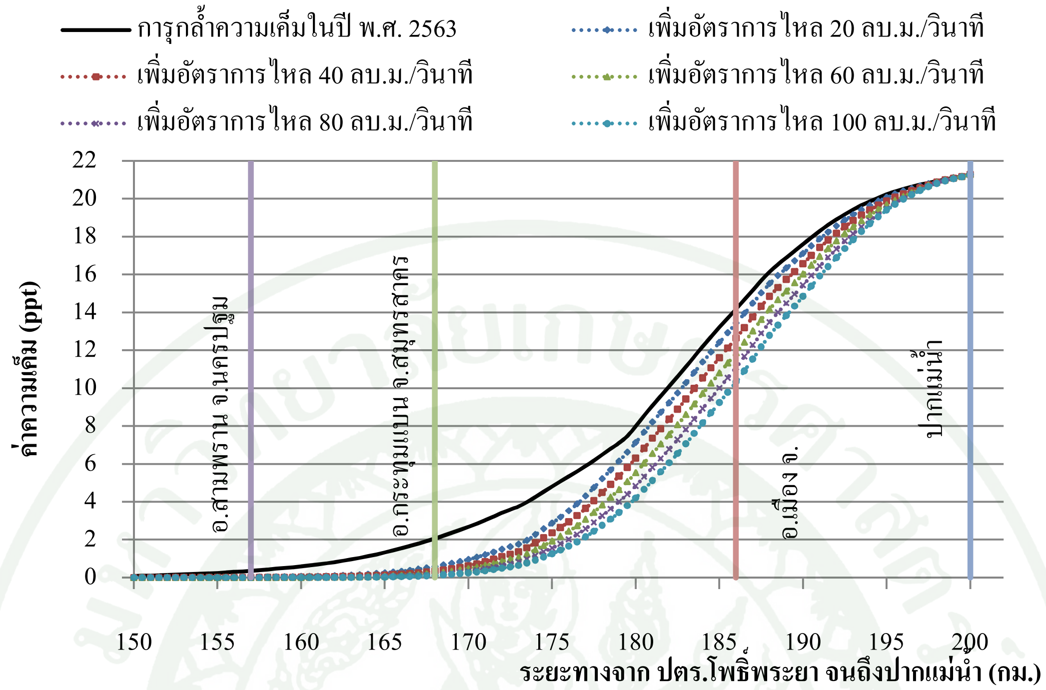
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการลดปัญหาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำได้ทำการจำลองสถานการณ์ในการเพิ่มปริมาณน้ำในแม่น้ำ โดยจะพิจารณาเริ่มให้มีการเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำเพิ่มขึ้น 20, 40, 60, 80, และ100 ลบ.ม./วินาที จากปริมาณน้ำที่มีอยู่เดิมในแม่น้ำตามลำดับ และจะพิจารณาวิเคราะห์ถึงการการเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2558 ปี พ.ศ. 2563 ปี พ.ศ. 2568 และปี พ.ศ. 2573 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการน้ำในแม่น้ำท่าจีนต่อไปในอนาคต การเพิ่มอัตราการไหลและวิเคราะห์จากแบบจำลองพบว่าค่าความเค็มจะค่อยๆ ถูกผลักดันให้ไหลไปทางปากแม่น้ำเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 80 – 83 ตามลำดับ

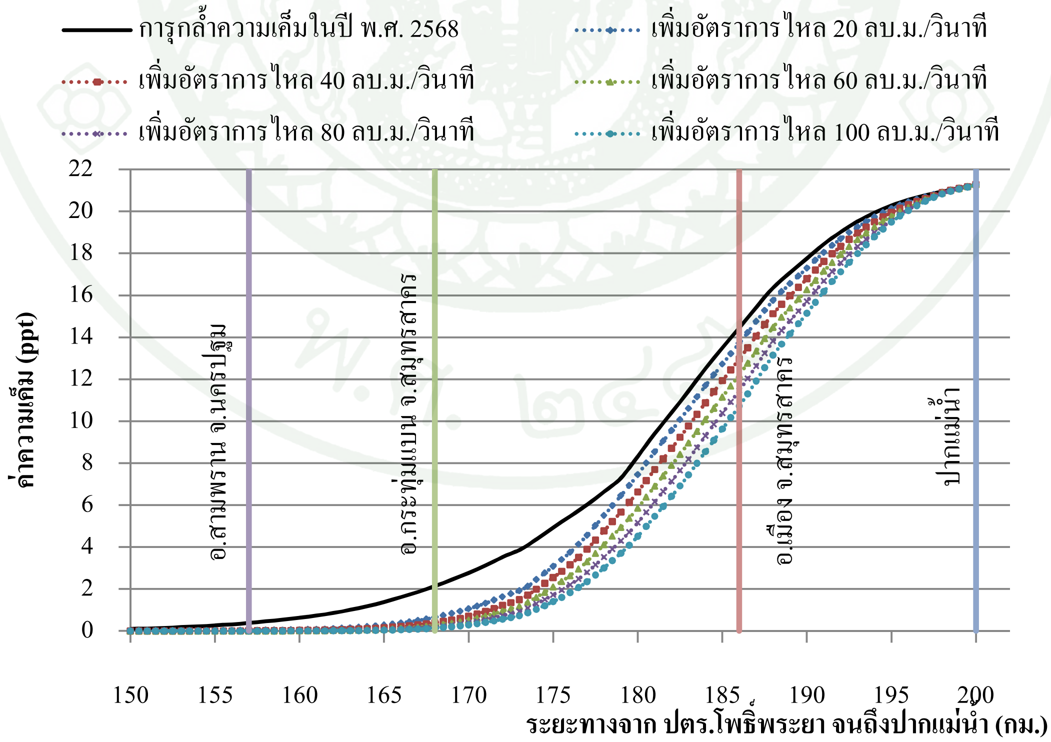


ภาพที่ 80 การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2558 (ช่วงเดือน มีนาคม)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

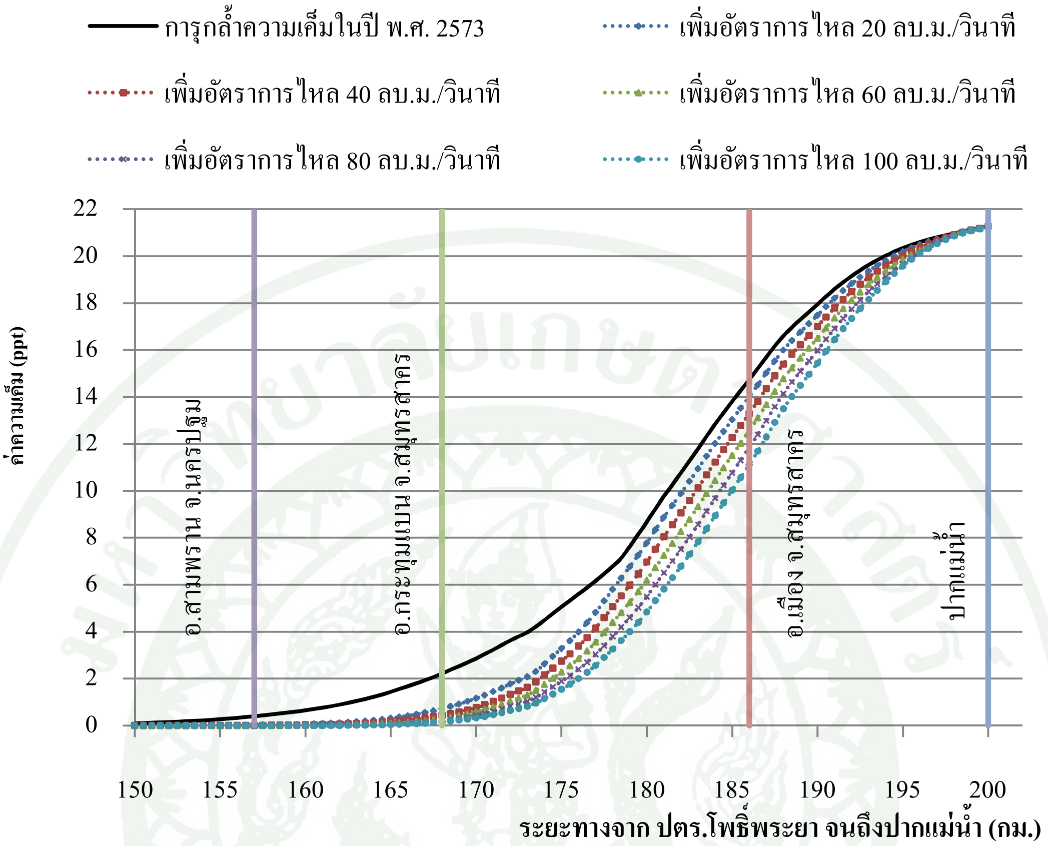


ภาพที่ 81 การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2563 (ช่วงเดือน มีนาคม)



ภาพที่ 82 การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2568 (ช่วงเดือน มีนาคม)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 83 การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2573 (ช่วงเดือน มีนาคม)

ในการพิจารณาค่าความเค็มที่อยู่ในช่วงของการเริ่มมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ค่าความเค็มจะอยู่ที่ 0.05 ppt จนถึงค่าความเค็ม 0.3 ppt จะพบว่าตำแหน่งค่าความเค็มดังกล่าวในแม่น้ำจะถูกผลักดันออกไปตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล โดยอัตราการไหลที่มีความอ่อนไหวในการไล่ความเค็มมากที่สุดจะอยู่ที่ 20 ลบ.ม./วินาที ซึ่งจะสามารถผลักดันความเค็มออกไปได้เป็นระยะทางที่ไกลสุด ดังแสดงในตารางที่ 10 และจากการที่เพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำจะสังเกตเห็นว่าในการเพิ่มอัตราการไหลในปริมาณมากๆ (40 ลบ.ม./วินาที ขึ้นไป) จะไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลักดันความเค็มมากนักเพราะเป็นผลมาจากพฤติกรรมการไหลในแม่น้ำที่มีระดับน้ำทะเลหนุนอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้น้ำในแม่น้ำไม่สามารถไหลลงทะเลได้อย่างสะดวก ดังนั้นในการเพิ่มอัตราการไหล 20 – 40 ลบ.ม./วินาที จะทำให้มีประสิทธิภาพในการผลักดันความเค็มสูงที่สุด

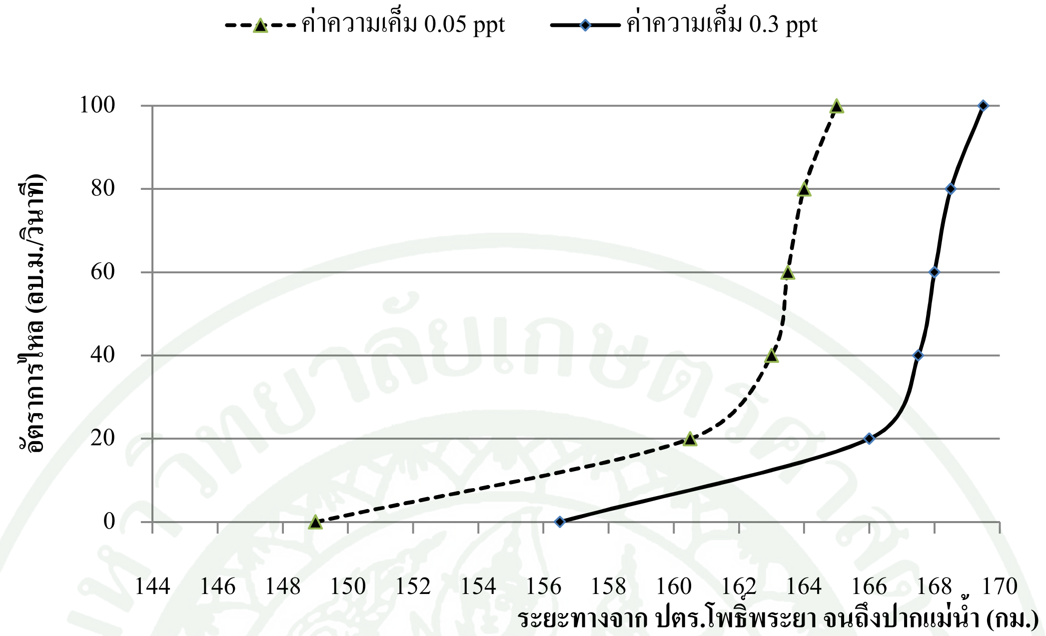
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 แสดงตำแหน่งของค่าความเค็มที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในการเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็ม

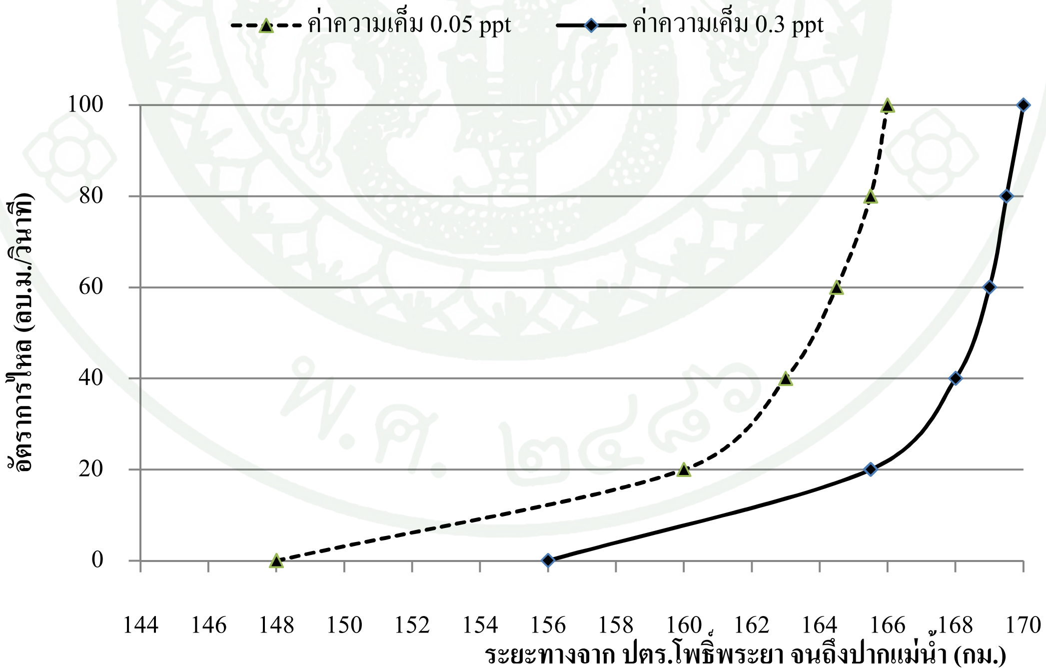
อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น (ลบ.ม./วินาที)	พ.ศ. 2558		พ.ศ. 2563		พ.ศ. 2568		พ.ศ. 2573	
	ระยะทางจาก ปตร.โพธิ์พระยา จนถึงปากแม่น้ำ (กม.)							
	0.05 ppt	0.3 ppt	0.05 ppt	0.3 ppt	0.05 ppt	0.3 ppt	0.05 ppt	0.3 ppt
0	149	156.5	148	156	147	156	146.5	155.5
20	160.5	166	160	165.5	159.5	165.5	159	164.5
40	163	167.5	163	168	162.5	167.5	161.5	166.5
60	163.5	168	164.5	169	164	168.5	163	168
80	164	168.5	165.5	169.5	165	169.5	164.5	169
100	165	169.5	166	170.5	166	170	165.5	169.5

ดังนั้น ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำที่มีค่าความเค็มส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจะพบว่าในปี พ.ศ. 2558 ค่าความเค็มที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจะอยู่ในช่วง กม.149 – 156. และเมื่อเพิ่มปริมาณการไหล 20, 40, 60, 80, และ100 ลบ.ม./วินาที จะสามารถผลักดันความเค็มไปอยู่ที่ กม. 160.5 – 166, กม. 163 – 167.5, กม. 163.5 – 168 ,กม.164 – 168.5, และ กม. 165-169.5 ตามลำดับ ในปี พ.ศ. 2563 ค่าความเค็มที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจะอยู่ในช่วง กม.148 – 156 156 และเมื่อเพิ่มปริมาณการไหล 20, 40, 60, 80, และ100 ลบ.ม./วินาที จะสามารถผลักดันความเค็มไปอยู่ที่ กม. 160 – 165.5, กม. 1623 – 168, กม. 164.5 – 169 ,กม.166.5 – 169.5, และ กม. 166-170.5 ตามลำดับ ในปี พ.ศ. 2568 ค่าความเค็มที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจะอยู่ในช่วง กม.147 – 156 และเมื่อเพิ่มปริมาณการไหล 20, 40, 60, 80, และ100 ลบ.ม./วินาที จะสามารถผลักดันความเค็มไปอยู่ที่ กม. 159.5 – 165.5, กม. 162.5 – 167.5, กม. 164 – 168.5 ,กม.165 – 169.5, และ กม. 166- 170 ตามลำดับ และในปี พ.ศ. 2573 ค่าความเค็มที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจะอยู่ในช่วง กม.146.5 – 155.5 และเมื่อเพิ่มปริมาณการไหล 20, 40, 60, 80, และ100 ลบ.ม./วินาที จะสามารถผลักดันความเค็มไปอยู่ที่ กม. 159 – 164.5, กม. 161.5 – 166.5, กม. 163 – 168 ,กม.164.5 – 169, และ กม. 165.5- 169.5 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 84 – 87 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

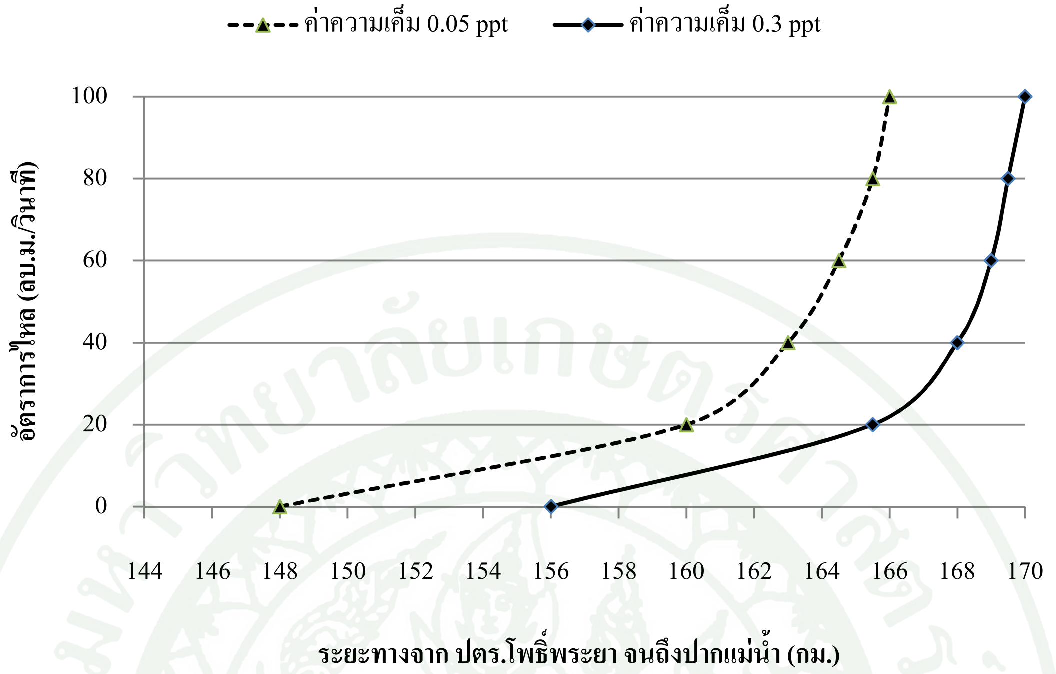


ภาพที่ 84 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2558

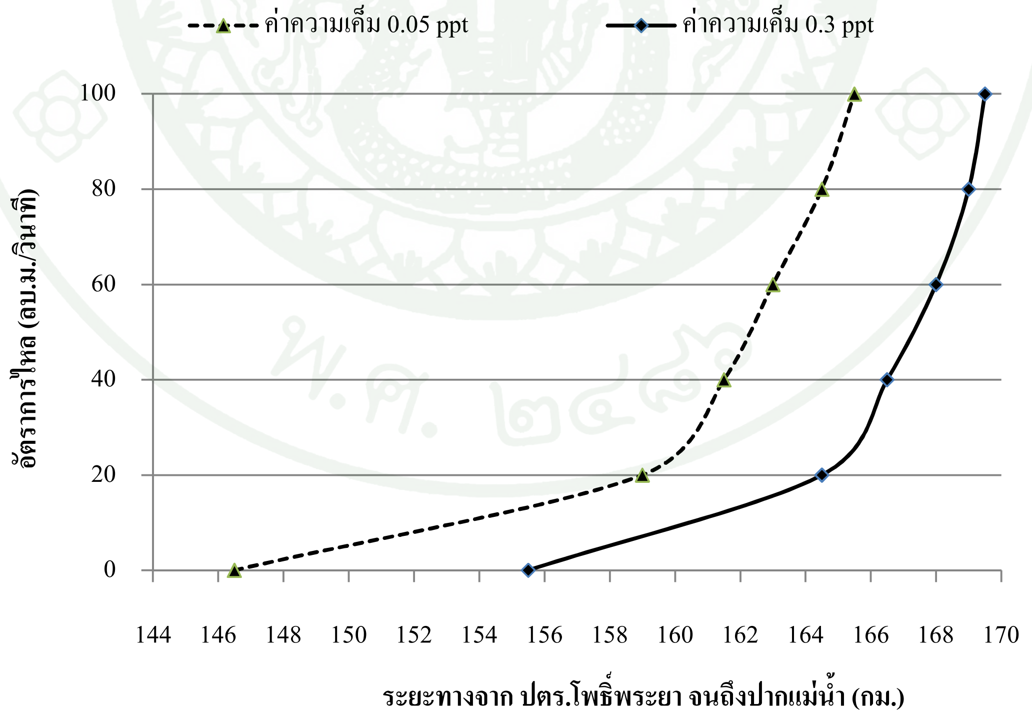


ภาพที่ 85 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



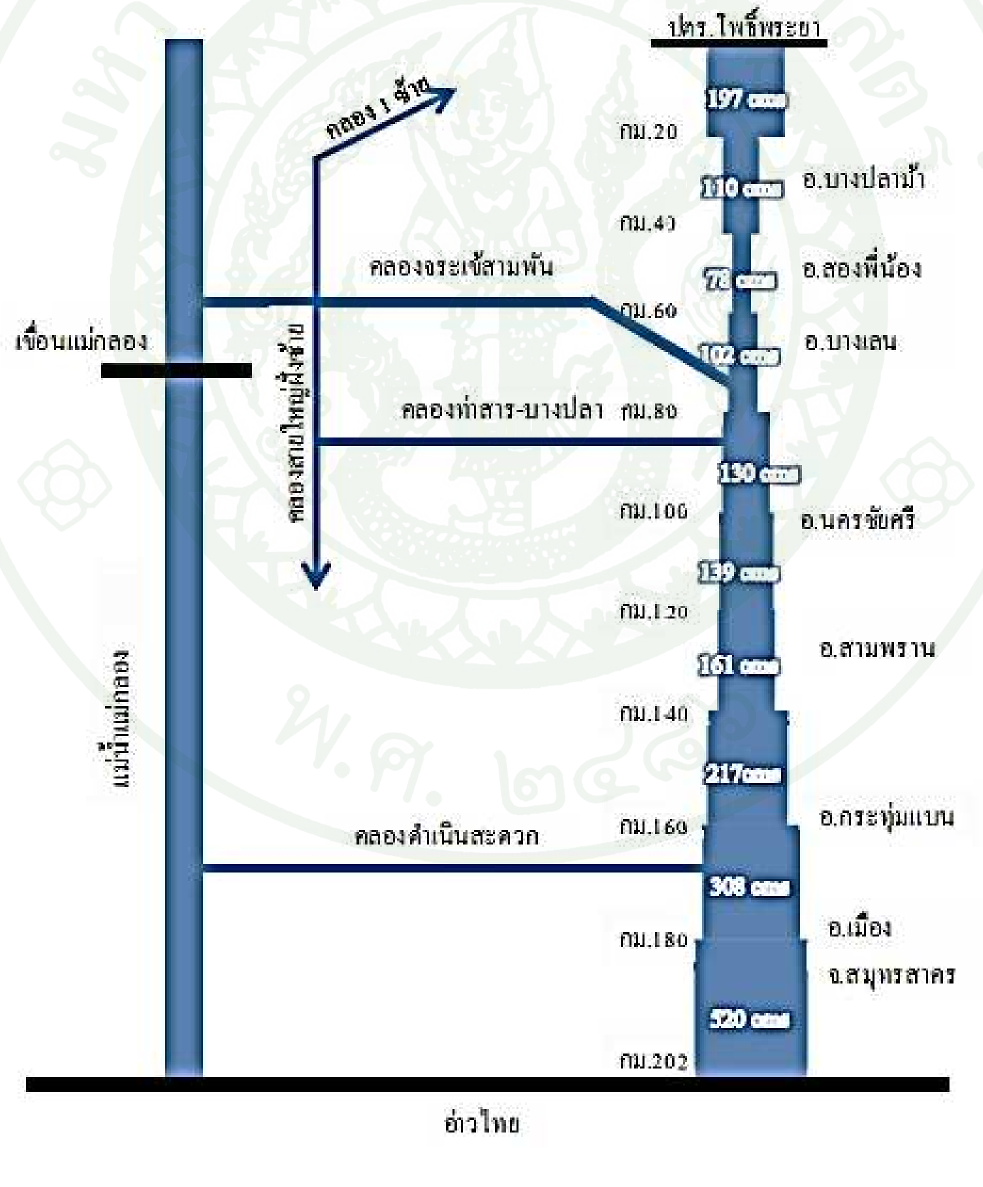
ภาพที่ 86 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2568



ภาพที่ 87 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2573

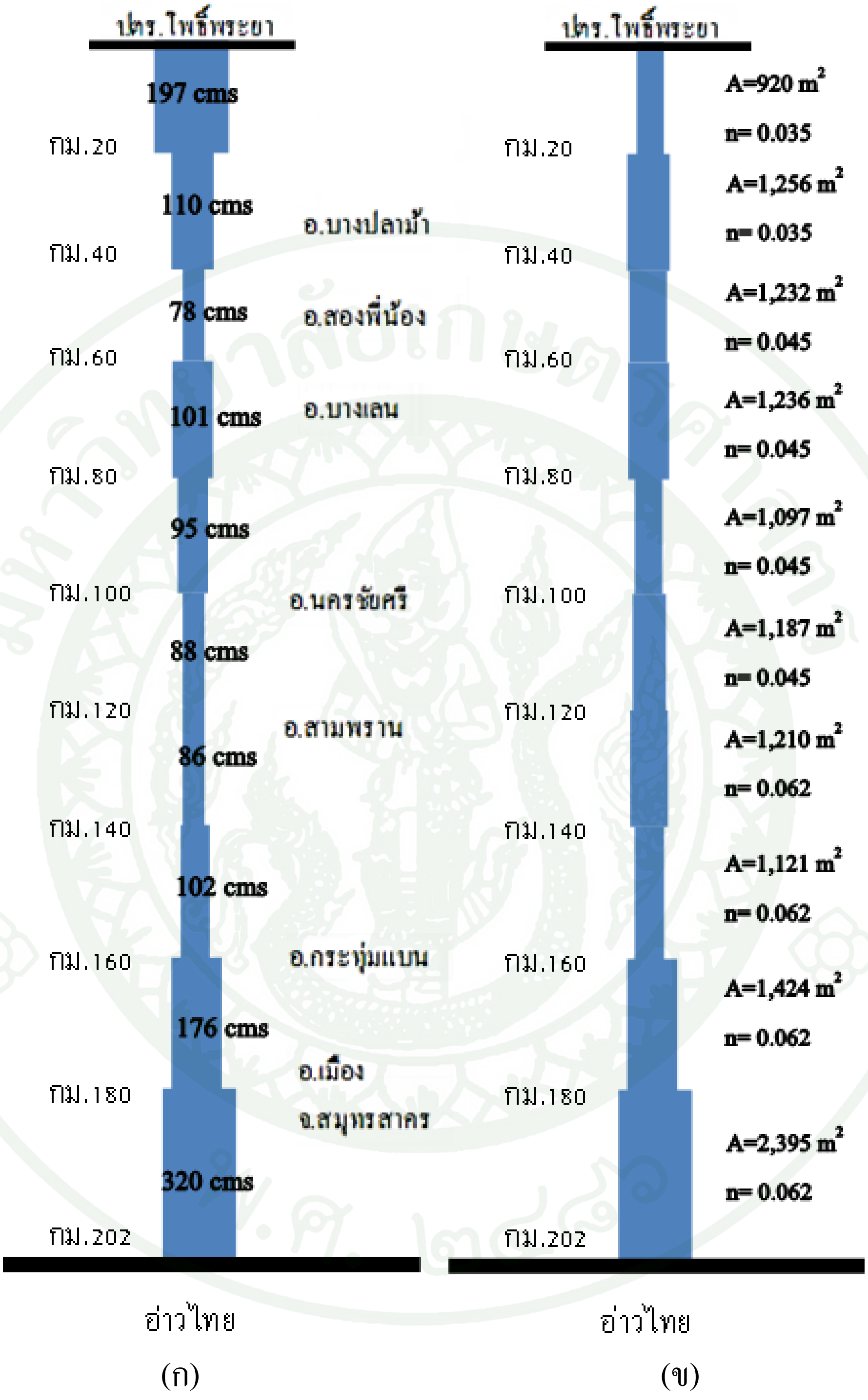
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำจะพบว่าการเพิ่มปริมาณการไหลสูงๆจะส่งผลช่วยในการผลักดันน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้งได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการไหลที่เพิ่มขึ้นในปริมาณมากอาจจะส่งผลให้ปริมาณน้ำเกินความจุของลำน้ำเดิมได้ ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งท่วมพื้นที่การเกษตรได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณ กม. 40 – กม. 60 (ในช่วง อ.บางปลาม้า และ อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี) มีความจุล้ำน้ำไม่เกิน 78 ลบ.ม./วินาที ดังแสดงในภาพที่ 88 ดังนั้นในการบริหารจัดการในการผลักดันความเค็มจึงควรพิจารณาขอความร่วมมือในการผันน้ำจากเขื่อนแม่กลองเป็นสำคัญเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในแม่น้ำท่าจีนให้ดีขึ้น



ภาพที่ 88 แผนภาพแสดงความจุลำน้ำในแม่น้ำท่าจีน (ในกรณีไม่พิจารณาผลของระดับน้ำทะเล)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 89 แผนภาพแม่น้ำท่าจีน ก) ความสามารถในการระบายน้ำตามอิทธิพลของระดับน้ำทะเล ข) ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์ผลการศึกษา

1. ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ (Manning'n) ในแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการศึกษานี้เป็นผลมาการปรับเทียบจากแบบจำลองเท่านั้นไม่ได้มีการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ จากการตรวจวัดจากลำน้ำจริง ซึ่งอาจจะส่งผลให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากสภาพของลำน้ำจริงอยู่บ้าง แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ก็สอดคล้องกับผลการศึกษาจากงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา

2. ในการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (D_f) ในแม่น้ำท่าจีนในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมาทำการปรับเทียบ ซึ่งมาจากการติดตามและตรวจสอบคุณภาพน้ำจากกรมควบคุมมลพิษ โดยจะทำการเก็บข้อมูลปีละ 4 ครั้ง ทำให้ข้อมูลที่รวบรวมได้นี้มีจำนวนไม่เพียงพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายดังกล่าวที่มีความละเอียดและถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้ก็ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาจากงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา

3. ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระท้องน้ำ (Chezy's number) ในอ่าวไทยตอนบนในการศึกษานี้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำอยู่มาก เพราะเนื่องจากปัจจัยหลายประการ เช่น ข้อมูลสภาพภูมิประเทศท้องทะเลที่ใช้ค่อนข้างเก่าทำให้สภาพต่างๆเปลี่ยนไปจากเดิม ขอบเขตด้านท้ายน้ำอยู่ไกลจากตำแหน่งที่ทำการปรับเทียบ และข้อมูลการไหลของแม่น้ำสายต่างๆที่ลงสู่ทะเลอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสถานีวัดปริมาณน้ำอยู่ไกลจากปากแม่น้ำมาก ซึ่งสาเหตุดังกล่าวส่งผลให้ค่าที่ได้จากการปรับเทียบมีความคลาดเคลื่อนเรื่องระดับน้ำบ้าง แต่อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระท้องน้ำ (Chezy's number) ที่ได้จากการศึกษานี้ยังอยู่ในช่วงของสภาพท้องน้ำพื้นที่จริง

4. ในการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนจากแบบจำลอง MIKE 21 HD (2D) จะพิจารณาขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นระดับน้ำทะเลรายชั่วโมงที่สถานีหัวหินและสัตหีบ แล้วทำการบวกเพิ่มเข้าไปด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำเท่ากันที่ 5.5 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งในการศึกษาดังกล่าวไม่ได้วิเคราะห์ถึงรูปแบบการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลที่เวลาต่างๆ กันในแต่ละสถานี เป็นผลให้ระดับน้ำทะเลที่ได้ตรงบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีรูปแบบที่เหมือนกันในทุกปีที่ทำการพยากรณ์ อีกทั้งข้อมูลของสถานีวัดระดับน้ำที่ใช้ในการศึกษามีน้อยมาก (1-2ปี)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องจากข้อจำกัดในการอนุเคราะห์ข้อมูลจากหน่วยงานทางทหาร จึงทำให้การวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลยังไม่ละเอียดมากนัก

5. การพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน ในการศึกษานี้ได้ใช้การปล่อยน้ำที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาที่ปี พ.ศ. 2553 เป็นขอบเขตเงื่อนไขด้านเหนือน้ำ และระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนในปีที่ทำการพยากรณ์ที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลอง MIKE 21 (2D) เป็นขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำ เพื่อทำการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในอนาคต ซึ่งในการพยากรณ์ไม่ได้ทำการวิเคราะห์การปล่อยน้ำในอนาคตที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยามาใช้สร้างแบบจำลอง จึงทำให้ปริมาณที่ใช้เป็นขอบเขตเงื่อนไขด้านเหนือน้ำคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงในปีที่ทำการพยากรณ์

6. การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อขับไล่ความเค็มจะเริ่มจากการวิเคราะห์การรุกล้ำความเค็มในลำน้ำ จากนั้นทำการจำลองการปล่อยน้ำตลอดทั้งปีตามอัตราการไหลที่กำหนด แล้วดูค่าความเค็มสูงสุดในลำน้ำว่าเคลื่อนที่ออกไปได้ไกลเท่าใด ซึ่งในการศึกษานี้ไม่ได้พิจารณาจำลองการปล่อยน้ำตามฤดูกาล ซึ่งในฤดูฝนหรือฤดูน้ำหลากอาจไม่จำเป็นต้องเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำ เพราะในแม่น้ำมีน้ำท่าอยู่แล้ว อาจจะพิจารณาปล่อยเฉพาะฤดูแล้งอย่างเดียวก็ได้ ซึ่งจะทำให้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบริหารจัดการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลการศึกษาการปรับเทียบแบบจำลอง

จากผลการศึกษาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาจนถึงปากแม่น้ำท่าจีน โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำที่กม.25, กม.82, และกม.116 ในปีพ.ศ. 2553 ในการปรับเทียบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (Manning'n) มีค่าเท่ากับ 0.035, 0.045, และ0.062 ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้จริงให้ค่าทางสถิติที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

และจากผลการวิเคราะห์เพื่อปรับเทียบหาค่าความขรุขระท้องน้ำ (Chezy's number) ในอ่าวไทยตอนบนโดยพิจารณาขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำด้วยระดับน้ำที่มีการกระจายเป็นเส้นตรงจากสถานีวัดระดับน้ำหัวหินไปจนถึงสถานีวัดระดับน้ำสัตหีบในปีพ.ศ.2553 พบว่าค่าความขรุขระท้องน้ำหรือ Chezy number (C) เท่ากับ 70 $m^{1/2}/s$ จะให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด และจากการเปรียบเทียบทางสถิติก็ยังพบว่า ค่าความขรุขระท้องน้ำเท่ากับ 70 $m^{1/2}/s$ จะให้ค่าทางสถิติที่ดีที่สุดด้วย

ในการปรับเทียบแบบจำลองการเคลื่อนย้ายและการแพร่กระจายจะพิจารณาทำการทดลองปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็มในแม่น้ำท่าจีน และในการปรับเทียบจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจที่สถานีตรวจสอบคุณภาพน้ำ TC04 ในปีพ.ศ.2553 ซึ่งมีระยะทางห่างจากปากแม่น้ำ 16 กิโลเมตร(กม.186) มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความเค็มจากแบบจำลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D_f) เท่ากับ 400 ตารางเมตรต่อวินาที ของค่าความเค็มท้ายน้ำ 21.4 ppt. จะให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจ

2. ผลการศึกษาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีน

ในการศึกษาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนเพื่อใช้ในการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มพบว่าในการวิเคราะห์จากข้อมูลทางสถิติที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาอย่างยาวนานจะสามารถวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนได้เฉลี่ยปีละ 19.2 มิลลิเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อปี และจากการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณอื่นๆพบว่า ที่ปากแม่น้ำแม่กลองจะมีระดับน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 14.6 มิลลิเมตร/ปี ปากแม่น้ำบางปะกงมีระดับน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 5.7 มิลลิเมตร/ปี และที่บริเวณสถานีวัดระดับน้ำแหลมงอบมีระดับน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.1 มิลลิเมตร/ปี โดยการเพิ่มของระดับน้ำดังกล่าวจะสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่พื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก

จากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการคำนวณทางข้อมูลสถิติจะเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นที่ได้รวมผลของการทรุดตัวของแผ่นดิน หรือการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำไว้ด้วย ดังนั้นการที่จะหาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงจำเป็นต้องทำการปรับแก้การทรุดตัวดังกล่าวด้วย ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าการทรุดตัวที่ปากแม่น้ำท่าจีนจะมีค่าเท่ากับ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี ดังนั้นทำให้ทราบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงที่ปากแม่น้ำท่าจีนมีค่าเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี

และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลองพบว่าระดับน้ำที่ใช้ในการพยากรณ์ในปี พ.ศ. 2558, ปี พ.ศ. 2563, ปี พ.ศ. 2568 และปี พ.ศ. 2573 จะเพิ่มขึ้น 1.23 เซนติเมตรเมตร, 3.99 เซนติเมตรเมตร, 6.76 เซนติเมตรเมตร และ 9.53 เซนติเมตรเมตร ตามลำดับ โดยการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ปากแม่น้ำดังกล่าวสามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ได้ประมาณ 4.6 มิลลิเมตร/ปี แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลองนี้ยังสอดคล้องและอยู่ในช่วงของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนที่ได้จากการศึกษาของนักวิจัยต่างๆ ไว้ก่อนหน้านี้

3. การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

ปริมาณความเค็มที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชจะถูกรุกล้ำเข้าไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นในอนาคตข้างหน้า ซึ่งความเค็มดังกล่าวจะมีค่าอยู่ที่ 0.05 ppt โดยในการวิเคราะห์พบว่าค่าความเค็มดังกล่าวนี้ในปี พ.ศ. 2553 จะอยู่บริเวณ กม.150 บริเวณคลองทำนา เขต ต.บางช้าง อ.สามพราน จ.นครปฐม และในการพยากรณ์ในอนาคตข้างหน้าพบว่าในปี พ.ศ. 2558 ค่าความเค็มนี้จะอยู่บริเวณ กม.149 ในปี พ.ศ. 2563 ค่าความเค็มนี้จะอยู่บริเวณ กม.148 ในปี พ.ศ. 2568 ค่าความเค็มนี้จะอยู่บริเวณ กม.147 และในปี พ.ศ. 2573 ค่าความเค็มนี้จะอยู่บริเวณ กม.146.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับการรุกล้ำความเค็มในปี 2553 พบว่าอัตราการรุกล้ำของความเค็มจะเข้าไปสูงสุดในปี 2573 ที่ระยะทาง 55.5 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ (กม. 146.5) หรือรุกเข้าไปมากกว่าในปัจจุบัน (ปี 2553) ประมาณ 3.5 กิโลเมตร

4. การลดปัญหาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

ในการลดปัญหาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนนี้จะพิจารณาการเพิ่มปริมาณการไหลในแม่น้ำเพื่อช่วยในการผลักดันน้ำเค็มให้ออกจากลำน้ำ โดยในการศึกษาได้จำลองเพิ่มการปล่อยน้ำจากเขื่อนแม่กลอง (แม่น้ำแม่กลอง) ให้ไหลลงมาสมทบในแม่น้ำท่าจีน โดยการผันน้ำผ่านคลองจระเข้สามพันในตอนบน คลองท่าสาร-บางปลา ในตอนล่าง และจากประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา เพื่อให้มีปริมาณน้ำในแม่น้ำเพิ่มมากขึ้น โดยเริ่มเพิ่มขึ้น 20, 40, 60, 80, และ100 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ พบว่า ในปี พ.ศ. 2558 เมื่อเพิ่มอัตราการไหล 20 ลบ.ม./วินาที ปริมาณความเค็มที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชจะเคลื่อนที่ออกไปจากเดิมเป็นระยะ 11.5 กิโลเมตร (กม.149-กม.160.5) และเมื่อเพิ่มอัตราการไหล 40 ลบ.ม./วินาที ปริมาณความเค็มจะเคลื่อนที่ออกไปจากเดิมเป็นระยะ 2.5 กิโลเมตร (กม.160.5-กม.163) เมื่อเพิ่มอัตราการไหล 60 ลบ.ม./วินาที ปริมาณความเค็มจะเคลื่อนที่ออกไปจากเดิมเป็นระยะ 0.5 กิโลเมตร (กม.163-กม.163.5) เมื่อเพิ่มอัตราการไหล 80 ลบ.ม./วินาที ปริมาณความเค็มจะเคลื่อนที่ออกไปจากเดิมเป็นระยะ 0.5 กิโลเมตร (กม.163.5-กม.164) และเมื่อเพิ่มอัตราการไหล 100 ลบ.ม./วินาที ปริมาณความเค็มจะเคลื่อนที่ออกไปจากเดิมเป็นระยะ 1.0 กิโลเมตร (กม.164-กม.165) และในปี พ.ศ. 2563 เมื่อเพิ่มปริมาณการไหลตามขนาดข้างต้นพบว่าค่าความเค็มจะเคลื่อนที่ไกลออกไปจากเดิมเป็นระยะทาง 12 กิโลเมตร (กม.148-กม.160) 3 กิโลเมตร (กม.160-กม.163) 1.5 กิโลเมตร (กม.163-กม.164.5) 1.0 กิโลเมตร (กม.164.5-165.5) และ 0.5 กิโลเมตร (กม.165.5-166) ตามลำดับ ในปี พ.ศ. 2568 เมื่อเพิ่มปริมาณการไหลตามขนาดข้างต้นพบว่าค่าความเค็มจะเคลื่อนที่ไกลออกไปจากเดิมเป็นระยะทาง 12.5 กิโลเมตร (กม.147-กม.159.5) 3 กิโลเมตร (กม.159.5-กม.162.5) 1.5 กิโลเมตร (กม.162.5-กม.164) 1.0 กิโลเมตร (กม.164-165) และ 1.0 กิโลเมตร (กม.165-166) ตามลำดับ และในปี พ.ศ. 2573 เมื่อเพิ่มปริมาณการไหลตามขนาดข้างต้นพบว่าค่าความเค็มจะเคลื่อนที่ไกลออกไปจากเดิมเป็นระยะทาง 12.5 กิโลเมตร (กม.146.5-กม.159) 2.5 กิโลเมตร (กม.159-กม.161.5) 1.5 กิโลเมตร (กม.161.5-กม.163) 1.5 กิโลเมตร (กม.163-164.5) และ 1.0 กิโลเมตร (กม.164.5-165.5) ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการไหลจะส่งผลให้ค่าความเค็มในแม่น้ำเคลื่อนที่ออกไปไกลขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณการไหลมากๆจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลักดันความเค็มไม่ได้สูงมากนักเมื่อเทียบกับการเพิ่มปริมาณการไหลที่ต่ำๆ ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาจากน้ำทะเลหนุนที่บริเวณท้ายน้ำส่งผลให้น้ำในแม่น้ำไหลออกไม่สะดวก และอีกประการหนึ่งการเพิ่มการเพิ่มปริมาณการไหลในปริมาณมากๆ อาจจะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรริมฝั่งแม่น้ำได้เนื่องจากทำให้เกิดน้ำล้นตลิ่งเพราะความจุลำน้ำบางช่วงของแม่น้ำมีปริมาณน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงบริเวณ อ.บางปลาม้า ถึง อ.สองพี่น้อง (กม.40-กม.60) ดังนั้นในการบริหารจัดการในการผลักดันความเค็มจึงควรพิจารณาขอความร่วมมือในการผันน้ำจากเขื่อนแม่กลองเป็นสำคัญเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในแม่น้ำท่าจีน เพราะตำแหน่งคลองระบายน้ำจากเขื่อนแม่กลองสู่แม่น้ำท่าจีนจะอยู่ที่ช่วงของความจุลำน้ำในแม่น้ำมีปริมาณมากขึ้นซึ่งคลองดังกล่าวจะอยู่ในบริเวณ กม.60 – กม.90

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาสภาพอุทกพลศาสตร์และการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนเพื่อให้ได้ผลการศึกษามีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นจึงมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลของรูปตัดตามขวางลำน้ำ (cross section) ต้องมีการสำรวจปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันเพื่อให้ผลการจำลองมีความถูกต้องแม่นยำ และควรมีการตรวจสอบความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่ได้จากการปรับเทียบจากแบบจำลอง กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนามเพื่อให้ผลที่ได้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

2. ในการวิเคราะห์สภาพอุทกพลศาสตร์ในอ่าวไทยตอนบนควรจะมีการสำรวจและใช้ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ (Bathymetry) ที่มีความละเอียดและเป็นปัจจุบันเพื่อจะให้ผลการจำลองมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

3. ควรมีการตรวจสอบข้อมูลความเค็มในแม่น้ำให้มากขึ้นอาจจะเป็นรายชั่วโมง หรือรายวันเพื่อที่จะได้มีการตรวจสอบผลของความเค็มที่เกิดจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ในการบริหารจัดการน้ำควรมีการเพิ่มปริมาณการไหลในแม่น้ำนอกเหนือจากการเพิ่มเพื่อที่จะผลักดันน้ำเค็ม ก็ควรเพิ่มปริมาณน้ำเพื่อที่จะให้เกษตรกรได้มีน้ำไว้ใช้ในการเกษตรในช่วงฤดูแล้งด้วย และการเพิ่มปริมาณน้ำดังกล่าวยังช่วยในการไล่น้ำเสียส่วนอื่นๆออกไปจากแม่น้ำด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2541ก. **รายงานการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการประตูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน (ตอนล่าง) จังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดนครปฐม จังหวัดสมุทรสาคร**. รายงานด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับหลัก). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_______. 2541 ข. **การศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการประตูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน (ตอนล่าง) จังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดนครปฐม จังหวัดสมุทรสาคร: รายงานด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับหลัก)**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_______. 2551. **โครงการศึกษาวางระบบและติดตั้งระบบโทรมาตร เพื่อการพยากรณ์น้ำและเตือนภัยลุ่มน้ำมูล**. รายงานการรวบรวมข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา และอาคารทางชลศาสตร์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2555. **โครงการสำรวจ และศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดินอย่างเป็นระบบในเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2531. **โครงการศึกษาและวิจัยคุณภาพน้ำในแม่น้ำสายหลัก รายงานการสำรวจในแม่น้ำท่าจีน พ.ศ. 2527-2530**. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2535. **รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย พ.ศ. 2530-2534**. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

กีรติ ลีวัจนกุล. 2531. **การแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คงวัฒน์ นีลศรี. 2551. **สภาวะโลกร้อนกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในน่านน้ำไทย.** การประชุมวิชาการประเพณีกองทัพเรือ-มหิดล-ธรรมศาสตร์-เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 12.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นพมาศ นิพนธ์กิจ. 2547. **การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อคุณภาพน้ำบริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนกลางและตอนล่าง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นาฝีซ๊ะ เก็มเด็ม, ธิดารัตน์ บุญศรี, มารุต ราชมณี และชัยยุทธ ชินณะราศี. 2554. **การวิเคราะห์สภาพชลศาสตร์ในอ่าวไทยตอนบน.** การประชุมวิชาการแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 4.

บัญชา ขวัญยืน. 2554. **ศักยภาพลุ่มน้ำแม่กลองและกลยุทธ์ในการจัดการลุ่มน้ำ.** เอกสารประกอบการบรรยายโครงการพัฒนาศักยภาพองค์กรลุ่มน้ำและเครือข่ายบริหารในการจัดการน้ำ (คณะกรรมการลุ่มน้ำแม่กลอง), วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554.

พรทิพย์ ฐิติโศภณวณิช. 2540. **การศึกษาโปรแกรม MIKE21 และการใช้งานในการพยากรณ์การกระจายตัวของดัชนีคุณภาพน้ำทะเลสาบสงขลา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิสมัย เฉลยศักดิ์. 2544. **การผันแปรของชนิดและปริมาณแพลงก์ตอนตามฤดูกาลในแม่น้ำท่าจีน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ. 2541. **การปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภูวดล พรหมชา. 2544. **การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางประกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัตนสุดา ไชยเชษฐ์. 2553. **เอกสารประกอบการสอนวิชา หลักนิเวศวิทยาทางน้ำ**. สาขาวิชาการประมง, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ. 2552. **การจำลองแบบการไหลแบบ 2 มิติด้วยแบบจำลอง MIKE21 HDFM บริเวณพื้นที่ชายฝั่งท่าเรือเมืองดาร์วิน ประเทศออสเตรเลีย.** การประชุมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14.

วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ. และนุชนารถ ศรีวงศิตานนท . 2551. **การประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ RMA-10 ในการจำลองการไหลแบบ 2 มิติของแม่น้ำ Katherine ประเทศออสเตรเลีย**. การประชุมวิชาการงานเกษตรกำแพงแสนครั้งที่ 5 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, จังหวัดนครปฐม

ยุวเรศ เวชกามา. 2550**. การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาพร วรรณธนวิจารณ์ และธัญญรัตน์ ดำเกาะ. ม.ป.ป. **เอกสารประกอบการสอนวิชาชีววิทยาสภาวะแวดล้อม**. สาขาชีววิทยา โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์.

สมมาต ร์ เนียมนิล และอิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์. 2550. **แนวโน้มระดับน้ำในอ่าวไทย จากข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำ**. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12.

สุนัน ผาสุข. 2547. **การประยุกต์แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลเวียนของกระแสน้ำและการแพร่กระจายความเค็มและตะกอนแขวนลอยในระบบทะเลสาบสงขลา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์. 2548. **แนวโน้มระดับน้ำในน่านน้ำไทยจากข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำ และ Satellite Altimetry**. บทความวิชานำเสนอในที่ประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศ, 14-16 ธันวาคม2548.

อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์, เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, สมมาตร์ เนียมนิล, และอานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2551. **อัตราการเพิ่มระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทย.** การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย, วราวุธ วุฒิวณิชย์, สันติ ทองพำนัก, นิมิต เฉิดฉันท์พิพัฒน์, สมชาย ดอนเจดีย์, ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์, ไชยวัฒน์ เจริญจิระตระกูล, ณัฐพล เกิดสุข และ ปกรณ์ อึ้งชัยพงษ์. 2550. **การวินิจฉัยการจัดการน้ำในแม่น้ำท่าจีน.** รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์.

AIT. 1978**. Salinity intrusion in the Chao Phya and Mae Klong River. Bangkok.** Final report: The Water Resources Planning Sub-committee National Economic and Social Development Board Electricity Generating Authority of Thailand.

Alberto, B. 2012. Is there any support in the long term tide gauge data to the claim that parts of Sydney will be swamped by rising sea levels?. **Journal of Coastal Engineering**. 161-167.

Anny, C., L. Alix and L.William. 2008. Present-day sea level rise: A synthesis. **Geoscience**. 761-770.

Becker, M., B. Meyssignac, C. Letetrel, W. Llovel, A. Cazenave and T. Delcroix. 2011. Sea level variations at tropical Pacific islands since 1950. **Journal of Global and Planetary Change.** 85-98.

Buranapratheprat, A., T.Yanagi and S. Matsumura. 2008. Seasonal variation in water column conditions in the upper Gulf of Thailand. **Journal of Continental Shelf Research.** 2509-2522.

Danish Hydraulic Institute (DHI). 1995. **MIKE 11 Reference Manual.**

DHI Water Environment and Health. 2008**. MIKE21 & MIKE3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module,** Scientific Documentation. Denmark.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis- **Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by J**. T. Houghton *et al.*, Cambridge Univ. Press, New York.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. **Climate Change 2007: Climate change Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Working Group II Contribution to Intergovernmental fannel on Climate Change Fourth Assessment Report.

Itti Trisirisatayawong, Marc Neaije, Wim Simons, and Luciana Fenoglio-Marc. 2011. Sea level change in the Gulf of Thailand from GPS-corrected tide gauge data and multi-satellite altimetry**. Journal of Global and Planetary Change.** 137-151.

King, I.P. 1993. **RMA-10 A Finite Element Model for Three-Dimensional Density Stratified Flow.** Department of Civil and Environmental Engineering, University of California Davis, USA.

Luciana, F., B. Carla and T. Lavinia. 2011. Sea level variability and trends in the Ariatic Sea in 1993-2008 form tide gauge satellite altimetry. **Physics and Chemistry of the Earth.** 47-58.

Neelasri, C., V. Punpuk and R. Radok. 1998**. An Investigation of Mean Sea Level Change in the Gulf of Thailand.** Paper on SCOPE Workshop on Sea Level Rise, Bangkok..

Nicolas, C. *et al.* 2010. The impact of sea level rise and climate change on inshore wave climate: A case study for East Anglia (UK). **Journal of Coastal Engineering.** 973-984.

SEA START. 2010. **Preparation of Climate Change Scenarios for Climate Change Impact Assessment in Thailand**. 43-45.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Vongvisessomjai, S. 2006. Will Sea-Level Really Fall in the Gulf of Thailand. **Songklanakarin Journal of Science and Technology.** 28(2): 227-248.

Webster, I., I. Atkinson and L. Radke. 2010. **Coastal Indicators – Salinity, Australian Online Coastal Information.** Availiable source: http://www.ozcoasts.org.au/indicators/salinity.jsp, 11 September 2010.

Wenrui, H. 2009. Hydrodynamic modeling and ecohydrological analysis of river infloweffects on Apalachicola Bay, Florida, USA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science.** 526-534.

Williams, D., E. Wolanski and S. Spognol. 2006. **Chapter 26 Hydrodynamics of Darwin Harbour,** pp. 461-476. *In.* The Environment in Asia Pacific Harbours. Springer.

Wolanski, E. 2007. Estuarine Ecohydrology. **Elsevier Science**. 168.

Wolanski, E., A.D. Mckinnon, D. Williams and D.M. Alongi. 2006. **Chapter 27 An Estuarine Ecohydrlogy Model of Darwin Harbour, Australia,** pp. 477-488. *In.* The Environment in Asia Pacific Harbours. Springer.

_______, L. Chicharo., M, Alexandra, Chicharo., and P. Morias. 2006. An ecohydrology model of the Guadiana Estuary (South Portugal). **Estuarine Coastal and Shelf Science 2006.** 12.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

ระดับน้ำทะเลรายชั่วโมงที่สถานีวัดระดับน้ำสัตหีบ และหัวหิน

(ข้อมูลในตารางแสดงเป็นหน่วยเซนติเมตร การแปลงเป็นค่าเมตรที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง

(ม.รทก.) ต้องลบด้วยค่า 250)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 ระดับน้ำทะเลรายชั่วโมงที่สถานีวัดระดับน้ำสัตหีบในปี พ.ศ.2553

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1/1/2553	160	191	224	270	311	347	370	380	384	378	371	364	358	352	346	332	316	287	255	220	181	154	136	134
2/1/2553	144	173	209	249	292	332	365	384	393	394	388	380	376	368	355	344	328	308	279	245	206	169	140	120
3/1/2553	117	132	159	194	235	276	315	343	360	367	365	358	350	346	334	330	321	308	290	265	233	196	161	138
4/1/2553	126	131	152	186	223	268	305	340	362	369	368	360	352	342	341	337	332	329	321	304	280	251	215	188
5/1/2553	165	160	168	191	225	263	295	328	354	362	358	337	325	310	303	302	303	305	304	300	286	266	238	210
6/1/2553	190	181	183	202	230	264	295	328	354	362	359	343	322	301	282	275	270	273	278	278	274	263	252	231
7/1/2553	212	200	197	206	226	250	280	306	325	336	336	320	300	276	257	245	238	239	242	249	254	258	257	249
8/1/2553	241	234	233	242	257	278	301	322	337	343	344	326	300	270	245	219	204	199	201	210	220	230	238	248
9/1/2553	256	258	262	270	279	290	306	318	328	330	322	311	292	266	238	214	196	185	182	187	197	213	230	247
10/1/2553	262	277	286	296	304	312	321	326	331	330	325	312	293	270	244	218	196	180	169	165	170	180	197	217
11/1/2553	240	262	282	298	312	322	328	332	332	330	324	313	297	278	260	236	208	184	164	152	150	156	171	194
12/1/2553	221	249	278	302	323	336	343	346	342	339	333	325	313	296	280	258	232	208	182	162	152	149	156	177
13/1/2553	204	237	272	305	333	356	368	373	374	369	364	354	344	333	320	304	282	260	231	208	190	178	177	188
14/1/2553	211	240	272	305	338	361	375	382	382	376	367	360	348	340	332	320	300	280	252	224	196	179	167	165
15/1/2553	178	202	232	263	296	322	344	356	360	356	356	348	342	336	328	316	300	280	252	220	191	164	146	140
16/1/2553	145	164	194	225	261	292	317	335	343	344	340	336	332	329	323	316	304	288	264	237	206	179	156	144
17/1/2553	148	160	185	216	249	284	312	332	340	342	340	335	330	328	326	322	315	302	284	260	234	202	178	162
18/1/2553	159	168	190	218	252	282	310	332	342	342	336	333	325	322	320	317	315	308	297	274	250	222	193	173

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
19/1/2553	162	164	181	204	233	262	290	315	327	329	321	310	300	295	293	292	293	294	289	277	256	232	204	177
20/1/2553	164	161	173	193	222	251	276	300	316	319	309	297	285	273	269	271	272	275	278	272	259	240	218	197
21/1/2553	182	177	184	203	231	263	289	312	328	327	316	299	279	262	252	249	251	258	264	268	267	257	243	225
22/1/2553	209	203	207	223	245	275	300	323	338	337	325	308	283	261	243	236	236	241	251	259	263	266	262	252
23/1/2553	243	234	237	246	262	284	307	325	339	340	336	314	288	264	244	230	226	229	238	251	260	272	278	280
24/1/2553	279	279	281	292	301	317	332	347	352	347	328	308	279	251	228	212	200	198	206	217	228	240	255	264
25/1/2553	271	278	286	292	303	313	322	331	335	332	320	303	278	257	233	213	199	191	190	197	207	223	244	262
26/1/2553	279	294	312	324	335	343	350	351	350	345	330	316	295	274	242	212	196	180	171	172	179	193	215	240
27/1/2553	264	290	314	336	349	358	361	361	360	351	340	328	312	292	270	243	219	194	175	162	163	168	184	205
28/1/2553	236	269	298	328	352	365	372	372	367	356	341	332	312	296	276	253	226	196	172	149	136	129	134	152
29/1/2553	177	210	246	280	308	331	344	350	348	344	337	332	323	310	296	278	250	219	188	158	133	119	115	128
30/1/2553	155	191	230	274	312	344	368	376	375	369	361	352	344	336	328	316	300	277	252	219	186	161	146	144
31/1/2553	157	182	217	252	289	325	347	357	358	349	338	328	320	313	313	308	300	284	262	230	193	158	131	119
1/2/2553	120	135	162	199	233	271	300	320	324	321	312	302	294	296	296	299	298	293	281	256	228	192	159	137
2/2/2553	124	132	156	191	227	262	296	321	328	323	309	292	280	274	278	283	292	297	293	286	265	237	204	176
3/2/2553	163	161	178	206	240	270	300	324	330	320	298	272	249	233	232	236	250	264	275	280	275	262	239	216
4/2/2553	198	195	206	227	257	284	314	334	339	330	305	272	244	220	209	210	218	232	249	265	276	278	270	254
5/2/2553	240	232	234	243	262	284	304	320	326	320	296	267	232	200	184	176	180	194	213	232	252	264	270	264

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
6/2/2553	258	254	254	260	272	288	304	316	324	316	298	268	234	207	180	166	162	170	185	206	228	248	268	280
7/2/2553	286	288	292	297	304	312	321	328	327	320	306	282	254	222	200	181	170	169	176	188	204	223	244	261
8/2/2553	277	290	301	311	317	323	330	334	333	328	312	295	272	246	221	200	182	172	170	173	186	205	225	250
9/2/2553	272	295	314	328	338	344	344	341	336	328	314	300	280	262	240	218	198	180	168	162	164	176	189	208
10/2/2553	236	264	288	313	332	342	347	348	345	336	324	311	296	278	259	240	216	195	177	165	158	159	171	195
11/2/2553	217	250	276	305	324	340	346	343	337	330	320	307	298	285	272	256	240	216	193	175	160	149	152	164
12/2/2553	184	214	244	272	300	317	331	329	324	316	307	302	292	286	278	267	252	232	208	184	158	144	138	145
13/2/2553	165	192	226	260	293	320	336	338	331	321	309	298	292	290	288	284	276	264	244	222	196	172	160	160
14/2/2553	172	200	230	264	296	323	341	346	342	332	320	308	304	303	303	300	299	291	273	250	224	198	180	170
15/2/2553	176	192	216	247	276	300	320	325	319	308	292	280	272	270	272	276	276	272	261	243	216	190	164	151
16/2/2553	151	166	190	220	250	282	304	316	311	296	280	264	256	257	264	276	286	292	292	284	264	242	218	204
17/2/2553	200	210	231	260	289	316	337	346	340	324	304	287	276	272	277	288	301	311	314	307	292	271	248	230
18/2/2553	224	229	247	271	296	319	336	346	337	320	296	275	260	251	255	263	276	291	302	306	300	289	270	256
19/2/2553	248	249	269	285	307	324	330	333	330	317	291	265	252	241	240	248	260	276	288	299	303	295	280	268
20/2/2553	260	259	266	276	294	310	321	328	320	304	292	262	240	226	220	229	238	252	273	290	302	307	304	297
21/2/2553	295	293	297	304	316	329	338	340	333	317	286	258	232	213	202	202	208	224	245	265	281	294	299	298
22/2/2553	295	292	292	296	305	313	321	326	321	308	285	257	230	204	186	176	172	179	192	209	227	246	261	274
23/2/2553	284	290	298	306	314	320	325	327	322	311	292	267	240	212	192	176	168	165	173	188	205	228	248	270

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
24/2/2553	288	302	316	326	334	339	341	338	332	320	300	280	256	228	201	180	164	156	154	155	164	182	204	227
25/2/2553	253	275	295	313	327	332	334	331	326	316	304	284	265	240	220	200	177	160	145	140	142	154	173	199
26/2/2553	228	258	285	309	325	334	336	329	323	312	300	298	283	268	250	228	206	181	159	142	132	134	146	167
27/2/2553	192	224	257	291	313	326	334	332	324	316	308	304	300	292	284	274	256	232	204	178	156	144	146	153
28/2/2553	176	204	240	272	304	326	334	332	324	312	300	298	296	296	295	292	285	269	245	216	190	166	148	150
1/3/2553	164	187	218	252	287	314	328	328	316	304	288	276	271	276	280	287	291	283	266	244	208	180	156	148
2/3/2553	152	174	204	239	267	294	311	313	297	270	247	228	221	228	240	254	270	280	281	271	248	220	191	175
3/3/2553	171	183	204	234	263	286	305	308	294	269	238	214	200	200	212	232	253	277	289	296	285	265	241	221
4/3/2553	214	216	229	252	273	293	310	310	292	264	230	198	178	171	182	200	225	250	274	292	296	288	269	250
5/3/2553	236	231	236	250	269	285	296	299	288	264	232	195	168	154	152	168	191	220	252	275	296	302	297	284
6/3/2553	273	265	265	272	285	296	307	309	300	280	248	214	180	158	146	152	168	192	221	245	269	286	294	293
7/3/2553	286	282	282	286	292	303	309	310	302	284	256	223	192	164	151	146	157	174	199	228	254	278	295	304
8/3/2553	307	307	308	308	308	312	315	312	305	288	268	240	212	188	172	157	153	160	176	196	220	248	268	287
9/3/2553	300	308	314	318	319	318	318	315	312	298	280	260	236	212	194	176	164	162	166	177	196	218	244	265
10/3/2553	288	308	321	329	333	337	337	332	323	314	295	285	268	247	227	213	204	196	196	200	214	231	256	280
11/3/2553	307	328	345	358	368	369	368	355	345	336	328	320	312	290	280	269	256	244	228	225	229	235	243	263
12/3/2553	281	300	316	333	340	343	340	331	324	312	301	293	288	276	270	256	244	230	212	201	193	193	204	222
13/3/2553	261	300	316	333	340	343	340	331	324	312	301	293	288	276	270	256	244	230	212	201	193	195	204	222

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
14/3/2553	231	256	279	304	320	328	327	318	305	292	283	276	275	277	280	279	275	265	248	230	209	196	189	194
15/3/2553	210	231	256	281	301	314	314	306	290	273	260	254	254	260	267	273	280	277	264	245	224	205	193	190
16/3/2553	203	221	244	268	287	300	304	292	273	253	237	228	233	246	260	274	288	294	289	273	254	229	214	211
17/3/2553	216	233	253	276	299	310	318	307	289	262	243	229	228	238	254	274	291	302	309	303	286	265	249	242
18/3/2553	244	254	272	294	309	324	321	313	290	263	240	222	220	227	244	266	288	304	313	312	299	282	268	257
19/3/2553	257	265	275	290	304	313	314	299	275	244	217	198	198	202	216	240	264	289	310	320	316	305	288	277
20/3/2553	272	273	280	291	302	309	310	299	278	248	224	196	180	176	186	204	232	262	288	309	322	321	314	304
21/3/2553	296	292	293	296	304	312	309	296	278	251	204	172	149	140	145	164	190	220	253	278	300	311	312	304
22/3/2553	299	291	288	288	294	300	300	293	280	256	228	196	168	156	148	156	174	200	231	260	287	308	316	320
23/3/2553	319	316	316	316	316	316	314	309	294	276	247	216	187	160	150	144	150	168	192	220	252	277	298	311
24/3/2553	317	320	322	320	320	318	316	310	295	280	256	234	207	181	160	145	141	145	160	181	206	234	257	277
25/3/2553	294	307	312	314	315	314	312	308	297	288	272	249	228	203	180	165	152	150	154	166	187	212	240	266
26/3/2553	293	314	328	339	340	340	333	326	316	303	287	276	266	248	227	205	183	172	164	168	183	200	220	253
27/3/2553	280	307	332	343	344	342	336	328	317	305	299	292	287	279	268	254	236	220	200	190	185	190	205	231
28/3/2553	256	281	305	324	333	331	321	310	294	283	276	276	276	276	276	270	257	241	220	201	187	186	194	211
29/3/2553	236	261	286	309	320	320	314	299	280	266	260	257	265	273	284	292	291	283	268	250	235	228	225	234
30/3/2553	251	266	290	311	316	320	311	288	262	240	228	228	233	254	280	300	308	310	306	292	272	258	248	248
31/3/2553	256	274	290	304	316	316	301	276	248	220	199	194	198	214	245	272	298	314	321	313	297	279	265	256

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1/4/2553	257	267	280	293	304	309	297	278	246	213	187	171	172	186	216	246	279	308	332	342	338	323	309	297
2/4/2553	291	291	298	310	321	322	314	296	264	227	194	166	154	156	176	208	240	274	306	330	344	338	328	316
3/4/2553	307	303	305	310	318	320	319	305	280	246	212	182	160	158	166	188	220	254	289	319	343	350	343	341
4/4/2553	331	327	327	329	331	331	328	317	293	263	227	194	164	150	149	162	186	218	252	284	312	329	341	342
5/4/2553	338	333	323	322	318	315	307	300	282	258	232	200	175	155	150	152	166	191	220	252	280	307	323	329
6/4/2553	333	334	329	327	325	321	319	314	301	283	258	230	202	180	165	160	165	182	201	229	256	282	303	319
7/4/2553	330	332	330	325	325	320	315	308	298	286	260	237	216	193	177	167	165	172	188	208	232	256	280	301
8/4/2553	315	324	328	330	326	324	315	305	296	286	270	254	240	221	212	200	192	193	200	210	230	251	270	292
9/4/2553	307	320	323	323	316	310	300	291	278	270	261	250	241	230	220	212	200	194	190	196	204	218	236	253
10/4/2553	276	292	304	312	314	310	296	285	272	265	257	252	249	242	240	232	224	216	211	209	212	221	234	256
11/4/2553	276	292	308	314	312	300	280	266	251	240	236	235	239	243	248	249	245	238	228	219	215	218	228	243
12/4/2553	261	279	297	306	310	303	288	268	250	236	231	231	238	250	260	272	276	275	269	257	247	241	244	251
13/4/2553	263	280	294	300	300	293	272	245	223	202	196	200	212	228	251	267	282	288	284	272	258	244	238	238
14/4/2553	246	256	273	282	289	284	270	248	224	204	192	194	206	223	247	273	295	311	315	305	292	276	262	254
15/4/2553	260	269	276	282	288	287	270	253	224	194	176	172	180	200	225	254	280	300	314	316	303	289	274	264
16/4/2553	266	269	280	285	288	283	272	248	216	185	162	148	153	176	200	236	270	300	320	330	326	312	296	284
17/4/2553	282	284	287	292	298	296	283	260	228	196	164	148	146	160	184	212	244	280	310	330	334	324	316	306
18/4/2553	300	296	296	298	300	296	288	268	242	208	174	148	134	140	160	186	222	254	286	316	332	336	330	324

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
19/4/2553	320	314	312	312	312	308	300	280	252	220	184	156	134	128	137	158	188	221	260	291	315	332	336	332
20/4/2553	328	321	319	314	314	308	299	285	261	236	203	171	146	132	128	139	161	190	222	256	288	314	332	336
21/4/2553	336	333	330	327	323	321	312	301	288	262	235	206	176	152	143	142	151	170	199	230	260	292	315	330
22/4/2553	339	338	334	329	325	320	310	301	287	269	245	221	197	173	157	148	150	160	180	208	239	266	293	315
23/4/2553	326	328	332	324	319	309	304	295	286	273	260	244	223	203	184	170	160	163	175	192	218	245	270	292
24/4/2553	310	320	321	314	306	292	284	274	269	265	256	253	244	235	228	212	200	194	190	200	208	235	259	283
25/4/2553	305	321	332	329	312	300	282	266	261	257	260	262	268	268	269	264	256	248	242	240	249	263	281	298
26/4/2553	319	340	342	336	320	298	274	256	238	232	232	242	256	270	284	291	285	279	267	257	254	255	266	275
27/4/2553	288	296	305	300	290	265	235	206	180	168	164	182	204	228	250	276	288	296	294	286	273	263	262	264
28/4/2553	276	285	296	294	290	269	237	204	177	156	151	161	182	210	240	272	300	320	322	316	300	288	278	274
29/4/2553	276	282	290	294	288	272	252	220	182	155	136	136	152	178	214	251	284	320	336	340	331	318	304	296
30/4/2553	296	294	299	301	297	282	262	228	193	160	136	124	127	148	183	220	256	292	320	333	334	327	315	304
1/5/2553	296	293	293	298	296	287	272	248	208	175	140	120	114	124	150	182	220	264	296	320	338	338	330	320
2/5/2553	312	304	302	302	300	292	276	260	228	192	155	128	116	116	132	157	196	233	269	302	327	337	335	330
3/5/2553	320	313	308	307	306	304	292	280	252	221	185	155	131	120	128	145	175	208	246	280	312	333	339	336
4/5/2553	329	322	317	312	304	302	296	284	264	236	207	177	149	135	132	140	164	193	230	261	288	308	325	326
5/5/2553	322	317	312	307	302	295	290	279	264	245	219	198	170	152	144	144	161	184	208	238	268	292	306	314
6/5/2553	314	312	308	301	296	290	285	276	260	244	223	205	185	172	168	164	171	187	210	236	261	283	301	312

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
7/5/2553	315	315	304	296	287	279	272	264	259	250	236	224	212	199	189	184	184	196	208	224	244	269	289	304
8/5/2553	314	313	307	299	288	273	264	252	244	238	234	228	224	220	209	204	202	206	213	223	243	258	277	290
9/5/2553	300	301	294	281	268	252	239	225	220	218	220	222	228	228	232	233	230	228	229	234	239	248	260	276
10/5/2553	285	291	289	280	266	246	228	212	200	195	199	208	216	228	240	250	248	246	244	244	246	250	262	272
11/5/2553	280	286	286	282	264	242	218	194	180	172	184	196	214	236	257	273	282	284	276	268	263	264	265	268
12/5/2553	274	276	280	272	257	240	214	190	170	160	166	174	193	216	244	272	290	300	303	292	283	279	278	276
13/5/2553	284	284	288	284	268	250	220	195	166	156	150	164	190	212	244	276	304	320	322	320	310	300	293	288
14/5/2553	288	287	286	282	268	248	222	192	162	140	134	139	155	186	220	255	292	315	335	337	327	323	306	300
15/5/2553	293	291	290	284	276	263	237	203	174	145	126	118	126	149	178	216	256	292	318	330	328	324	312	300
16/5/2553	295	293	291	284	278	265	241	211	176	144	119	104	105	122	159	192	230	272	304	332	344	344	340	328
17/5/2553	320	312	308	307	300	288	268	240	208	170	141	121	116	121	140	170	207	244	278	310	333	343	341	336
18/5/2553	326	317	313	305	298	290	275	247	216	188	146	112	98	100	112	130	165	205	239	280	309	333	338	338
19/5/2553	336	326	317	317	304	297	292	275	247	224	184	155	126	112	117	126	151	187	222	264	294	320	334	336
20/5/2553	331	320	310	302	293	290	284	274	258	238	212	186	156	134	122	119	137	161	193	224	258	288	308	316
21/5/2553	319	313	303	295	285	281	276	273	263	249	230	208	184	164	156	152	161	175	201	235	262	289	310	321
22/5/2553	324	318	300	287	276	261	254	245	243	238	234	222	213	203	191	184	185	191	204	227	248	272	294	301
23/5/2553	311	302	285	264	243	223	212	204	203	198	206	208	208	211	208	204	201	204	216	228	250	270	280	288
24/5/2553	292	292	272	247	229	205	186	180	176	180	193	208	228	242	256	263	260	260	256	256	259	269	276	290

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
25/5/2553	298	292	284	268	245	214	190	170	166	165	172	192	212	240	260	276	288	288	288	288	288	288	288	290
26/5/2553	292	282	272	256	240	212	184	158	138	140	154	172	184	218	254	278	300	306	300	300	290	284	282	276
27/5/2553	279	288	280	269	251	228	196	168	136	126	120	122	150	184	218	251	286	310	320	322	315	308	301	297
28/5/2553	296	290	288	278	266	245	211	179	149	127	118	119	136	165	202	238	276	304	332	342	337	334	319	309
29/5/2553	298	298	290	284	273	252	224	193	158	136	114	111	120	140	170	212	253	289	323	345	352	345	339	325
30/5/2553	316	308	308	300	295	282	260	233	200	167	130	98	100	110	138	176	220	256	290	321	338	340	333	326
31/5/2553	316	302	296	292	284	270	256	230	199	164	134	110	103	105	121	151	190	233	269	300	320	328	326	325
1/6/2553	315	304	302	293	281	272	257	236	210	180	156	131	120	115	126	149	180	219	253	283	314	325	330	323
2/6/2553	315	302	296	290	282	277	268	257	239	209	184	158	135	121	128	144	168	198	230	265	296	316	322	317
3/6/2553	308	296	282	272	264	261	250	242	232	214	192	170	150	138	135	140	160	188	217	243	266	292	303	305
4/6/2553	296	286	271	262	255	245	240	235	226	222	202	186	166	160	154	158	174	198	226	252	278	297	309	308
5/6/2553	299	284	268	254	240	231	230	226	226	220	222	210	200	185	182	185	188	200	226	250	274	290	300	305
6/6/2553	305	290	272	254	242	232	226	226	230	226	226	225	221	223	218	214	222	234	248	272	296	308	310	324
7/6/2553	315	306	287	262	241	227	214	209	208	213	216	218	226	234	238	238	248	254	260	271	285	295	302	304
8/6/2553	302	299	276	256	237	218	200	188	186	190	200	212	226	240	254	261	268	276	281	285	293	294	298	300
9/6/2553	294	279	267	247	221	200	179	160	158	156	172	189	208	229	251	268	284	288	292	292	292	292	292	284
10/6/2553	281	273	264	243	221	189	168	148	137	132	141	160	190	219	249	282	300	316	320	322	319	308	301	294
11/6/2553	289	279	264	248	224	197	170	145	128	120	124	140	168	202	237	272	296	315	327	328	321	310	301	294

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
12/6/2553	289	285	268	254	234	207	176	147	120	106	99	108	128	162	200	232	268	294	314	318	314	310	300	293
13/6/2553	287	283	276	262	242	220	188	156	124	95	80	84	92	126	163	205	247	282	311	328	332	330	324	313
14/6/2553	302	299	290	281	270	240	218	181	147	114	91	80	81	100	131	166	205	245	285	311	327	325	320	309
15/6/2553	307	299	289	285	268	259	236	205	168	132	99	77	70	84	107	144	184	225	263	292	320	322	312	308
16/6/2553	295	286	280	278	278	264	252	229	204	167	132	99	86	79	92	118	156	196	233	272	304	321	331	324
17/6/2553	314	301	297	286	283	276	272	254	230	211	180	143	116	104	101	116	140	180	216	246	286	308	318	310
18/6/2553	296	276	263	246	242	242	242	242	235	222	202	177	153	134	130	130	144	176	206	234	260	288	300	301
19/6/2553	284	270	252	236	230	230	224	224	218	208	206	195	177	165	158	157	170	190	217	244	268	288	300	303
20/6/2553	291	273	250	228	212	203	203	202	204	206	213	217	210	206	205	201	212	220	236	250	270	288	301	301
21/6/2553	287	268	241	213	193	174	166	168	175	190	208	220	232	244	246	246	248	256	264	274	284	299	302	297
22/6/2553	282	260	234	209	177	153	138	135	141	150	170	189	212	229	248	256	264	268	272	276	284	284	285	280
23/6/2553	268	254	235	212	183	153	132	124	121	128	144	167	194	219	247	268	284	291	293	300	300	294	287	287
24/6/2553	278	266	250	228	196	167	136	114	99	99	103	121	152	182	228	257	284	304	308	305	305	298	291	284
25/6/2553	280	268	257	241	215	190	160	132	106	99	104	116	144	180	210	248	280	308	320	329	325	324	316	306
26/6/2553	300	294	280	265	244	218	188	152	123	100	93	100	120	152	188	227	265	296	318	331	329	322	311	301
27/6/2553	290	288	278	267	255	232	207	177	151	120	104	100	103	130	161	199	237	276	300	322	327	327	320	309
28/6/2553	299	293	285	276	265	244	221	200	165	132	112	101	100	116	144	180	216	254	292	317	332	332	327	316
29/6/2553	305	296	285	276	268	252	240	219	192	167	140	120	115	124	144	169	201	244	280	305	321	325	322	308

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
30/6/2553	301	290	284	283	281	274	269	250	226	204	175	153	137	135	150	169	204	248	278	312	331	342	338	326
1/7/2553	316	305	295	293	284	280	279	265	249	223	198	170	152	145	155	174	204	236	275	302	326	334	332	316
2/7/2553	304	289	277	275	273	264	264	259	248	232	213	187	166	152	160	173	200	228	260	287	312	320	321	306
3/7/2553	292	272	257	252	247	247	246	244	242	232	228	214	200	181	177	191	212	241	267	293	318	333	330	317
4/7/2553	299	281	264	246	240	240	246	251	252	256	247	240	228	218	216	220	236	255	278	304	318	330	331	325
5/7/2553	303	275	250	229	216	213	216	216	221	229	238	239	239	238	236	240	250	264	284	302	318	324	328	317
6/7/2553	298	276	248	229	212	203	200	207	218	231	244	260	260	262	268	276	281	293	296	308	315	320	313	302
7/7/2553	284	256	227	205	182	168	162	164	177	191	207	224	242	258	266	275	279	281	285	286	291	292	292	280
8/7/2553	270	247	220	195	172	146	132	129	135	147	167	187	216	240	260	278	292	297	301	301	302	302	299	291
9/7/2553	279	263	241	212	185	161	137	125	124	130	152	169	199	230	255	282	305	311	317	313	312	303	297	287
10/7/2553	279	263	248	226	204	173	152	130	110	108	111	128	154	175	209	245	275	298	314	317	316	310	305	299
11/7/2553	289	275	261	249	222	191	161	132	107	91	88	96	122	152	188	234	272	304	324	334	332	326	317	310
12/7/2553	301	295	283	268	246	220	196	164	128	104	90	86	100	128	168	210	252	284	318	332	334	332	324	310
13/7/2553	301	296	288	275	261	242	212	188	149	116	92	77	81	100	144	182	220	264	298	322	334	332	322	316
14/7/2553	306	298	296	295	290	280	264	238	204	166	137	117	108	120	144	178	220	259	295	324	336	334	330	316
15/7/2553	301	296	294	288	288	287	275	258	233	200	173	141	128	128	138	166	200	236	270	301	320	328	320	305
16/7/2553	290	273	260	260	262	270	267	264	251	232	202	172	158	148	153	180	212	244	278	304	324	336	322	301
17/7/2553	280	263	251	247	253	262	269	274	272	260	242	223	200	192	192	207	230	261	291	310	326	328	315	294

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
18/7/2553	264	238	209	203	200	213	226	234	247	254	248	243	232	220	218	232	244	262	288	308	320	324	310	290
19/7/2553	264	232	205	192	186	186	196	210	230	243	254	258	258	252	252	256	263	279	300	312	327	334	329	316
20/7/2553	288	255	222	188	172	164	164	174	192	212	232	250	270	280	288	291	295	300	308	312	318	314	308	294
21/7/2553	270	245	217	188	164	152	144	144	161	176	204	224	249	268	281	291	302	304	307	309	310	309	304	292
22/7/2553	274	253	228	199	175	152	135	132	135	146	167	199	225	254	286	306	321	327	332	331	326	324	315	306
23/7/2553	292	276	258	233	208	181	162	145	133	136	147	163	188	217	247	274	291	302	315	320	312	308	300	297
24/7/2553	287	268	251	232	208	182	157	136	122	114	112	127	150	181	208	248	276	298	316	323	324	314	302	296
25/7/2553	284	272	262	247	238	216	188	164	142	116	111	116	142	164	191	231	266	296	318	322	322	314	304	294
26/7/2553	292	281	268	254	245	224	207	176	151	132	124	124	136	152	180	207	236	264	284	296	300	296	286	281
27/7/2553	273	272	272	267	262	244	227	202	172	151	135	130	135	158	184	223	256	293	316	330	333	328	320	314
28/7/2553	302	296	294	294	290	284	269	248	220	192	165	148	144	158	179	206	236	265	293	310	315	308	295	280
29/7/2553	269	261	256	260	260	262	252	240	216	194	165	145	138	142	161	184	223	255	283	306	312	308	298	278
30/7/2553	263	257	251	252	264	269	268	265	250	228	204	180	170	168	176	203	228	260	282	302	314	304	287	264
31/7/2553	240	226	217	215	222	228	237	238	228	216	196	176	161	158	163	184	212	240	266	288	302	296	284	264
1/8/2553	244	220	210	211	212	220	232	238	240	242	230	217	202	196	198	208	228	252	274	294	308	303	292	271
2/8/2553	241	215	200	194	200	208	223	231	241	243	238	232	217	210	204	215	232	245	268	276	286	288	272	248
3/8/2553	224	205	182	176	173	179	192	204	218	228	237	237	235	234	240	244	256	267	282	296	304	298	288	266
4/8/2553	243	219	190	176	170	174	182	195	212	232	238	248	252	252	262	269	270	278	288	286	288	292	270	250

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
5/8/2553	230	202	172	150	132	134	139	152	176	192	209	226	240	250	258	264	268	264	268	279	286	285	272	260
6/8/2553	238	214	190	168	146	132	131	130	140	162	184	204	228	252	281	298	310	322	322	320	323	312	309	294
7/8/2553	274	254	228	200	174	152	146	130	129	148	162	182	210	236	264	289	302	316	317	316	309	296	289	268
8/8/2553	252	238	212	189	165	148	123	113	98	108	117	138	164	200	236	266	282	302	312	316	309	301	292	280
9/8/2553	277	263	245	232	209	185	164	140	123	114	116	134	162	198	234	268	298	320	336	338	330	323	316	304
10/8/2553	296	290	280	270	254	234	204	184	154	128	121	120	132	164	204	238	274	300	318	324	322	308	292	281
11/8/2553	274	268	268	272	262	250	233	208	177	147	127	115	125	153	182	220	254	293	312	328	330	314	298	281
12/8/2553	276	278	285	289	292	291	276	255	228	194	165	146	140	153	179	212	250	280	310	323	317	300	278	252
13/8/2553	238	232	240	252	262	270	278	264	250	222	188	160	150	154	172	204	238	266	294	310	308	290	264	232
14/8/2553	214	203	200	212	228	244	260	268	261	249	226	199	185	186	200	222	246	273	296	312	313	295	266	232
15/8/2553	200	181	176	180	198	217	240	256	267	270	256	242	227	222	226	240	258	280	300	310	310	296	268	232
16/8/2553	201	174	156	152	170	190	210	236	252	266	270	262	256	254	250	254	266	283	297	308	311	300	280	248
17/8/2553	212	181	160	149	150	161	183	205	229	250	268	277	278	282	284	288	292	301	308	313	316	304	286	258
18/8/2553	228	196	170	154	144	148	162	181	206	232	254	274	290	298	315	318	320	327	332	330	329	321	308	289
19/8/2553	260	228	205	184	162	160	160	172	188	206	233	262	280	300	316	324	327	334	341	338	336	329	318	306
20/8/2553	285	262	241	217	192	174	167	162	169	180	200	222	252	280	304	327	338	342	346	341	338	326	317	304
21/8/2553	290	273	258	234	210	188	169	148	146	142	155	174	196	224	254	280	302	314	317	319	311	306	298	289
22/8/2553	274	260	244	230	210	185	166	149	140	138	152	176	198	230	264	294	318	335	338	334	322	314	296	292

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
23/8/2553	284	279	264	249	238	218	193	174	158	149	149	162	185	214	236	268	296	316	325	320	309	300	286	277
24/8/2553	273	272	270	266	260	246	226	203	180	160	152	159	174	198	230	263	288	312	324	322	312	298	281	275
25/8/2553	267	268	272	277	278	274	268	240	214	192	180	174	180	197	228	999	999	999	999	999	999	999	999	999
26/8/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	220	196	180	168	176	188	214	246	272	298	319	320	308	289	264	247
27/8/2553	232	231	240	248	263	272	270	264	252	226	200	188	182	191	210	236	260	286	303	309	301	282	258	238
28/8/2553	224	222	226	242	252	265	274	274	263	243	216	201	193	196	214	237	260	278	299	300	296	272	246	220
29/8/2553	200	192	196	204	219	233	247	253	258	252	240	224	219	216	225	245	261	277	288	292	289	272	240	211
30/8/2553	188	180	181	196	213	232	252	269	278	276	267	252	241	237	243	253	268	284	290	300	296	280	256	224
31/8/2553	200	179	170	180	194	218	240	259	270	280	280	268	260	255	244	251	261	272	284	288	283	266	238	206
1/9/2553	183	157	146	146	160	179	202	228	244	260	268	274	272	268	271	276	286	292	301	301	295	283	260	228
2/9/2553	202	176	158	148	150	160	183	208	231	254	272	287	296	298	304	306	306	312	312	310	304	293	270	244
3/9/2553	215	192	165	148	144	146	154	168	188	208	232	254	268	287	298	304	312	316	312	300	298	280	267	246
4/9/2553	228	201	176	153	144	138	138	144	160	175	202	223	247	273	293	306	313	314	312	303	292	277	259	241
5/9/2553	221	200	180	168	144	129	124	125	134	142	164	192	222	252	278	300	313	319	315	312	306	297	290	276
6/9/2553	262	246	232	212	188	163	150	132	129	136	142	171	197	231	265	290	310	317	318	312	306	293	286	279
7/9/2553	272	257	250	232	218	195	166	142	126	120	128	143	170	201	239	265	288	312	312	304	293	280	276	267
8/9/2553	268	271	271	270	260	246	223	200	176	160	154	167	189	220	252	288	320	336	346	336	320	300	284	275
9/9/2553	275	281	284	292	291	285	268	242	213	187	172	170	180	204	233	256	280	300	310	293	272	255	229	218

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
10/9/2553	212	213	238	243	264	276	280	272	249	217	192	182	180	192	212	237	264	291	297	298	277	249	215	194
11/9/2553	183	190	207	228	253	276	295	296	285	263	240	219	216	223	240	260	283	300	313	307	288	256	219	185
12/9/2553	165	158	168	189	216	246	268	284	295	287	273	256	244	240	243	260	279	288	295	293	279	248	208	176
13/9/2553	145	133	140	155	182	216	244	273	293	299	296	283	272	264	268	275	282	296	301	301	292	270	237	197
14/9/2553	164	144	138	144	164	192	225	258	285	305	311	310	305	297	296	304	305	311	320	312	297	278	251	215
15/9/2553	176	156	140	140	150	168	196	228	254	277	295	302	306	302	299	298	300	304	301	299	290	273	249	220
16/9/2553	189	164	144	132	134	144	160	188	216	240	263	280	290	296	304	306	307	307	304	299	286	276	258	237
17/9/2553	213	186	163	152	144	144	155	172	192	217	243	265	286	299	313	318	323	322	319	312	300	291	275	256
18/9/2553	240	220	200	180	169	160	159	161	173	192	212	236	259	280	298	311	315	314	310	303	292	285	272	260
19/9/2553	248	237	222	208	193	181	168	160	168	177	195	218	245	267	287	303	312	312	302	296	282	272	263	253
20/9/2553	249	240	236	225	210	196	188	175	170	174	185	209	232	260	278	297	312	314	307	295	278	268	258	251
21/9/2553	250	250	249	247	240	228	208	194	180	175	177	189	209	232	261	279	290	296	287	274	264	239	230	226
22/9/2553	232	236	246	245	245	237	222	202	184	172	169	178	197	220	248	268	287	296	288	274	252	236	224	216
23/9/2553	221	235	246	257	268	269	260	244	228	211	200	204	215	232	256	278	292	301	299	277	252	226	211	202
24/9/2553	200	214	230	253	265	271	268	254	235	211	195	192	198	213	236	256	276	288	288	274	247	217	189	182
25/9/2553	184	192	212	233	255	271	278	276	265	256	243	236	235	245	259	278	288	297	294	278	252	223	199	184
26/9/2553	181	194	218	240	268	294	306	313	307	288	260	250	247	250	263	276	286	292	292	277	251	222	192	176
27/9/2553	164	169	184	208	237	265	285	301	300	292	278	264	252	267	263	269	283	289	281	271	254	225	196	175

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
28/9/2553	152	152	164	192	220	253	279	302	316	308	298	286	277	272	279	285	291	297	300	286	263	238	204	172
29/9/2553	152	142	154	170	196	227	260	284	302	317	317	310	304	295	295	297	300	301	304	294	280	258	225	197
30/9/2553	176	156	151	160	176	208	234	265	287	309	318	326	326	324	324	320	324	326	326	316	301	279	255	219
1/10/2553	198	169	157	160	168	190	218	240	268	293	317	317	329	330	326	326	326	324	322	317	300	285	262	235
2/10/2553	208	186	166	157	162	172	188	214	238	270	293	318	334	342	344	344	342	338	334	325	314	301	280	263
3/10/2553	240	218	200	185	178	178	188	205	230	255	283	302	320	332	340	346	336	332	325	314	302	297	288	275
4/10/2553	253	236	218	202	182	179	176	186	198	222	251	274	296	313	322	328	329	325	314	304	295	288	284	282
5/10/2553	280	275	262	254	233	224	216	217	217	228	250	264	296	320	343	350	353	340	325	314	296	289	290	290
6/10/2553	291	292	289	282	274	260	238	222	212	215	230	248	268	294	315	330	326	316	298	278	260	246	240	246
7/10/2553	256	259	284	296	295	289	272	257	238	226	232	240	262	285	305	319	328	320	294	266	235	214	201	204
8/10/2553	222	241	264	286	301	305	298	281	258	238	234	236	247	267	282	302	312	306	286	256	221	192	170	164
9/10/2553	178	203	230	262	293	314	328	321	307	290	273	269	273	281	294	305	311	302	286	256	219	180	156	142
10/10/2553	150	166	200	230	266	295	315	324	318	299	280	264	260	260	270	281	286	281	273	247	208	165	126	104
11/10/2553	91	99	121	157	190	226	261	285	292	288	280	269	264	264	276	282	286	286	282	266	237	201	164	129
12/10/2553	108	114	123	154	186	232	270	306	328	340	333	324	314	300	296	296	296	298	293	284	264	233	203	174
13/10/2553	141	132	129	146	172	202	230	263	292	310	319	323	321	315	315	315	314	314	310	296	276	248	221	191
14/10/2553	162	141	134	136	152	180	210	244	273	296	312	314	316	311	302	298	298	296	293	289	270	250	226	196
15/10/2553	170	148	128	127	137	154	183	214	241	268	295	311	318	319	320	319	312	311	307	289	273	253	235	213

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
16/10/2553	194	170	166	160	165	180	199	218	241	264	288	302	316	322	322	320	318	308	303	290	283	270	252	240
17/10/2553	224	216	201	195	188	197	200	216	232	252	272	289	306	311	320	315	310	310	293	286	278	269	259	256
18/10/2553	248	238	235	225	223	216	210	217	226	241	255	272	293	308	317	321	312	304	288	274	258	248	246	246
19/10/2553	240	240	240	240	232	230	224	223	227	235	249	268	285	302	314	317	310	297	282	261	240	230	230	232
20/10/2553	242	254	262	268	270	264	256	251	243	248	256	268	285	299	305	311	304	292	268	246	226	215	215	221
21/10/2553	231	245	258	272	279	276	269	258	245	240	241	250	264	276	288	294	294	280	262	240	214	196	196	200
22/10/2553	214	234	253	272	286	289	289	280	265	254	256	258	268	280	292	298	299	288	264	232	206	186	177	180
23/10/2553	200	224	251	278	303	316	324	319	304	292	283	281	286	288	300	310	311	300	280	251	226	199	182	182
24/10/2553	196	220	248	284	318	337	348	348	334	320	308	304	299	302	302	306	300	291	269	240	209	180	161	158
25/10/2553	166	188	218	252	286	314	333	337	331	320	304	296	292	295	300	305	304	296	280	259	227	195	168	156
26/10/2553	162	179	207	240	276	311	336	348	353	350	344	332	325	324	328	328	324	316	304	278	246	214	184	166
27/10/2553	150	161	182	210	246	280	312	341	360	362	360	352	345	343	337	336	336	326	311	295	270	237	205	178
28/10/2553	159	152	158	184	209	245	280	306	324	344	344	335	324	313	309	308	300	297	290	269	252	224	188	156
29/10/2553	132	121	122	141	161	194	230	263	301	327	342	350	350	350	348	345	340	337	323	312	294	278	246	219
30/10/2553	193	177	172	177	191	218	248	282	304	325	344	355	354	353	347	341	336	329	320	312	294	278	250	230
31/10/2553	204	184	170	165	167	182	200	226	248	274	294	307	316	324	323	316	312	309	302	294	288	266	252	240
1/11/2553	226	213	200	196	192	200	211	230	258	275	298	316	328	340	338	330	326	316	325	317	313	312	295	268
2/11/2553	280	272	262	258	256	258	260	268	274	290	302	325	338	339	346	336	328	314	307	302	286	280	277	271

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
3/11/2553	280	282	278	276	268	265	260	264	278	280	291	304	320	335	331	328	316	298	297	270	258	257	268	270
4/11/2553	280	292	300	302	297	296	289	286	272	276	270	304	320	337	332	304	284	260	230	204	196	192	195	210
5/11/2553	230	276	280	292	303	302	296	289	284	281	284	290	303	306	311	300	286	265	235	204	183	166	163	174
6/11/2553	203	228	261	288	313	330	333	324	316	311	304	306	312	315	315	313	300	277	250	214	180	158	146	148
7/11/2553	170	200	236	272	304	334	346	336	327	330	322	318	318	316	318	313	300	279	250	214	177	146	130	126
8/11/2553	138	166	202	240	278	310	334	349	348	340	335	327	324	324	325	316	315	312	273	221	206	169	144	127
9/11/2553	126	142	172	208	248	288	326	348	352	354	346	340	336	330	329	330	326	316	296	269	236	207	168	148
10/11/2553	139	144	168	194	232	272	300	337	352	360	356	350	340	336	335	327	319	312	294	268	244	207	172	147
11/11/2553	128	116	128	152	184	218	252	284	316	332	340	340	337	332	324	320	313	306	290	273	250	220	190	161
12/11/2553	140	132	136	150	176	207	244	275	304	323	332	336	330	320	315	312	307	289	290	279	264	247	222	198
13/11/2553	176	165	164	169	188	212	246	275	304	326	345	348	347	337	327	320	315	304	295	288	276	262	247	227
14/11/2553	212	196	185	188	196	220	243	264	284	302	323	332	335	328	316	308	303	295	289	280	272	259	250	240
15/11/2553	224	216	205	205	217	224	244	260	285	302	316	327	330	321	311	286	276	264	258	252	248	246	244	239
16/11/2553	236	235	233	232	233	234	244	254	268	284	298	310	315	320	310	299	280	262	244	236	235	232	239	239
17/11/2553	242	245	248	250	255	260	265	274	280	294	301	308	312	310	296	284	266	243	227	216	212	212	223	234
18/11/2553	244	257	266	268	269	270	270	270	268	276	281	290	292	294	288	282	260	239	221	203	193	194	200	217
19/11/2553	238	262	281	297	308	312	306	304	310	300	304	304	310	307	300	292	272	252	230	210	198	194	195	215
20/11/2553	240	265	292	312	327	335	335	330	320	316	316	318	318	320	316	305	285	260	232	203	184	170	168	196

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
21/11/2553	210	242	274	305	330	346	350	346	338	329	322	319	318	317	314	301	286	261	232	205	176	161	155	166
22/11/2553	186	215	254	286	320	347	358	360	353	344	338	330	328	324	321	312	300	276	248	210	189	158	147	146
23/11/2553	158	186	221	259	293	328	350	361	363	358	350	345	336	335	328	324	309	290	266	236	204	168	143	130
24/11/2553	132	156	182	232	269	308	341	365	376	374	364	356	348	342	340	324	316	304	282	252	220	184	156	139
25/11/2553	137	144	172	208	244	282	316	344	357	361	355	346	338	330	324	317	308	296	277	252	221	186	154	130
26/11/2553	116	115	130	157	193	232	268	302	327	339	343	340	334	328	323	319	313	306	293	278	248	220	184	157
27/11/2553	140	128	133	148	182	216	252	293	320	340	353	355	352	344	336	330	324	319	307	292	273	250	223	194
28/11/2553	176	163	163	173	200	228	261	290	316	336	345	343	341	328	316	312	302	298	292	280	272	256	236	213
29/11/2553	176	163	163	173	200	228	261	290	316	336	345	343	341	328	316	312	302	298	292	280	272	256	236	213
30/11/2553	188	168	161	167	176	196	223	267	274	298	312	320	314	302	293	282	268	260	256	252	250	248	238	224
1/12/2553	249	245	241	241	243	247	254	270	292	308	319	328	326	315	297	283	260	240	225	224	227	229	252	259
2/12/2553	262	270	276	276	280	284	284	292	297	308	310	319	310	304	288	262	236	212	200	187	180	190	208	224
3/12/2553	244	268	281	299	304	305	305	307	304	304	308	310	308	304	288	264	242	212	188	164	152	152	164	182
4/12/2553	210	238	264	288	310	318	323	318	320	318	316	318	314	304	294	276	254	220	196	168	146	136	138	152
5/12/2553	176	208	242	272	300	318	328	332	328	323	320	320	312	306	296	276	260	230	200	166	136	120	116	122
6/12/2553	146	180	218	254	288	314	332	334	341	338	334	326	318	314	306	286	269	246	212	173	142	114	98	98
7/12/2553	108	134	170	201	248	284	312	328	330	368	365	352	352	344	341	352	324	305	276	243	209	175	151	136
8/12/2553	136	159	189	227	268	310	344	368	380	382	378	368	357	350	336	328	322	302	283	258	223	188	156	140

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
9/12/2553	131	139	160	192	228	267	300	331	349	356	354	348	344	339	332	332	328	319	302	281	252	216	183	160
10/12/2553	144	144	160	186	217	254	289	320	340	350	348	343	332	324	315	312	304	284	280	263	240	212	184	160
11/12/2553	145	138	148	171	200	232	264	290	314	327	328	329	324	312	305	308	298	299	292	280	264	244	218	194
12/12/2553	172	163	164	175	200	227	258	288	311	332	338	332	314	304	290	279	272	269	264	258	246	232	216	199
13/12/2553	182	171	172	176	193	216	242	268	292	308	312	312	304	292	276	266	255	244	244	241	239	231	200	208
14/12/2553	198	188	183	188	201	218	239	262	283	300	309	308	295	280	257	240	227	212	212	208	210	209	207	204
15/12/2553	202	203	200	206	212	223	242	263	242	288	300	299	288	274	253	248	230	216	208	204	202	213	220	227
16/12/2553	234	240	246	254	262	268	284	292	308	316	321	319	310	300	279	252	230	216	208	203	204	213	220	232
17/12/2553	248	260	275	287	294	298	304	308	314	316	316	306	298	288	268	252	234	216	205	198	193	198	216	231
18/12/2553	254	270	290	303	316	325	334	343	345	347	345	339	331	314	295	275	254	230	211	194	189	192	194	213
19/12/2553	236	261	282	300	314	324	329	332	333	335	335	339	334	328	322	294	275	248	216	190	168	162	163	172
20/12/2553	192	220	260	280	305	329	341	348	350	348	346	338	330	318	308	284	264	236	204	176	149	134	130	139
21/12/2553	161	192	230	266	304	329	352	360	364	356	350	348	338	328	316	302	285	260	232	200	172	148	136	136
22/12/2553	150	178	216	252	288	320	344	356	361	356	350	347	340	336	328	320	308	288	260	228	192	161	135	126
23/12/2553	130	155	188	228	268	307	343	367	375	377	374	361	356	353	345	338	326	309	283	253	217	183	153	135
24/12/2553	130	140	166	202	237	274	307	330	342	344	337	329	321	313	321	300	292	281	265	241	210	173	141	116
25/12/2553	105	106	126	158	194	230	270	301	321	328	324	316	308	302	296	292	292	287	280	264	240	210	178	148
26/12/2553	129	121	127	151	182	218	254	287	314	328	329	322	311	300	290	284	280	279	277	267	253	232	208	181

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
27/12/2553	158	148	150	166	194	226	260	292	314	332	336	326	312	300	288	284	280	279	279	280	276	265	250	236
28/12/2553	217	208	207	216	230	251	276	300	316	326	328	316	299	279	260	252	247	244	248	252	258	258	255	248
29/12/2553	237	228	224	225	230	250	267	285	300	311	312	304	278	272	252	232	224	216	212	216	220	224	232	236
30/12/2553	238	236	238	244	248	268	266	291	302	316	320	310	292	270	245	217	195	179	172	172	179	192	208	224
31/12/2553	243	255	267	279	287	292	299	307	312	315	317	311	298	279	255	228	204	189	168	160	167	178	199	221

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 ระดับน้ำทะเลรายชั่วโมงที่สถานีวัดระดับน้ำหัวหินในปี พ.ศ.2553

เวลา/วันที่	**0:00**	**1:00**	**2:00**	**3:00**	**4:00**	**5:00**	**6:00**	**7:00**	**8:00**	**9:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**13:00**	**14:00**	**15:00**	**16:00**	**17:00**	**18:00**	**19:00**	**20:00**	**21:00**	**22:00**	**23:00**
1/1/2553	126	156	201	248	297	338	368	387	393	388	378	353	346	338	331	324	311	290	264	227	188	152	124	110
2/1/2553	112	136	169	214	263	311	348	376	387	390	382	370	365	356	349	342	332	314	292	258	218	176	140	114
3/1/2553	103	108	133	171	216	264	308	341	364	372	370	359	348	336	330	328	325	314	304	282	252	213	172	140
4/1/2553	118	112	126	155	198	244	292	333	360	376	376	365	349	336	330	324	324	323	320	312	292	261	226	191
5/1/2553	163	145	146	168	200	241	282	324	360	366	367	356	336	320	302	296	301	303	306	309	302	286	258	227
6/1/2553	198	180	176	186	212	252	292	333	366	381	388	366	340	315	296	280	272	276	286	290	292	290	272	252
7/1/2553	230	211	202	200	219	244	276	307	340	356	354	342	326	296	271	252	238	236	238	248	261	267	271	268
8/1/2553	258	247	238	238	247	268	292	320	344	356	360	348	320	292	260	235	214	204	203	213	222	236	254	264
9/1/2553	270	274	274	277	283	293	310	324	336	343	343	334	314	288	260	234	209	192	184	186	197	214	232	250
10/1/2553	269	282	293	302	310	316	323	329	336	340	336	328	310	289	262	235	210	188	173	166	168	178	195	216
11/1/2553	239	262	284	302	316	328	336	340	338	334	327	318	306	286	261	252	224	199	175	159	150	150	162	184
12/1/2553	210	242	273	302	324	340	350	353	350	345	338	329	318	308	291	272	250	224	198	174	156	145	147	161
13/1/2553	186	218	254	293	328	352	372	381	380	376	372	362	352	342	330	316	298	276	250	222	202	186	180	183
14/1/2553	203	232	264	301	336	366	386	396	394	387	383	373	364	356	348	340	326	306	282	250	222	194	178	168
15/1/2553	180	194	228	262	298	330	356	372	378	376	370	362	348	343	336	330	317	299	272	242	210	178	152	137
16/1/2553	138	154	180	214	252	292	320	342	353	354	350	346	338	336	328	326	318	307	290	266	236	207	184	166
17/1/2553	152	164	184	217	256	292	324	348	360	364	360	350	335	328	326	324	320	316	301	282	254	222	191	168
18/1/2553	154	156	172	204	242	284	320	344	360	361	360	350	340	328	324	324	326	322	316	298	274	246	214	183

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
19/1/2553	166	158	167	190	218	254	288	318	336	343	338	324	310	301	295	291	296	302	301	290	276	254	226	194
20/1/2553	169	159	164	180	209	241	277	308	326	330	326	312	298	282	272	272	277	282	283	280	270	252	228	202
21/1/2553	182	175	178	200	229	264	296	326	340	335	324	306	282	258	240	232	232	241	254	260	264	260	246	224
22/1/2553	204	190	186	198	220	247	280	309	331	336	332	315	287	258	237	220	215	220	232	245	254	261	261	252
23/1/2553	240	226	217	224	237	256	283	309	329	335	328	312	292	261	232	210	199	199	210	223	239	255	265	273
24/1/2553	272	269	269	270	280	296	312	331	343	346	342	325	299	266	240	216	202	194	200	212	226	242	259	271
25/1/2553	280	282	288	292	304	312	325	332	340	342	332	314	290	262	234	211	192	182	176	182	194	216	233	253
26/1/2553	271	290	306	322	329	342	348	351	350	344	334	317	297	272	248	227	206	190	178	175	180	193	212	238
27/1/2553	265	294	318	340	356	365	374	372	370	362	358	343	332	316	294	268	240	218	196	175	166	167	178	202
28/1/2553	227	264	302	334	362	382	396	394	386	372	362	346	332	318	300	278	252	224	196	170	152	138	136	147
29/1/2553	172	205	244	282	318	344	362	371	370	365	354	341	327	316	306	289	267	240	209	174	144	120	109	110
30/1/2553	130	164	210	257	304	345	371	385	388	382	369	354	345	338	332	325	314	297	273	240	204	173	150	140
31/1/2553	144	168	202	245	288	330	360	374	380	372	356	340	322	314	311	310	307	299	281	252	217	179	145	119
1/2/2553	110	119	145	182	224	268	306	332	342	339	328	320	306	299	299	304	308	310	306	289	261	226	186	155
2/2/2553	134	129	148	177	220	264	305	336	351	350	335	316	297	281	277	283	293	305	309	306	292	265	230	194
3/2/2553	168	158	167	192	228	267	308	338	352	348	326	298	268	244	230	232	243	261	278	290	296	285	262	234
4/2/2553	210	194	195	214	242	277	311	342	357	354	329	300	262	230	206	196	204	220	240	263	282	289	286	269
5/2/2553	250	232	223	229	245	269	296	320	335	337	320	291	257	221	192	174	174	187	208	232	256	276	284	282

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
6/2/2553	274	262	258	257	265	282	302	322	333	329	318	292	255	220	188	165	154	156	174	194	218	247	270	282
7/2/2553	290	289	290	293	296	304	314	324	330	326	322	300	272	239	208	181	166	158	162	173	190	212	237	258
8/2/2553	274	286	298	305	313	320	326	331	331	328	322	308	284	256	228	202	181	166	158	160	171	188	210	236
9/2/2553	262	288	308	324	338	347	350	348	342	332	317	300	282	259	238	216	197	178	168	167	173	186	207	232
10/2/2553	264	294	314	334	350	360	364	361	354	342	328	312	298	281	262	242	220	999	999	999	999	999	999	999
11/2/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	314	304	292	282	267	249	230	210	186	166	152	148	154
12/2/2553	174	202	232	267	300	324	337	342	338	328	314	301	291	285	279	272	261	244	223	194	168	145	135	134
13/2/2553	149	176	213	252	295	325	342	349	342	331	316	301	291	286	284	286	282	273	259	236	208	180	162	152
14/2/2553	156	177	208	247	288	322	346	357	354	342	328	314	302	300	298	302	305	302	292	270	242	209	185	166
15/2/2553	162	174	198	228	266	302	326	338	334	324	304	284	269	261	264	273	278	282	276	259	235	205	174	150
16/2/2553	142	150	172	200	238	276	306	322	324	310	290	270	257	248	253	262	276	290	300	296	280	254	228	205
17/2/2553	191	193	211	238	272	308	338	354	355	340	318	286	267	260	264	272	290	308	316	315	301	277	252	226
18/2/2553	212	212	226	250	279	312	337	350	348	328	312	282	258	244	240	248	266	285	302	314	313	298	280	258
19/2/2553	244	238	246	262	286	313	336	348	348	330	316	287	262	242	236	240	255	276	295	310	316	311	298	278
20/2/2553	267	258	256	268	286	306	330	342	342	328	300	270	240	220	212	214	226	249	268	290	308	318	312	302
21/2/2553	294	286	289	296	307	324	342	346	340	324	300	269	240	216	202	197	206	221	244	268	292	306	312	310
22/2/2553	306	299	295	296	306	315	328	332	332	320	304	275	262	234	210	195	190	194	207	224	247	267	288	300
23/2/2553	309	314	322	326	334	342	348	352	352	344	316	290	262	231	206	183	171	167	173	186	205	228	253	276

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
24/2/2553	294	310	322	336	342	348	348	350	344	333	316	297	272	246	219	194	176	162	156	156	166	182	206	230
25/2/2553	256	282	302	324	338	345	348	346	335	325	313	300	280	260	239	220	196	175	158	146	142	150	168	192
26/2/2553	223	256	284	316	334	343	348	342	333	322	310	304	293	278	265	245	224	200	176	154	138	132	137	156
27/2/2553	182	215	254	290	322	999	999	999	999	999	314	306	300	297	290	282	269	248	221	190	166	144	139	142
28/2/2553	164	192	230	270	310	332	346	348	338	325	308	296	296	298	301	305	306	296	272	244	208	177	158	145
1/3/2553	152	180	214	252	294	331	348	349	342	323	302	280	272	273	281	290	299	302	292	267	235	196	165	146
2/3/2553	145	162	193	229	270	306	327	331	318	294	266	242	224	222	232	252	272	293	304	299	281	250	215	186
3/3/2553	168	170	191	222	257	296	323	332	324	301	268	231	206	193	200	221	247	276	302	316	315	296	266	240
4/3/2553	214	209	217	238	266	296	320	334	324	299	264	226	191	174	169	186	212	242	276	304	317	313	294	270
5/3/2553	246	229	226	235	255	278	300	312	310	293	262	222	185	157	146	150	171	202	238	273	302	316	314	303
6/3/2553	286	269	258	259	270	286	304	314	314	301	274	230	194	164	143	140	151	176	206	239	268	292	304	304
7/3/2553	295	286	279	275	282	293	305	314	316	302	280	248	210	174	152	139	140	155	182	213	246	278	297	308
8/3/2553	312	313	310	306	304	309	313	314	313	304	286	262	232	200	174	157	150	152	168	191	216	244	276	290
9/3/2553	304	312	318	322	320	319	321	318	316	308	292	278	254	228	204	183	169	162	163	174	191	213	238	268
10/3/2553	289	310	325	338	340	345	342	336	330	319	310	292	272	257	999	999	999	999	999	999	999	999	260	999
11/3/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	318	300	294	284	270	256	250	246	250	260	272
12/3/2553	294	314	338	353	364	372	368	360	345	334	322	312	301	296	285	278	266	247	232	216	203	194	200	212
13/3/2553	235	260	292	319	339	350	351	347	333	318	309	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
14/3/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	282	276	279	282	288	289	282	266	245	222	201	188	186
15/3/2553	200	225	249	278	306	322	329	324	310	292	274	258	248	253	262	276	286	289	282	265	247	222	200	187
16/3/2553	188	204	228	258	286	308	314	314	302	280	257	238	227	230	248	266	284	297	302	298	278	254	230	210
17/3/2553	201	210	232	262	288	310	326	325	310	290	264	246	230	232	237	268	290	312	324	326	310	289	265	246
18/3/2553	235	240	258	284	307	336	344	336	318	285	250	234	217	218	232	254	284	310	327	337	330	314	289	270
19/3/2553	264	267	276	288	316	324	340	330	306	282	250	218	198	198	208	230	260	294	324	334	336	324	310	290
20/3/2553	275	270	273	285	300	316	325	326	311	284	253	214	186	171	174	192	219	252	286	316	332	333	324	310
21/3/2553	295	286	280	288	298	308	314	310	302	285	262	236	216	194	174	999	999	999	999	280	312	328	332	327
22/3/2553	316	302	296	293	296	303	310	312	305	286	262	229	197	174	155	152	165	188	220	254	289	314	331	337
23/3/2553	335	332	326	322	321	322	326	327	323	314	296	275	251	226	204	185	171	160	185	214	246	279	305	320
24/3/2553	328	330	330	325	324	322	320	315	310	294	274	252	220	192	168	161	152	146	154	176	202	230	260	282
25/3/2553	300	312	320	321	320	319	317	314	310	306	296	286	272	257	240	221	201	182	170	163	175	202	234	264
26/3/2553	292	318	334	344	348	346	342	331	319	310	315	310	306	290	264	248	220	202	191	175	196	214	232	256
27/3/2553	284	314	342	360	364	358	354	345	332	320	317	310	305	298	284	271	257	238	220	202	190	192	204	224
28/3/2553	252	282	315	340	350	353	343	328	311	294	285	283	285	288	291	999	999	999	999	252	241	232	224	220
29/3/2553	224	254	286	314	331	339	336	329	322	314	314	310	305	302	300	302	313	310	304	296	288	280	273	266
30/3/2553	263	267	295	320	340	346	331	314	282	264	254	241	239	250	272	294	313	326	329	320	311	300	289	278
31/3/2553	270	267	281	305	322	330	326	316	306	290	274	261	250	242	239	258	290	315	332	338	330	322	314	304

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
1/4/2553	294	287	282	281	297	310	313	306	292	276	259	242	230	219	214	224	264	301	332	348	352	346	337	330
2/4/2553	322	314	310	309	310	320	326	322	316	308	296	286	270	254	242	234	231	266	301	335	354	356	346	330
3/4/2553	316	304	297	300	310	322	324	324	322	316	306	294	281	268	256	246	238	236	276	315	342	354	360	358
4/4/2553	351	344	338	333	330	329	332	331	328	322	309	300	288	274	260	246	237	230	230	272	308	333	342	346
5/4/2553	344	338	334	327	322	318	314	312	308	301	292	280	266	250	235	222	212	205	202	228	263	292	312	326
6/4/2553	330	330	328	324	320	317	314	313	310	307	300	289	276	262	248	234	222	214	206	212	244	269	296	316
7/4/2553	325	329	328	327	324	322	318	316	313	308	302	294	286	274	262	250	238	230	222	218	216	239	270	293
8/4/2553	306	319	322	327	326	323	318	313	306	302	296	288	279	270	262	254	246	238	231	226	224	233	257	278
9/4/2553	298	312	322	325	323	321	318	314	316	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
10/4/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	260	256	252	247	242	238	236	240
11/4/2553	262	284	304	316	318	313	306	300	292	282	274	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
12/4/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	296	286	274	266	259	256	256	270	284	289	289	282	276	267	260	256
13/4/2553	254	268	287	302	311	310	300	282	262	240	222	210	205	216	241	266	286	298	301	299	294	286	280	274
14/4/2553	270	268	267	282	294	299	298	292	286	275	267	260	254	250	249	272	304	326	336	334	330	324	318	312
15/4/2553	306	302	300	298	297	298	298	291	282	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
16/4/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	268	254	239	224	213	206	220	258	296	329	999	999	999	999	999
17/4/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	184	169	164	194	230	276	316	342	357	354	340	328
18/4/2553	305	294	290	292	301	302	299	289	264	239	204	167	142	131	140	172	204	245	288	320	345	353	350	335

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
19/4/2553	324	316	306	308	310	314	312	298	275	244	206	170	140	127	126	143	170	203	248	289	320	344	350	348
20/4/2553	342	332	322	316	311	314	306	297	295	274	240	208	174	150	134	138	155	186	220	261	298	332	354	362
21/4/2553	362	358	350	339	335	333	330	324	298	278	252	220	188	159	141	136	140	160	188	225	264	296	318	339
22/4/2553	346	348	344	336	330	323	316	310	304	300	290	276	265	254	244	234	224	216	210	208	230	262	296	322
23/4/2553	337	345	346	344	338	332	326	320	316	304	298	292	284	274	265	254	244	234	225	219	216	232	262	290
24/4/2553	310	324	333	331	326	318	308	299	288	289	282	278	274	268	262	256	249	240	232	225	221	220	244	274
25/4/2553	296	322	337	344	342	335	327	318	302	294	287	282	278	277	276	276	274	270	267	262	258	257	270	296
26/4/2553	314	336	352	352	346	334	326	318	310	304	297	296	293	290	290	298	306	300	294	280	270	262	254	262
27/4/2553	280	294	310	313	306	292	275	250	224	198	174	165	184	210	246	274	300	314	312	302	284	270	256	256
28/4/2553	265	278	292	304	302	290	262	229	190	163	144	150	168	198	236	275	309	334	340	336	321	302	282	272
29/4/2553	270	278	288	300	304	296	279	249	218	186	157	138	134	162	194	236	280	320	345	358	358	350	336	323
30/4/2553	313	306	302	302	303	304	302	294	278	266	246	228	212	199	193	208	256	297	335	358	366	360	348	330
1/5/2553	318	305	301	303	307	310	306	291	270	231	200	173	153	140	136	170	215	262	306	340	359	364	358	347
2/5/2553	334	322	314	310	308	309	306	297	284	266	242	220	196	174	160	155	192	234	281	318	344	357	361	354
3/5/2553	343	334	324	318	316	314	314	309	300	294	278	261	245	228	212	999	999	999	999	999	999	999	999	999
4/5/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	247	227	207	191	180	175	194	226	264	302	330	350	357
5/5/2553	354	350	342	335	328	323	320	317	302	294	286	276	265	254	242	232	223	217	214	240	273	305	328	337
6/5/2553	338	334	324	312	300	290	282	278	272	264	253	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
7/5/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
8/5/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
9/5/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
10/5/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
11/5/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
12/5/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	186	212	247	270	294	310	312	310	306	298	290	282
13/5/2553	280	284	288	290	288	282	270	256	238	224	206	193	183	196	232	270	305	328	338	341	335	328	322	314
14/5/2553	308	302	300	298	296	292	286	278	265	250	238	224	212	204	204	248	288	320	344	357	352	341	326	312
15/5/2553	300	294	290	291	290	281	266	243	214	187	156	133	122	140	172	212	256	304	334	352	364	356	341	326
16/5/2553	310	302	300	300	296	292	279	256	216	186	150	124	112	119	144	181	227	276	318	354	370	376	370	360
17/5/2553	346	332	324	322	321	314	301	285	254	218	182	150	130	127	138	171	211	256	302	336	363	376	377	367
18/5/2553	354	346	330	326	327	314	306	286	261	226	188	150	120	100	104	124	156	200	240	284	324	356	361	360
19/5/2553	344	342	326	315	313	302	293	292	270	242	207	174	145	121	112	116	136	170	218	260	300	334	356	359
20/5/2553	352	338	324	310	300	295	294	288	280	265	242	213	180	152	130	122	132	152	187	224	264	299	324	340
21/5/2553	344	337	328	313	302	291	290	286	281	270	258	232	210	180	161	148	152	162	187	222	256	286	314	329
22/5/2553	337	334	310	296	280	266	253	242	242	245	242	236	226	216	202	188	177	185	194	213	236	275	296	310
23/5/2553	323	318	304	281	254	234	218	204	200	204	210	214	223	219	216	213	205	205	210	222	248	262	282	296
24/5/2553	304	303	290	266	244	214	196	176	168	172	181	201	222	244	259	263	266	262	256	250	248	253	266	278

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
25/5/2553	288	292	290	277	250	220	192	166	146	154	162	176	198	230	260	280	290	296	290	284	279	274	273	276
26/5/2553	288	272	282	270	250	224	192	164	139	124	128	144	162	195	228	264	297	308	312	302	298	290	274	266
27/5/2553	275	283	276	279	267	242	208	180	146	120	110	112	136	165	211	248	285	317	338	337	334	322	312	297
28/5/2553	295	296	294	290	288	267	241	202	168	140	116	114	122	141	178	221	266	306	341	356	362	348	338	320
29/5/2553	308	298	292	290	281	268	254	225	189	145	115	98	90	100	137	177	224	272	314	338	350	351	341	326
30/5/2553	312	301	290	288	285	280	267	246	217	180	140	118	99	96	120	156	200	248	294	330	350	360	356	346
31/5/2553	334	322	310	302	297	290	282	270	246	208	168	138	111	99	106	129	168	208	256	294	324	342	350	340
1/6/2553	338	325	313	302	296	288	282	270	254	220	188	158	135	118	114	128	160	200	240	276	311	330	340	338
2/6/2553	328	319	306	294	286	282	278	272	262	246	224	192	161	136	124	132	148	182	224	261	298	320	338	336
3/6/2553	326	312	296	284	270	264	258	256	250	240	227	206	182	160	146	140	150	176	206	242	272	302	321	323
4/6/2553	321	312	300	284	267	256	250	246	242	239	230	218	202	186	171	161	159	177	208	238	268	300	320	325
5/6/2553	322	309	294	273	254	239	233	231	233	231	231	225	214	201	190	181	181	189	210	238	268	290	304	317
6/6/2553	318	310	290	270	254	238	228	225	226	231	228	231	231	226	222	218	217	222	238	264	282	305	330	344
7/6/2553	342	322	304	280	256	236	220	210	210	212	217	222	228	238	240	243	246	248	256	267	276	290	297	302
8/6/2553	305	299	281	260	238	217	198	182	175	178	192	203	219	238	257	266	272	279	284	285	292	295	298	306
9/6/2553	306	300	283	266	245	216	190	172	160	152	160	172	198	221	246	272	289	310	313	312	307	306	305	304
10/6/2553	303	300	292	283	262	236	210	184	162	148	145	140	165	203	236	276	302	318	330	334	329	318	304	296
11/6/2553	286	278	272	254	236	212	184	156	131	116	123	134	160	198	236	276	310	336	347	348	341	330	317	310

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
12/6/2553	297	294	284	277	262	239	208	170	140	117	103	102	122	154	192	233	274	308	333	346	346	338	325	313
13/6/2553	302	299	292	286	274	258	232	200	158	126	102	88	94	118	156	200	250	295	330	353	366	364	350	336
14/6/2553	324	314	310	304	296	282	262	234	199	154	120	100	90	100	129	172	216	266	310	341	357	365	360	344
15/6/2553	328	320	314	306	302	289	273	242	200	162	126	97	85	82	100	140	184	228	272	310	336	344	340	324
16/6/2553	314	296	288	283	283	284	272	254	230	210	170	132	104	86	82	98	135	178	222	266	306	334	348	350
17/6/2553	338	321	310	298	290	285	282	280	270	245	218	182	148	118	96	96	121	158	194	236	278	308	326	324
18/6/2553	308	294	267	246	238	232	235	241	234	232	220	200	177	153	131	121	132	154	192	224	256	290	308	314
19/6/2553	301	286	266	246	226	218	218	218	221	226	225	218	206	181	170	158	162	174	204	233	266	292	312	322
20/6/2553	317	302	278	250	228	210	198	198	202	210	220	228	232	226	222	214	209	209	222	244	272	294	310	320
21/6/2553	314	302	282	252	222	194	176	167	167	178	195	214	232	244	248	253	253	258	265	272	290	302	314	318
22/6/2553	314	302	280	252	220	183	158	143	138	152	174	200	221	249	268	281	284	286	289	291	294	296	302	300
23/6/2553	296	280	266	238	208	180	154	140	131	134	150	170	197	232	268	296	304	316	324	326	314	310	308	306
24/6/2553	302	286	273	252	224	192	160	134	114	109	116	132	162	198	238	270	300	322	328	332	320	308	302	292
25/6/2553	284	280	268	254	234	210	176	142	122	106	92	106	128	164	202	246	284	316	336	344	344	334	320	308
26/6/2553	304	296	289	276	262	236	208	176	142	115	98	96	107	139	176	218	264	305	334	346	350	342	328	313
27/6/2553	298	294	285	275	267	250	228	200	166	136	110	96	100	117	150	190	234	276	314	334	348	344	337	318
28/6/2553	302	292	286	278	267	258	240	212	182	153	118	98	90	96	120	156	201	245	282	320	338	342	336	326
29/6/2553	306	290	277	273	268	258	246	230	205	178	144	114	102	106	116	148	184	232	266	304	322	333	328	314

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
30/6/2553	298	288	272	271	268	266	265	254	236	176	142	113	90	76	80	105	142	182	226	264	291	306	310	294
1/7/2553	278	261	246	240	231	234	237	228	214	220	192	165	140	126	126	142	174	205	246	289	318	332	326	314
2/7/2553	300	280	261	252	247	250	256	255	246	234	222	190	170	150	146	156	177	209	246	282	312	326	332	321
3/7/2553	302	276	256	240	236	234	238	240	242	234	229	213	190	174	163	168	181	208	238	270	304	326	330	322
4/7/2553	307	282	260	236	226	220	224	234	239	241	249	238	222	209	202	196	211	230	258	285	306	329	334	325
5/7/2553	307	278	246	218	201	191	186	192	202	216	228	230	226	223	222	224	224	241	262	280	302	316	323	314
6/7/2553	294	272	240	232	192	178	175	180	193	205	220	238	252	262	267	272	276	284	292	298	308	311	318	310
7/7/2553	288	267	238	213	182	164	149	150	158	178	197	216	240	260	268	274	280	280	283	283	286	292	291	287
8/7/2553	274	254	229	203	172	146	122	114	123	133	149	174	206	235	258	278	290	302	306	305	302	300	299	294
9/7/2553	282	272	248	224	198	164	144	124	114	122	136	162	192	226	260	286	310	318	327	330	324	318	306	294
10/7/2553	288	276	262	246	220	196	164	138	118	105	103	116	144	174	212	249	285	310	330	337	334	325	318	304
11/7/2553	292	282	269	256	236	210	176	146	118	101	94	98	126	156	200	244	289	323	348	360	360	350	338	322
12/7/2553	314	302	292	284	269	246	218	182	146	122	99	92	96	122	161	204	252	296	332	353	364	360	344	329
13/7/2553	314	304	298	290	280	270	246	216	178	140	110	91	82	94	126	168	216	262	304	332	353	356	350	334
14/7/2553	316	302	300	298	298	290	282	266	235	198	153	123	108	108	124	160	204	252	297	333	354	360	352	336
15/7/2553	315	300	289	289	294	293	290	283	266	234	196	162	134	118	124	147	184	224	270	310	333	346	344	326
16/7/2553	301	278	262	258	257	262	272	274	268	256	227	200	170	149	140	148	180	218	258	296	332	350	340	324
17/7/2553	302	276	252	234	235	248	260	270	278	274	264	234	212	189	180	182	206	229	267	298	332	344	335	312

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
18/7/2553	285	245	214	188	188	192	207	220	238	250	260	252	242	228	218	214	228	241	265	294	320	331	330	312
19/7/2553	286	250	215	188	174	169	174	192	211	234	248	248	251	250	241	238	244	254	266	291	309	324	326	314
20/7/2553	285	256	217	182	152	138	136	142	158	185	206	230	263	278	286	289	291	294	299	306	314	316	314	304
21/7/2553	285	260	228	194	166	144	130	128	136	160	184	212	236	260	279	290	300	303	305	306	302	303	298	288
22/7/2553	276	260	236	208	177	152	132	118	116	128	148	185	216	249	279	305	318	330	336	335	332	319	318	302
23/7/2553	300	282	264	243	218	186	162	139	125	123	126	142	168	197	229	254	278	299	306	314	312	298	290	289
24/7/2553	276	263	250	236	218	188	162	132	110	96	104	110	132	164	204	238	274	302	320	328	326	316	301	296
25/7/2553	284	276	268	252	240	222	197	168	136	118	108	102	120	152	181	223	263	288	312	326	326	320	301	291
26/7/2553	275	262	260	245	232	223	198	174	142	117	109	101	108	128	158	196	229	264	286	306	308	305	292	283
27/7/2553	275	269	271	272	264	258	238	212	184	160	133	126	120	139	165	204	244	284	316	337	345	344	332	316
28/7/2553	305	292	292	292	290	292	283	264	236	206	179	156	141	146	161	192	225	260	296	315	332	328	315	294
29/7/2553	278	266	260	254	262	266	270	260	240	218	185	157	138	133	148	174	212	252	286	317	332	332	320	294
30/7/2553	273	258	250	251	254	271	284	278	272	252	226	197	174	163	168	188	221	250	286	317	333	328	308	280
31/7/2553	256	232	212	999	999	999	999	999	999	999	220	196	171	158	157	172	200	235	270	301	320	323	311	287
1/8/2553	260	232	212	205	207	220	235	249	261	261	253	230	211	206	200	207	225	255	280	308	320	328	314	290
2/8/2553	256	226	204	192	190	206	220	240	252	260	262	252	236	222	214	214	220	236	266	284	304	311	305	277
3/8/2553	252	224	200	176	167	174	190	201	222	238	252	248	248	242	242	242	250	262	282	297	314	310	305	287
4/8/2553	262	230	202	181	174	170	176	190	216	234	250	262	264	270	266	262	266	272	284	291	302	298	290	274

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
5/8/2553	247	216	188	158	139	129	133	148	160	184	208	230	240	256	262	266	272	271	273	287	286	288	280	264
6/8/2553	253	232	202	176	150	138	127	126	140	154	180	206	236	260	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
7/8/2553	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	169	199	228	255	282	304	314	323	313	302	288	283	268
8/8/2553	250	236	221	200	167	142	124	104	90	85	103	126	154	188	230	257	284	299	318	319	318	298	293	282
9/8/2553	278	258	254	238	221	200	173	149	132	120	114	122	146	184	220	262	296	332	352	358	350	342	328	312
10/8/2553	304	293	290	285	270	254	234	206	168	138	120	113	124	152	188	226	266	307	327	337	338	329	312	290
11/8/2553	276	269	273	273	274	275	257	236	204	172	145	125	118	132	164	200	242	290	328	352	352	342	322	302
12/8/2553	288	279	282	288	296	306	308	289	262	222	184	156	136	142	164	200	243	288	314	338	338	330	306	274
13/8/2553	248	236	236	246	260	278	292	294	276	250	220	188	160	153	165	191	228	268	306	331	344	332	304	270
14/8/2553	236	216	205	209	222	248	269	288	294	278	258	230	202	189	190	208	237	272	306	332	341	332	304	264
15/8/2553	228	196	178	174	188	214	240	268	288	294	286	266	244	227	219	224	242	269	294	318	328	322	298	266
16/8/2553	222	184	160	146	150	170	198	225	254	274	282	276	266	254	244	245	256	273	294	310	319	314	296	263
17/8/2553	226	188	157	140	137	146	169	196	224	248	270	282	286	286	281	280	283	289	301	311	315	310	300	276
18/8/2553	242	206	177	152	138	136	146	167	186	214	244	268	283	292	302	304	308	310	314	315	316	314	306	284
19/8/2553	261	230	201	178	156	137	136	150	161	184	208	238	264	284	301	309	318	329	322	326	329	318	314	300
20/8/2553	282	266	240	212	188	163	149	140	146	155	176	204	232	260	289	312	331	341	342	342	331	324	309	292
21/8/2553	278	265	250	231	208	184	160	146	134	132	138	154	178	208	236	268	290	312	326	323	320	312	298	287
22/8/2553	278	262	257	236	221	193	174	156	142	129	135	147	176	208	248	281	313	334	346	348	338	326	306	297

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
23/8/2553	288	278	272	260	250	236	215	192	170	150	143	148	164	194	224	263	299	325	336	337	330	316	298	286
24/8/2553	274	273	272	272	273	266	254	228	195	172	154	144	151	178	212	246	278	312	330	338	330	308	290	276
25/8/2553	266	266	265	274	284	285	280	260	240	209	188	172	172	185	212	242	278	310	334	346	340	324	304	284
26/8/2553	268	264	268	267	280	291	285	272	240	212	191	170	164	178	196	232	264	292	320	331	324	306	280	254
27/8/2553	234	226	226	239	254	267	282	281	264	244	218	192	180	181	200	226	258	290	316	326	326	302	276	247
28/8/2553	224	210	215	228	244	264	283	289	277	258	234	214	194	186	191	214	244	276	295	313	312	302	270	237
29/8/2553	212	193	179	186	200	218	238	258	262	262	245	230	214	207	210	226	242	265	287	298	302	289	262	232
30/8/2553	202	180	172	174	192	216	240	264	283	290	284	268	252	237	236	238	252	269	288	302	309	300	274	245
31/8/2553	210	183	167	162	174	194	223	248	265	279	280	270	257	246	240	236	244	259	277	288	290	280	260	229
1/9/2553	198	168	146	134	138	157	184	210	240	264	276	280	280	276	272	270	276	284	296	301	304	294	274	247
2/9/2553	210	180	157	144	138	148	166	192	218	244	269	283	288	301	299	298	301	306	307	309	306	298	280	259
3/9/2553	230	198	172	148	134	128	138	154	176	205	231	251	270	288	297	301	304	304	310	306	306	292	266	256
4/9/2553	232	208	183	156	138	132	125	132	142	156	185	210	233	260	281	294	306	310	310	310	300	282	270	244
5/9/2553	225	205	186	162	144	134	124	122	120	132	154	183	212	244	272	300	321	329	328	324	317	304	288	278
6/9/2553	269	258	238	222	202	178	160	140	128	126	136	162	188	222	258	293	318	330	330	326	315	302	288	277
7/9/2553	271	264	252	245	232	206	180	156	132	120	110	124	152	184	220	253	286	309	320	318	305	289	280	270
8/9/2553	262	264	270	274	270	262	245	218	192	166	152	151	166	198	240	278	316	346	360	358	340	318	294	276

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
9/9/2553	270	269	276	285	296	300	288	266	238	208	180	164	162	187	219	250	285	310	325	320	302	276	248	216
10/9/2553	200	205	218	238	254	282	298	294	268	242	212	186	169	173	190	220	255	287	312	323	314	290	257	224
11/9/2553	197	185	190	210	243	272	306	318	318	301	270	233	217	213	228	248	276	305	325	334	324	290	250	210
12/9/2553	172	152	148	167	200	236	268	298	312	314	296	276	256	242	237	247	264	287	305	312	308	284	248	206
13/9/2553	166	140	126	136	160	195	235	268	294	308	310	300	286	272	262	262	272	284	299	310	310	296	264	228
14/9/2553	189	156	134	128	140	168	206	244	280	306	322	324	318	307	298	290	294	301	306	310	311	300	276	241
15/9/2553	193	163	139	124	125	140	170	206	240	268	288	301	304	302	298	291	288	294	298	298	294	287	268	242
16/9/2553	210	178	145	132	122	128	142	166	198	236	260	284	298	306	311	313	312	311	309	306	302	289	274	254
17/9/2553	228	204	178	159	146	144	148	166	185	216	245	268	292	310	322	332	333	334	331	324	318	308	293	278
18/9/2553	260	240	216	196	178	172	158	165	175	194	214	241	264	290	311	323	329	330	326	318	306	297	285	278
19/9/2553	265	254	238	224	207	190	178	171	170	178	191	210	238	267	290	310	322	322	317	302	288	275	266	254
20/9/2553	250	246	242	234	221	209	194	180	168	168	180	200	226	260	285	310	331	334	330	314	298	278	266	259
21/9/2553	254	256	263	262	259	250	230	212	192	183	182	196	218	245	270	300	314	318	310	294	272	252	234	232
22/9/2553	231	239	250	260	264	260	242	222	212	190	178	178	192	216	245	275	298	318	316	302	283	258	238	222
23/9/2553	220	230	246	262	280	290	289	273	252	230	216	208	214	230	254	280	306	320	324	313	286	258	230	212
24/9/2553	203	212	228	250	271	288	292	284	270	246	220	202	201	216	236	262	292	312	318	308	286	255	223	197
25/9/2553	184	190	206	231	261	286	304	308	298	276	253	234	226	228	242	264	284	304	310	300	280	252	216	188
26/9/2553	175	175	192	222	254	288	314	328	322	312	290	268	250	247	255	272	287	302	313	312	286	256	221	192

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
27/9/2553	171	162	173	198	230	264	297	317	320	310	296	276	260	250	250	260	274	287	297	292	278	252	216	182
28/9/2553	156	141	152	176	207	240	281	310	327	330	322	304	292	277	274	278	286	297	304	302	290	264	225	193
29/9/2553	163	146	140	148	182	217	255	287	315	329	330	322	313	298	290	294	294	302	308	309	305	277	252	216
30/9/2553	184	162	151	146	168	197	229	262	294	316	333	331	334	328	324	319	324	327	332	332	318	304	274	244
1/10/2553	212	176	159	150	164	183	206	242	268	297	318	334	337	333	332	335	324	330	324	322	320	298	278	256
2/10/2553	228	194	172	158	153	160	182	203	238	268	290	314	335	344	348	346	342	338	334	330	317	306	294	276
3/10/2553	252	228	204	189	174	168	174	194	218	238	264	292	316	332	342	346	340	336	325	317	307	300	291	283
4/10/2553	263	250	232	212	188	176	168	172	184	207	231	265	296	316	328	338	339	332	320	308	298	292	290	287
5/10/2553	284	282	275	264	251	237	222	212	212	224	244	267	294	322	348	364	364	359	342	326	304	290	287	286
6/10/2553	290	291	296	300	290	272	252	232	217	210	209	224	247	278	308	326	338	330	315	292	266	242	230	233
7/10/2553	245	260	280	295	307	305	286	268	244	223	219	229	245	272	296	322	341	338	320	288	252	222	198	189
8/10/2553	200	220	249	278	306	321	318	302	276	250	228	220	227	253	278	304	320	321	306	272	235	196	168	154
9/10/2553	162	184	219	256	296	326	338	336	321	307	282	266	260	266	279	294	311	316	312	287	256	210	170	142
10/10/2553	132	140	164	202	245	286	316	337	334	320	301	281	261	253	256	272	303	307	302	280	251	209	173	145
11/10/2553	134	139	160	193	230	269	300	322	324	319	294	282	266	253	258	266	279	284	288	281	261	222	181	140
12/10/2553	109	98	98	122	150	194	246	294	318	331	339	325	312	298	285	280	288	288	291	282	273	257	220	185
13/10/2553	151	127	108	116	137	169	205	246	279	304	316	318	317	314	305	293	295	301	301	295	279	260	230	192
14/10/2553	151	124	110	108	120	141	173	212	238	270	300	326	322	318	304	300	289	294	286	284	282	270	241	214

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
15/10/2553	182	149	125	110	116	130	158	192	217	249	280	298	308	313	317	310	306	296	290	280	268	256	233	210
16/10/2553	190	168	150	146	148	150	168	196	215	242	262	286	297	306	319	326	318	312	300	290	282	272	254	238
17/10/2553	224	214	200	188	186	186	193	202	219	232	256	278	294	308	316	321	315	308	298	282	272	263	256	248
18/10/2553	242	240	232	224	215	208	205	204	213	224	241	260	284	300	316	320	319	309	296	278	257	246	238	233
19/10/2553	232	234	238	240	234	229	224	218	216	220	234	248	272	294	310	319	318	308	296	272	250	234	225	221
20/10/2553	232	246	260	270	276	274	266	254	244	240	244	254	270	289	307	316	318	305	283	260	233	218	206	207
21/10/2553	218	234	255	274	284	286	282	268	254	241	238	242	253	269	288	302	303	294	276	254	225	201	188	188
22/10/2553	201	216	242	268	295	303	304	289	278	261	252	252	260	270	285	302	312	306	288	263	229	199	174	168
23/10/2553	177	200	230	258	299	325	336	335	323	306	289	282	278	284	294	310	318	315	298	270	239	204	178	167
24/10/2553	172	193	225	263	303	337	357	364	354	333	313	302	290	291	300	306	310	308	295	269	236	201	170	152
25/10/2553	151	167	198	235	277	312	340	354	351	336	322	306	294	292	296	305	310	312	303	280	250	214	181	159
26/10/2553	150	160	183	222	264	306	340	365	374	370	352	341	326	318	315	323	326	324	315	299	270	232	200	167
27/10/2553	147	148	158	190	230	273	318	344	373	381	388	376	364	352	343	340	338	336	328	316	288	261	218	184
28/10/2553	155	148	145	167	199	236	275	306	342	359	376	364	350	338	325	312	308	308	301	296	280	252	222	184
29/10/2553	160	130	125	136	164	203	240	279	324	360	382	388	386	379	368	360	354	352	348	340	326	306	285	262
30/10/2553	240	220	204	208	220	240	276	300	336	362	379	387	387	381	370	356	348	340	334	332	328	314	292	268
31/10/2553	242	216	192	179	178	186	204	227	258	285	307	325	334	339	339	334	332	326	316	304	296	290	276	256
1/11/2553	241	228	210	202	202	210	224	242	262	286	314	328	342	344	346	344	343	336	325	320	313	312	306	298

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
2/11/2553	288	280	266	258	257	257	260	270	284	304	322	344	358	364	374	358	350	340	322	306	297	290	285	286
3/11/2553	293	300	304	300	298	296	294	294	302	312	324	336	362	364	378	368	360	330	304	286	276	270	268	282
4/11/2553	300	305	322	332	318	316	312	310	309	320	334	344	354	364	370	368	336	310	276	248	218	204	201	216
5/11/2553	234	268	292	320	338	338	330	318	303	298	296	302	310	322	334	344	336	310	276	245	208	188	177	184
6/11/2553	202	238	274	312	342	366	367	358	350	334	324	320	324	330	342	340	332	315	293	260	224	197	174	160
7/11/2553	163	198	234	278	320	351	370	374	365	351	336	325	320	322	328	331	327	317	297	272	242	212	186	166
8/11/2553	152	148	187	229	276	318	348	363	365	360	348	334	325	322	322	326	328	323	305	275	238	196	158	132
9/11/2553	122	131	160	202	245	294	344	372	390	396	392	380	364	355	350	350	366	360	348	318	290	260	215	186
10/11/2553	166	166	178	214	252	296	330	365	386	396	393	382	370	360	344	346	340	332	325	308	282	248	210	176
11/11/2553	148	127	122	143	173	211	250	288	319	340	350	351	346	338	328	322	328	326	314	299	279	253	222	187
12/11/2553	160	141	137	144	168	203	243	275	310	336	350	353	348	338	329	322	314	312	308	301	290	274	250	224
13/11/2553	199	180	167	168	184	209	241	269	304	332	357	366	362	355	348	342	331	323	317	310	303	294	278	259
14/11/2553	238	219	203	197	201	215	239	262	291	313	335	350	351	344	334	330	316	307	300	296	290	284	275	265
15/11/2553	249	234	222	215	218	221	239	253	281	300	320	335	342	336	332	321	310	298	285	272	271	268	268	268
16/11/2553	264	264	259	257	252	254	259	262	278	300	320	340	350	352	348	331	310	291	271	254	249	243	246	250
17/11/2553	255	262	265	268	272	268	276	288	298	310	321	331	334	327	324	312	294	270	249	234	224	220	226	241
18/11/2553	254	274	286	294	298	294	290	288	285	289	295	304	310	314	310	300	284	258	237	233	198	188	193	209
19/11/2553	232	254	284	302	318	325	324	315	311	301	302	305	308	311	313	305	290	273	246	222	200	188	187	203

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
20/11/2553	221	254	284	312	333	345	346	339	329	317	312	311	315	317	318	313	301	278	250	216	188	166	156	163
21/11/2553	184	216	252	291	330	347	356	356	347	332	319	312	310	311	313	310	300	282	254	221	190	161	144	141
22/11/2553	157	186	224	264	306	338	359	368	366	354	340	327	321	318	317	314	308	290	267	235	200	164	140	129
23/11/2553	135	156	192	234	280	320	350	367	371	365	352	341	330	325	324	325	322	309	289	258	224	185	152	129
24/11/2553	124	140	166	207	252	300	343	370	385	386	376	360	349	340	336	334	334	328	316	292	258	220	184	158
25/11/2553	140	141	159	193	235	280	321	354	375	380	377	362	350	338	330	328	324	318	306	287	259	224	185	152
26/11/2553	126	119	124	147	183	226	272	302	338	362	368	362	352	342	330	331	327	321	313	300	280	251	219	190
27/11/2553	158	140	136	151	179	219	266	306	342	364	378	382	376	367	358	352	348	342	335	320	306	285	260	230
28/11/2553	204	182	175	182	200	227	264	302	333	354	369	370	370	358	346	334	326	321	318	310	302	290	273	252
29/11/2553	224	200	184	179	185	206	226	264	294	321	344	351	350	338	325	310	295	284	277	276	273	275	266	258
30/11/2553	246	235	222	218	215	234	256	280	309	332	349	359	359	350	333	313	282	276	268	266	270	274	277	281
1/12/2553	284	280	276	266	264	268	279	291	316	342	360	366	370	363	346	327	297	278	258	246	250	249	258	274
2/12/2553	286	300	306	308	310	314	313	316	323	332	344	350	351	346	327	309	282	260	231	218	207	208	222	245
3/12/2553	266	292	316	334	346	354	358	358	352	356	356	364	366	362	354	340	316	284	250	221	199	192	198	220
4/12/2553	244	278	314	342	362	375	384	383	376	370	369	366	369	368	362	342	326	294	262	230	200	182	176	182
5/12/2553	205	240	272	316	348	368	384	390	388	380	372	364	356	347	344	330	314	290	260	226	192	166	148	150
6/12/2553	168	197	236	284	327	364	386	398	394	387	375	368	356	352	348	340	336	304	273	239	203	167	143	133
7/12/2553	137	160	196	240	290	331	365	388	398	403	394	383	374	376	370	366	355	344	326	292	254	219	199	160

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
8/12/2553	153	168	196	237	286	332	380	414	436	442	434	420	410	396	384	360	356	340	322	296	266	228	194	164
9/12/2553	146	146	165	199	238	283	325	358	378	385	386	380	369	360	352	349	347	344	335	320	293	260	224	190
10/12/2553	165	153	155	178	210	248	290	332	361	374	375	368	356	343	330	321	318	315	306	294	274	248	218	187
11/12/2553	160	148	146	158	184	222	263	297	323	345	350	348	339	325	314	303	300	300	298	289	279	258	234	207
12/12/2553	183	164	156	163	184	214	249	285	320	327	348	348	340	328	310	297	285	282	279	276	270	261	247	228
13/12/2553	210	194	180	180	192	215	243	270	297	324	339	342	335	320	302	287	271	262	256	255	255	249	242	232
14/12/2553	218	206	196	192	201	217	241	266	294	318	332	334	326	307	286	267	248	232	224	221	222	225	228	226
15/12/2553	228	223	218	216	221	235	248	268	292	312	322	327	323	306	286	265	242	225	210	206	208	212	222	232
16/12/2553	242	249	256	258	262	271	282	293	307	320	330	336	329	314	296	272	248	227	208	198	194	198	208	227
17/12/2553	243	263	276	289	300	306	307	311	316	326	328	326	316	306	294	278	256	230	214	208	193	199	212	231
18/12/2553	250	274	290	312	323	332	342	348	348	354	348	350	346	335	317	300	278	254	228	209	197	194	200	218
19/12/2553	240	268	292	310	329	340	346	352	350	359	349	346	347	350	336	316	288	266	232	200	178	167	166	174
20/12/2553	194	233	256	292	320	342	358	362	368	366	358	352	342	332	322	306	285	260	226	193	166	143	130	132
21/12/2553	150	181	221	264	304	338	365	378	381	372	366	354	346	338	330	320	308	286	257	224	190	162	143	136
22/12/2553	144	168	204	246	288	327	355	376	380	379	369	358	349	344	339	334	324	308	284	252	216	178	149	132
23/12/2553	130	146	178	220	269	315	356	382	396	400	390	378	366	356	353	348	341	327	309	280	244	204	170	144
24/12/2553	131	135	158	192	232	277	317	346	365	368	364	352	337	327	320	317	316	310	297	278	249	210	173	140
25/12/2553	118	111	122	152	191	236	281	320	348	362	360	350	334	320	310	308	306	309	306	296	277	248	213	178

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา/วันที่	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
26/12/2553	147	132	130	147	178	219	262	304	336	357	360	355	342	326	310	303	302	301	300	296	284	268	243	210
27/12/2553	188	170	166	182	210	246	284	318	356	380	388	380	364	344	326	306	300	304	304	310	304	301	288	270
28/12/2553	252	238	230	228	240	266	290	319	344	362	366	356	338	312	288	274	264	256	259	270	278	281	283	278
29/12/2553	268	254	244	240	242	256	276	300	323	336	344	339	326	304	282	260	244	233	230	234	242	251	259	266
30/12/2553	267	267	266	269	272	282	296	313	330	344	348	342	332	310	280	253	223	202	191	188	194	208	226	247
31/12/2553	267	284	298	308	314	322	330	338	344	352	356	358	344	332	306	280	252	222	204	192	186	200	216	236

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

รวมบทความที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาการปรับเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำท่าจีนภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเล

The study of hydrodynamic model calibration in Thachin river of tidal effect

ณัฐวุฒิ อินทบุตร (Nuttawut Intaboot)[1], วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ (Wisuwat Taesombat)[2],

[1] นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140 (Nuttawut_took@hotmail.com)
[2] อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140 (fengwwt@ku.ac.th)

บทคัดย่อ: การศึกษาถึงลักษณะต่างๆของระบบแม่น้ำ อาทิเช่น ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำ การแพร่กระจายของสารมลพิษ การพัดพาและทบถมของตะกอน จำเป็นต้องเข้าใจสภาพทางอุทกพลศาสตร์ในพื้นที่นั้น การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการปรับเทียบแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ โดยได้อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการจำลองและวิเคราะห์การไหลของน้ำในพื้นที่ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล โดยในการศึกษาจะทำการทดลองปรับเทียบโค้งการไหล ของสถานีวัดน้ำท่า T1 ของปี 2553 และปี 2554 ในช่วงฤดูแล้ง ระหว่างมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ และในช่วงฤดูน้ำหลาก ระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม โดยพิจารณาการไหลเป็นแบบคงที่ กำหนดขอบเขตการไหลด้านเหนือน้ำเป็นปริมาณการไหลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลามีค่าตั้งแต่ 5 จนถึง 705 ลบม.ต่อวินาที และกำหนดขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นระดับน้ำคงที่ ที่ระดับ -0.5, 0.65, และ1.00 เมตร (รทก.) พบว่าถ้าลำน้ำมีการไหลค่อนข้างน้อย (ฤดูแล้ง) การไหลจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเล และถ้าการไหลในลำน้ำค่อนข้างสูง (ในฤดูน้ำหลาก) การไหลจะได้รับอิทธิพลของระดับน้ำทะเลลดลงตามระดับน้ำทะเลที่ลดลง ดังนั้นในการปรับเทียบแบบจำลองจำเป็นต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านท้ายน้ำ และผลการปรับเทียบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ manning's n ทั้งลำน้ำจะมีค่าเท่ากับ 0.0375 ซึ่งจะให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติของ R^2, E, RMSE, และ CC เท่ากับ 0.741, 0.703, 0.197, และ0.862 ตามลำดับ

คำสำคัญ: แบบจำลองอุทกพลศาสตร์, การปรับเทียบแบบจำลอง, MIKE 11 model, อิทธิพลของระดับน้ำทะเล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Abstract: The study of various characteristics of river systems such as physical characteristics of the river, dispersion of pollutants, sediment transport and deposition, it is needed to understand the hydrodynamic conditions. This paper presents guidelines for study the hydrodynamic model calibration. MIKE11 is a modeling tool with one-dimensional flow used for simulating and analyzing flow circulation influenced by tidal effect in the Thachin river. In this study determined the calibration of rating curve at runoff station T1. The simulation was conducted in the period of 2010 and 2011 of drought period during January-February and flood period during September-October. On basis of steady flow calibration, the boundary condition is that upstream is flow rate of time serie in the range of 5-705 cms and downstream is water level which constant at -0.5, 0.65, and1.0 m (MSL). It found that if the flow rate in the channel is low, discharge is under the influence of tidal effect, and if the flow rate is high, discharge has less affected once tidal becomes lower. Therefore, the calibrated model is necessary to consider the changes in water levels downstream. The calibration of this model found that the suitable Manning's n values 0.0375 this gave the best statistical methods of R2, E, RMSE, and CC are 0.741, 0.703, 0.197, and 0.862 respectively.

Keywords: Hydrodynamic Model, model calibration, MIKE 11 model, tidal effect

1. บทนำ

สภาพทางอุทกพลศาสตร์เป็นการอธิบายถึงปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่และการไหลของกระแสน้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์การกระจายตัวของสารแขวนลอยต่างๆ อาทิ ตะกอนแขวนลอย สารมลพิษ การกระจายตัวของคุณภาพน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี และความเค็ม นอกจากนี้ยังใช้ในการประเมินปริมาณการตกทับถมของตะกอน และการกัดเซาะด้วย (1)

โดยในปัจจุบันมีขยายตัวของสังคมเมือง มีการตั้งโรงงานอุตสาหกรรม และการทำเกษตรกรรมเพิ่มมากขึ้น ทำให้สภาพของแม่น้ำเกิดการเน่าเสีย คุณภาพน้ำแย่ลง ดังนั้นในการที่จะทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวข้องกับสภาพทางอุกพลศาสตร์และคุณภาพน้ำต่างๆ จำเป็นต้องเข้าใจสภาพทางอุทกพลศาสตร์ในพื้นที่นั้น

อนึ่งแม่น้ำท่าจีนมีจุดเชื่อมต่อกับทะเลทำให้แม่น้ำได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลซึ่งอิทธิพลดังกล่าวทำให้ยากต่อการสร้างแบบจำลอง ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองและนำแบบจำลองไปใช้ประโยชน์ มีความจำเป็นต้องทำการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ ที่เหมาะสมกับลำน้ำ เพื่อที่จะเป็นพื้นฐานในการนำค่าพารามิเตอร์ไปใช้ในการยืนยันแบบจำลองต่อไป

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลที่ส่งผลกระทบต่อการไหลในลำน้ำ

1.1 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลในการการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลที่มีต่อปัจจัยในการปรับเทียบแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์อย่างเป็นระบบ
2) เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำท่าจีนภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 ขอบเขตพื้นที่ทำการศึกษา

พื้นที่ศึกษา คือ บริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนกลางและตอนล่าง ตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 (3)

รูปที่ 1 บริเวณของแม่น้ำท่าจีนที่ใช้ในการศึกษา(3)

2. ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่พัฒนาโดย DHI Water and Environment เพื่อใช้ในการคำนวณการไหล 1 มิติในแม่น้ำ โดยเป็นแบบจำลองเชิงกายภาพ (Physical Based Model) ซึ่งใช้ข้อมูลทางกายภาพของลำน้ำเป็นข้อมูลนำเข้า โดยข้อมูลนำเข้าประกอบไปด้วยโครงข่ายลำน้ำ (river network) รูปตัดขวางลำน้ำ (cross section) ข้อมูลระดับน้ำหรืออัตราการไหลเบื้องต้นตามเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) (2)

สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าระดับน้ำ (H) และอัตราการไหล (Q) ในทุกตำแหน่งลำน้ำคือ

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0$$

(1)

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{2Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}+\left(g\frac{A}{B}-\frac{Q^2}{A^2}\right)\frac{\partial A}{\partial x}+gA\left(S_f-S_0\right)=0$$

(2)

โดยที่ ο = อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล (ตร.ม.)

t = เวลา (วินาที)

x = ระยะทาง (เมตร)

B = ความกว้างของลำคลอง (เมตร)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที^{2})

S_f = ความเสียดทาน

S_0 = ความลาดเอียงของพื้นคลอง

สมการดังกล่าวเป็นสมการแบบ Non-linear Second Order Partial Differential Equation การแก้สมการดังกล่าวจะใช้วิธีคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Analysis) และ Finite Difference Method เพื่อแก้สมการข้างต้น

2.1 การรวบรวมข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง

การรวบรวมข้อมูลประกอบไปด้วย

1) ข้อมูลทางอุทกวิทยา ประกอบไปด้วยปริมาณการไหล และระดับน้ำรายวันที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา และระดับน้ำที่ประตูระบายน้ำหลักในลำน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2 (3) ในปี พ.ศ. 2551-2552 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมชลประทาน
2) ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ ได้แก่ รูปตัดขวางลำน้ำซึ่งมีจำนวณทั้งหมด 209 รูปตัด ซึ่งรวบรวมได้ในปี พศ.2545 จากกรมชลประทาน
3) ข้อมูลระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนรายชั่วโมงในปี พ.ศ. 2551-2552 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมเจ้าท่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4) ข้อมูลปริมาณการไหลและระดับน้ำรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า T1 (กม.234) ในลำน้ำ ในปี พ.ศ. 2553-2554 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมชลประทาน

3. วิธีการศึกษา

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

3.1 การศึกษาผลของอิทธิพลของระดับน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำที่ส่งผลกระทบต่อการไหลในลำน้ำ

รูปที่ 2 แสดงประตูระบายน้ำหลักในแม่น้ำท่าจีน(3)

การศึกษาเริ่มจากการสร้างแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ของการไหลในลำน้ำโดยมีขอบเขตด้านเหนือน้ำเป็นปริมาณการไหลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยกำหนดใช้ค่าตั้งแต่ 5-705 ลบ.ม./วินาที และขอบเขตด้านท้ายน้ำที่บริเวณปากแม่น้ำเป็นระดับน้ำคงที่ที่ระดับ -0.5, 0.65, และ 1.00 เมตร (รทก.) โดยทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของโค้งการไหลในลำน้ำที่ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่า T1 ทั้งนี้กำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Manning'n ในลำน้ำเท่ากับ 0.035

จากนั้นทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ปริมาณโค้งการไหลในตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่า T1 ที่ได้จากแบบจำลอง กับปริมาณโค้งการไหลที่ได้จากการตรวจวัดโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในปี พ.ศ.2553 และปี พ.ศ.2554 ซึ่งจะแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 ช่วงคือ ในช่วงน้ำแล้งคือในเดือน มกราคม-กุมภาพันธ์ และช่วงน้ำหลากในเดือน กันยายน-ตุลาคม

3.2 การศึกษาการปรับเทียบแบบจำลองสำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ

การศึกษาในขั้นตอนนี้เริ่มจากการจัดเตรียมข้อมูลต่างๆทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ด้วยแบบจำลอง MIKE 11 โดยมีเงื่อนไขในการคำนวณคือปริมาณการไหลรายวันตามเวลาที่ได้จากการสำรวจเป็นขอบเขตด้านเหนือน้ำ และระดับน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำที่ได้จากการสำรวจเป็นขอบเขตด้านท้ายน้ำ

สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning'n ในลำน้ำจะทำการเปรียบเทียบค่าของระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดที่ ปตร.พระพิมล กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองที่ตำแหน่งเดียวกัน เพื่อใช้เป็นเป็นตัวแทนกลางลำน้ำโดยข้อมูลที่จากการตรวจวัดที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบเป็นข้อมูลปริมาณการไหลรายวันของวันที่ 1 เมษายน 2551 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2552

4. การปรับเทียบผลการศึกษา

ในการปรับเทียบผลการศึกษาจะใช้ข้อมูลทางสถิติมาเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบและตัดสินใจประกอบด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นค่าทางสถิติที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรสองตัวแปร มีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 กล่าวคือใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับค่าระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดจริง ดังแสดงได้ตามสมการ

$$CC = \left(\frac{n\sum xy - \left(\sum x\right)\left(\sum y\right)}{\sqrt{\left(\left[n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2\right]\left[n\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2\right]\right)}} \right) \quad (3)$$

เมื่อ y = ระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง

x = ระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด

n = จำนวนชุดข้อมูล

4.2 ค่าความแม่นยำ

ค่าความแม่นยำจะใช้วิธี Root mean square error (RMSE) ซึ่งจะแสดงวิธีคำนวณได้ดังสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x-y)^2}{n}}$$

(4)

4.3 วิธีทาง Goodness-of-fit

ประมาณค่าผลที่ได้จากทางวิธี Goodness-of-fit ประกอบไปด้วย ค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์ Coefficient of determination (R^2) และ Nash coefficient (E) ดังสมการ

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)\left(y_i - \bar{y}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 \times \sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \bar{y}\right)^2} \right)^2 \quad (5)$$

$$E = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - y_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}$$

(6)

ค่าที่ยอมรับได้ของค่าทางสถิติ RMSE และ Nash coefficient (E) ต้องมีมีค่าน้อยที่สุด (เข้าใกล้ 0) และค่าสัมประสิทธิ์ Coefficient of determination (R^2) ต้องเข้าใกล้ 1

5. ผลการศึกษาและวิจารณ์

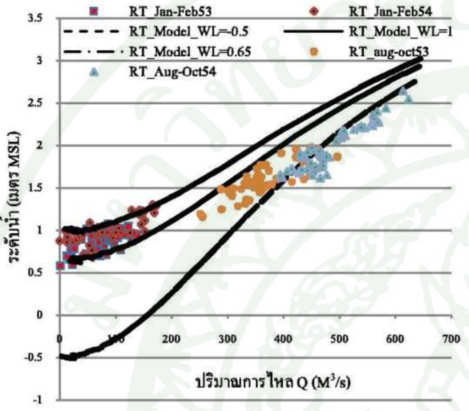
ผลการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ผลของอิทธิพลของระดับน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำที่ส่งผลกระทบต่อการไหลในลำน้ำ และ 2) การปรับเทียบแบบจำลองสำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ

5.1 ผลของอิทธิพลของระดับน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำที่ส่งผลกระทบต่อการไหลในลำน้ำ

จากผลการศึกษาอิทธิพลของระดับน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำที่ส่งผลกระทบต่อการไหลในลำน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลอง MIKE 11 ของแต่ละสภาพเงื่อนไขและพิจารณาการไหลเป็นแบบคงที่ พบว่าถ้าลำน้ำมีการไหลค่อนข้างน้อย (ฤดูแล้ง) การไหลจะอยู่ภายใต้อิทธิพลการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลซึ่งอาจจะทำให้เกิดปรากฏการน้ำเท้อได้ (Black water curve) และถ้าการไหลในลำน้ำค่อนข้างสูง (ในฤดูน้ำหลาก) การไหลในลำน้ำจะได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลลดลง เมื่อระดับน้ำทะเลลดลง ดังแสดงได้ในรูปที่ 3 ซึ่งทำการเปรียบเทียบปริมาณโค้งการไหลของสถานีวัดน้ำท่า T1 กับระดับน้ำด้านท้ายน้ำที่ระดับ -0.50 เมตร, 0.65 เมตร, และ 1.0 เมตร (รทก.) เมื่อระดับน้ำที่ 0.65 เมตร rating curve จะอยู่ใกล้กับปริมาณการไหลที่ต่ำและระดับน้ำท้ายน้ำที่ -0.5 เมตร rating curve จะอยู่ใกล้กับปริมาณการไหลที่มีปริมาณสูง ดังนั้นการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรับเทียบแบบจำลองต้องทำการปรับเทียบภายใต้ระดับน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลด้านท้ายน้ำด้วย



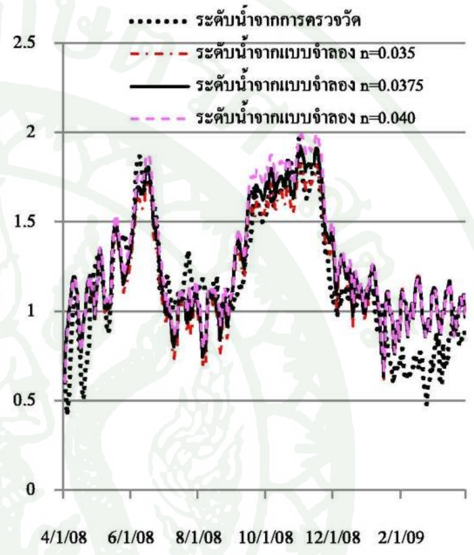
รูปที่ 3 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบ Rating Curve ของสถานีวัดน้ำท่า T1 ภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเล

5.2 การปรับเทียบแบบจำลองสำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำ

จากผลการศึกษาในการขึ้นลงของระดับน้ำด้านท้ายน้ำพบว่าการไหลในลำน้ำเป็นการไหลที่ไม่คงที่ดังนั้นในการปรับเทียบแบบจำลองทางด้านอุทกพลศาสตร์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำจำเป็นต้องอาศัยอิทธิพลของระดับน้ำทะเลเป็นของเขตด้านท้ายน้ำ

ซึ่งในการศึกษาปรับเทียบแบบจำลองจะทำการเปรียบเทียบระดับน้ำที่ประตูระบายน้ำพระพิมลเพื่อใช้เป็นตัวแทนกลางลำน้ำโดยผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด โดยในการศึกษาจะทำการทดลองตามค่าสัมประสิทธิ์ Manning's n ตั้งแต่ 0.030, 0.035, 0.0375, 0.040, 0.045, และ 0.050 ตามลำดับ ดังแสดงตัวอย่างผลการเปรียบเทียบตามรูปที่ 4

และจากผลการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองทุกๆค่าของสัมประสิทธิ์ความขรุขระกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดที่ ปตร.พระพิมล สามารถคำนวณผลการศึกษาจากข้อมูลทางสถิติมาเป็นตัวแทนในการตัดสินใจตามสมการข้างต้น ดังแสดงได้ในตารางที่ 1



รูปที่ 4 เปรียบเทียบระดับน้ำที่ ปตร.พระพิมล n=0.035, n=0.0375, และ n=0.040

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบผลของการปรับเทียบแบบจำลอง

Manning's coefficient (n)	Performance indicates			
	Coefficient of determination (R^2)	Nash coefficient (E)	RMSE	Correlation coefficient (CC)
n=0.030	0.525	0.512	0.252	0.727
n=0.035	0.692	0.684	0.203	0.834
n=0.0375	0.741	0.703	0.197	0.862
n=0.040	0.774	0.678	0.205	0.881
n=0.045	0.816	0.501	0.255	0.903
n=0.050	0.837	0.162	0.3310	0.914

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่าการไหลในลำน้ำที่ได้รับอิทธิพลของการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลด้านท้ายน้ำจะเป็นการไหลไม่คงที่ขึ้นอยู่กับการลดลงของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระดับน้ำทะเล ดังนั้นในการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำในแม่น้ำท่าจีน ซึ่งเป็นลำน้ำธรรมชาติจะมีค่าสัมประสิทธิ์ n=0.0375 โดยจะให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติของ R^2 ,E, RMSE, และCC เท่ากับ 0.741, 0.703, 0.197, และ0.862 ตามลำดับ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้เป็นพื้นฐานในการปรับเทียบแบบจำลองของแม่น้ำที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเล และในการวิเคราะห์ทางอุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำท่าจีนจะสามารถนำค่าที่ได้จากการปรับเทียบในครั้งนี้มาใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลองในการศึกษาครั้งต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการตีพิมพ์จาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมเจ้าท่า สำนักอุทกวิทยาภาคตะวันตก ที่อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษา และขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ม.เกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับและคำที่ปรึกษาตลอดการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] นาฝีซ๊ะ เก็มเด็น, ธิดารัตน์ บุญศรี, มารุต ราชมณี, ชัยยุทธ ชินณะราศี, 2554. การวิเคราะห์สภาพชลศาสตร์ในอ่าวไทยตอนบน. การประชุมวิชาการแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 4 , เล่มที่ 2 : หน้า 90-97

[2] ไอศวรรย์ ชั้นกาญจน์, สุรเจตส์ บุญญาอรุณเนตร, วรวิทย์ มีสุข, รอยล จิตรดอน 2552. การวิเคราะห์สภพการไหลในคลองมหาชัยและคลองหลวง จ.สมุทรสาคร. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14 , เล่มที่ 2: หน้า1287-1292.

[3] ชุติมันต์ ปรัชญาโณทัย, 2545. การพยากรณ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำท่าจีนตอนล่างโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[4] วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ, นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, .2551การประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ RMA-10 ในการจำลองการไหลแบบ 2มิติของ แม่น้ำKatherine ประเทศออสเตรเลีย, การประชุมวิชาการงานเกษตรกำแพงแสนครั้งที่ 5 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

[5] วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ, ดวงนภา วานิชสรรพ์, 2553. การประยุกต์ใช้แบบจำลองชลศาสตร์และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อสร้างแผนที่น้ำท่วมในลุ่มน้ำวัง.การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15 , เล่มที่ 2

[6] Niranjan Pramanik, Rabindra Kumar Panda, Dhrubajyoti Sen, 2010. One Dimensional Hydrodynamic Modeling of River Flow Using DEM Extracted River Cross-sections. Water Resour Manage (2010) 24:835-852

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PAWEES 2012 International Conference
Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia
27-29 November 2012, Thailand

A Study on Drainage Efficiency of Shortcut Canal Project in the Lower Tha Chin River

Nuttawut Intaboot· Wisuwat Taesombat

Abstract The lower Tha Chin River is often flooded caused by the nature of the river is very meander and its slope is very flat. Flooded water can destroy agricultural areas and habitation which are situated nearby the river bank. Thus, this study aims to apply the hydrodynamic model namely MIKE11 in order to simulate and analyze flow circulation and establish flood mitigation approach for this river. The model calibration and verification were found that the suitable Manning'n values have a range between 0.035-0.062 along each river cross section. These calibrated data has then been applied to the model for flow simulation in a case of the shortcut canal project constructed in the lower Thachin River due to establish flood mitigation approach. It found that the water level comparison between before and after constructed the canal are reduce with a maximum water level around 0.188 meters and an average water level for all section is 0.075 meters. In the lower portion of Thachin River between km.32+000 to km.152+000, water levels are reduced with an average value around 0.120 meters and ranging between 0.007 to 0.188 meters. Regards to the flow rate after constructed the canal, it found that the canal can help to drain river flow to downstream portions with a maximum flow rate around 128.72 m^3/s, a flow rate is increased with an average value around 5.23 m^3/s or 452,000 m^3/day. Regards to the time for drain the peak flood after constructed the canal, it found that the drainage time is reduce with an average value around 1.67 hr. and ranging between 1 to 3 hr. In summary, the shortcut canal project can help faster drainage and mitigate flooding for this river.

Keywords Hydrodynamic Model, MIKE 11 model, Flood Mitigation, Shortcut Canal Project

Nuttawut Intaboot (✉)
Doctoral Student Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhonpathom 73140 (Nuttawut_took@hotmail.com)

Wisuwat Taesombat
Lecturer Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhonpathom 73140 (fengwwt@ku.ac.th)

1 Introduction

The lower Tha Chin River is often flooded caused by the nature of the river is very meander. This can destroy agricultural areas and home of people which are living in the area are numerous and often every year. Flooding was due in part to changes in land use and upstream areas and the expansion of the urban drainage area is not enough. The growth of the community to make a solid surface, for example, road surfaces, roofs, etc., so that the runoff coefficient increases. Runoff is water that's faster and better. In addition, land reclamation and construction of certain public utilities are affected by drainage.

In addition to the lack of effective drainage flooding in urban areas, the problem is caused by the lack of effective drainage in Tha Chin River too. The drainage in the river has been slow. Due to the lower Tha Chin River has bend very much to make the drainage to the sea is slow. Result of raising the water level to rise, which can cause flooding.

Therefore, this research aims to study the proper drainage of the Tha Chin River by adding shortcut canals to the main areas. And the hydrodynamic model MIKE 11 was applied to the analysis of the flow in the river to study the shortcut canals to alleviate flooding in the basin.

2 Study Area

Study area is the area of the middle and lower Tha Chin River from Pho Phraya regulator Muang Suphanburi down to the mouth of the river Muang Samut Sakhon province, a total distance of 202 km, as shown in Fig. 1 (Nuttawut et al. 2012)

From Fig. 1 it is observed in the lower part of the river is a tributary of the zigzag. The river meanders through the natural drainage will result in slow, causing water levels to rise and cause flooding. Therefore the study was conducted in a short canal in the river bend to reduce the distance and the time to drain the water in the river.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PAWEES 2012 International Conference
Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia
27-29 November 2012, Thailand

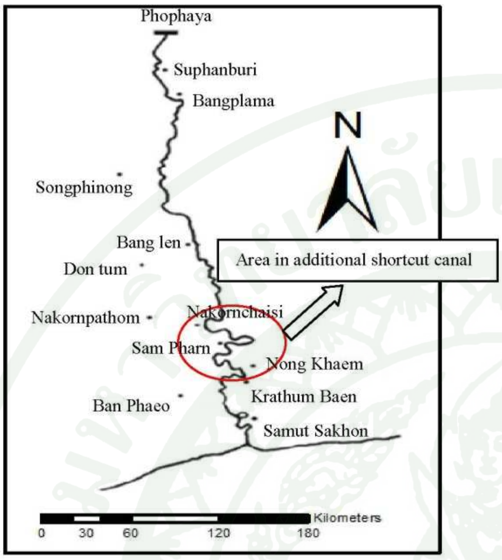


Fig. 1 Map of Tha Chin River in the study

Created by adding the shortcut canal in the Tha Chin River are: 1) Ngew Rai canal, Nakhon Pathom Nakhon Chai Si, 2) Thong Ka nong canal, Nakhon Pathom Sampran, 3) Tha Kham canal, Nakhon Pathom Sampran, as shown in Fig. 2

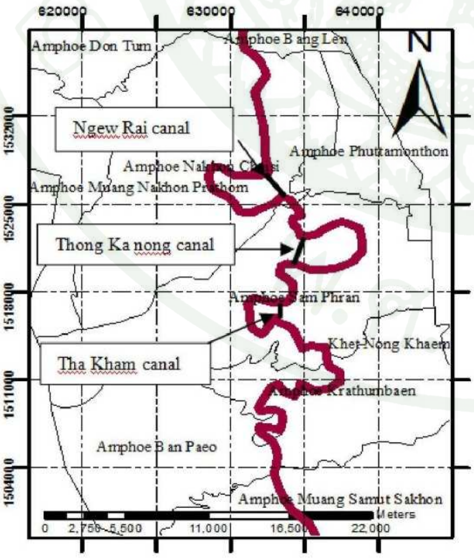


Fig. 2 The proposed shortcut canals in the Tha Chin River

3 Data collection and Model Calibration Indicator

3.1 Data collection

1) Hydrological data, including flow rates, daily water level on the Pho Phraya regulator and at the main regulator in the river as shown in Fig. 3, which was collected in 2007-2008 from the Royal Irrigation Department.

2) The physical characteristics data of the river including a cross-section, which has a total of 209 sections, which was collected in 2002 from the Royal Irrigation Department.

3) Sea level at the mouth of the Tha Chin River in the year 2007-2008, which collected hourly from the Marine Department.

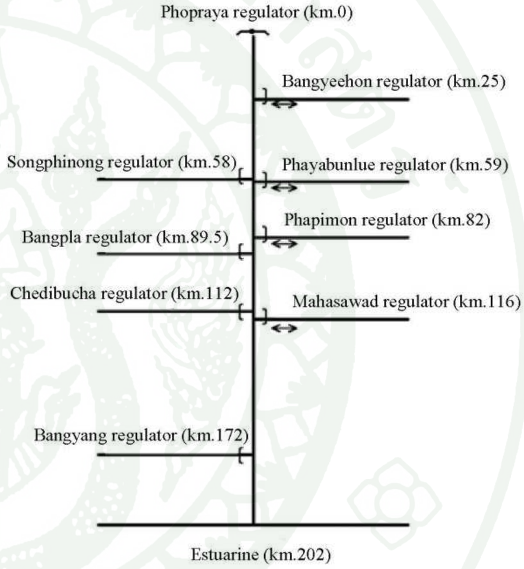


Fig. 3 Main regulator in the Tha Chin River

3.2 Model Calibration Indicator

The calibrated model will be used for statistical comparisons and decisions are represented.

Accuracy is a Root mean square error (RMSE), which is calculated using the equation.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x-y)^2}{n}} \tag{1}$$

The results of the estimation method, goodness-of-fit with the parameter coefficient of determination (R^2) and Nash coefficient (E) which is calculated using the equation.

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)\left(y_i - \bar{y}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)^2 \times \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \bar{y}\right)^2}} \right)^2 \tag{2}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$E = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} \quad (3)$$

Where y = the water level of the model (m)
x = the water level of the measurement (m)
$\bar{y}$ = average water level of the model (m)
$\bar{x}$ = average water level of the measurement (m)
i = Sequence data
n = number of data

Acceptable values of the test statistic RMSE and Nash coefficient (E) be the minimum value (close to 0) and the coefficient of determination (R^2) is close to 1 (Nuttawut et al. 2012).

4 MIKE 11 Hydrodynamic model

In this study, a mathematical model MIKE 11 is the historical model developed by DHI Water Environment and Health, to be used in the calculation of the one-dimensional flow in the river. The model is physical base model and the input data consists of a river network, cross section, water level or flow rate of the initial boundary conditions. The mathematical equations used to calculate the water level (H) and flow rate (Q) is in the river.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x} + \left(g\frac{A}{B} - \frac{Q^2}{A^2}\right)\frac{\partial A}{\partial x} + gA\left(S_f - S_0\right) = 0 \quad (5)$$

Where Q = flow rtae (m^3/s)
A = cross section (m^2)
t = time (s)
x = distance (m)
B = canal width (m)
g = gravity acceleration (m/s^2)
S_f = energy slope (h_L/L)
S_0 = canal slope

The equations such as equation Non-linear Second Order Partial Differential Equation solver is used to compute numerical methods (Numerical Analysis) and Finite Difference Method for Solving the above equation (Nuttawut et al. 2012).

5 The results of model calibration.

To model and analyze the flow of water necessary to start from the calibrated model to determine the coefficient of roughness the river or Manning's n appropriate to the selected position is used to calibrate the three positions are with the Bangyeehon regulator (km.25) to represent the upstream river, the Phapimol regulator (km.82) to represent the middle river, and the Mahasawat regulator (km.116) to represent the downstream river. Which is results of the calibration for each position regulator is determined from the roughness coefficient at different the river. The upper of river is the steep terrain above the bottom of the river. The roughness coefficient upstream is lower than downstream.

To calibrate the model, the Bangyeehon regulator try to start the river roughness coefficient from 0.030 to 0.045, as shown by the comparison in Table 1 and Fig. 4, the position of the Phapimol regulator are beginning to experiment the river roughness coefficient from 0.035 to 0.05, as shown by the comparison in Table 2 and Fig. 5, where the Mahasawat regulator are beginning to experiment the river roughness coefficient from 0.045 to 0.07, as shown by the comparison in Table 3 and Fig. 6.

Table 1 Result comparisons of the calibration model at the Bangyeehon regulator.

Manning's coefficient (n)	Performance indicates		
	Coefficient of determination (R^2)	Nash coefficient (E)	RMSE
n=0.030	0.7944	0.7475	0.4923
n=0.033	0.7914	0.7782	0.4614
n=0.0350	0.7889	0.7860	0.4533
n=0.0375	0.7853	0.7834	0.4560
n=0.040	0.7814	0.7691	0.4708
n=0.045	0.7728	0.7116	0.5262

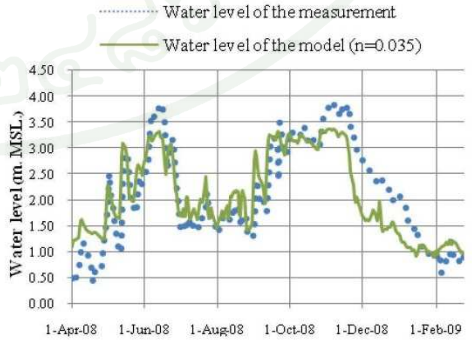


Fig. 4 Water level comparisons at the Bangyeehon regulator n=0.035

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

PAWEES 2012 International Conference
Challenges of Water & Environmental Management in Monsoon Asia
27-29 November 2012, Thailand

Table 2 Result comparisons of the calibration model at the Phapimol regulator

Manning's coefficient (n)	Performance indicates		
	Coefficient of determination (R^2)	Nash coefficient (E)	RMSE
n=0.035	0.5939	0.5916	0.2351
n=0.0375	0.6256	0.6185	0.2272
n=0.04	0.6509	0.6352	0.2222
n=0.045	0.6939	0.6456	0.2190
n=0.0475	0.7119	0.6379	0.2213
n=0.05	0.7276	0.6207	0.2266

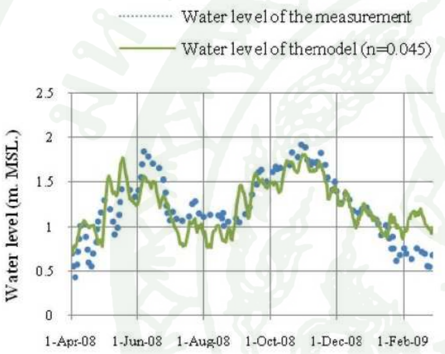


Fig. 5 Water level comparisons at the Phapimol regulator n=0.045

Table 3 Result comparisons of the calibration model at the Mahasawat regulator

Manning's coefficient (n)	Performance indicates		
	Coefficient of determination (R^2)	Nash coefficient (E)	RMSE
n=0.05	0.5625	0.3542	0.1886
n=0.058	0.6009	0.4039	0.1812
n=0.06	0.6087	0.4082	0.1805
n=0.062	0.6159	0.4089	0.1804
n=0.065	0.6255	0.4029	0.1813
n=0.07	0.6381	0.3716	0.1860

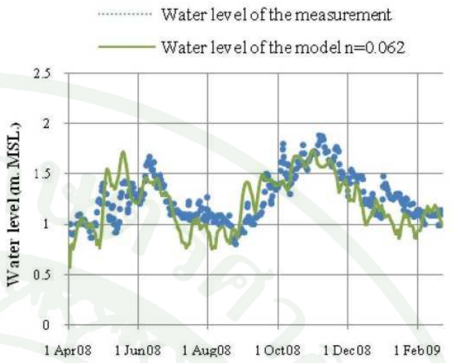


Fig. 6 Water level comparisons at the Mahasawat regulator n=0.062

The results of the comparison, as shown above to determine the best roughness coefficient of the river is found, the river or the Bangyeehon regulator has roughness coefficient of 0.035, Phapimol regulator has roughness coefficient of 0.045 and the Mahasawat regulator has roughness coefficient is 0.062, which is the best channel roughness coefficient is corresponding with the real nature of the river as well. Because to the nature of the lower river is very meanders. It made to the flow is not convenient and it made to water level in the river high. This resulted in the roughness coefficient of the river increased from upper part to lower part of the river.

6 Effect of proposed shortcut canal to help alleviate flooding.

Flood events from the past to present have resulted in damage to both life and property are numerous. Therefore, in order to minimize the damage of flood has been proposed canal shortcuts in the river by the design of the canal shortcuts such as a trapezoid with width surface canal 150 meters deep 10 meters wide the bottom canal 50 meters in the all position, as shown by the shortcut canal in Fig. 7.

The study found that when compare water level of the Tha Chin River before and after the shortcut canal in the river. The water level has decreased maximum 0.188 meters and average 0.075 meters. Area of the Tha Chin River from km.32 +000 to km.152 +000 the water level has decreased average 0.120 meters and the water level decline is in the range of 0.007 to 0.188 meters, as shown in Fig. 8 and Table 4.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

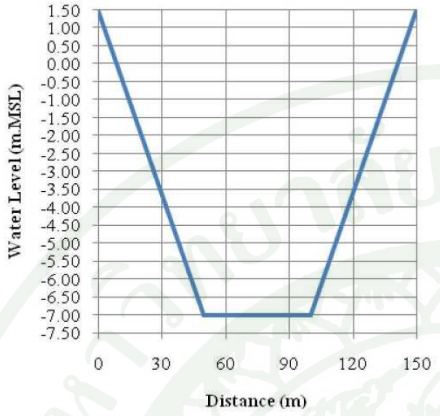


Fig. 7 The cross-section of shortcut canal used in the study.

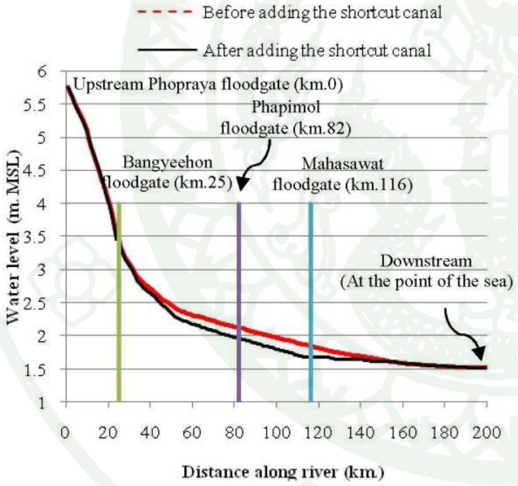


Fig. 8 Water level comparisons in the Tha Chin River before and after constructed the shortcut canal.

The river drainage after adding the shortcut canal is to help a good drainage. The flow rate of the canal shortcuts has maximum 128.72 cubic meters per second or increase an average of 5.23 cubic meters per second, about 452,000 cubic meters per day, as shown in Fig. 9 and Table 4. For the time to drainage of the flood wave after a short canal project has fallen average 1.67 hour and in ranged 1 to 3 hours.

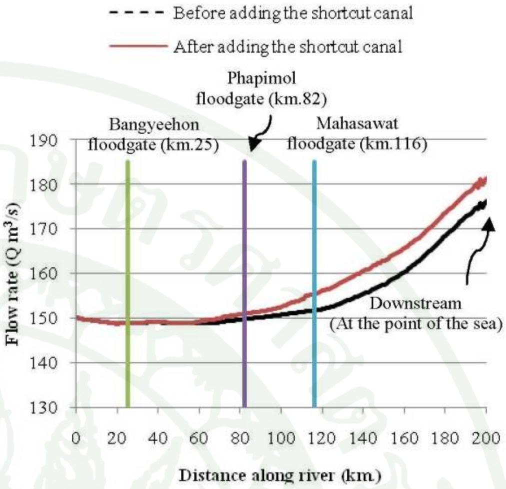


Fig. 9 Flow rate comparisons of the Tha Chin River drainage before and after construct shortcut canal

Table 4 Comparison of the effects of changes in water levels and flow rates after a short canal project.

Distance (km.)	water level decrease (m)
0+000 to 23+070	0.00-0.026
23+070 to 43+000	0.026 - 0.081
43+000 to 63+000	0.081 - 0.140
63+000 to 111+940	0.140 - 0.188
111+940 to 125+000	0.188 - 0.098
125+000 to 149+000	0.098 - 0.027
149+000 to 201+000	0.027 - 0.00
Average	0.075

Distance (km.)	Difference of the flow rate (m^3/s)
0+000 to 54+480	0.00 – 0.012
54+480 to 67+500	0.003 - 0.877
67+500 to 78+500	0.877 – 1.169
78+500 to 101+500	1.169 – 1.915
101+500 to 127+500	1.915 – 4.469
127+500 to 155+500	4.469 – 5.299
155+500 to 200+500	5.299 – 5.064
Average	5.23

7 Conclusion

The study of river flow would be necessary to calibrate the model to determine the roughness coefficient of the river. The analysis of calibration model was found in the upstream river; at the Bangyeehon regulator have the roughness coefficient Manning'n 0.035, in the middle of the river at the Phapimol regulator have the roughness coefficient

Manning'n 0.045 and the lower part of the river at the Mahasawat regulator have the roughness coefficient Manning'n 0.062, which gives the best statistics determination in along the river. Which is the best channel roughness coefficient is corresponding with the real nature of the river as well. Because to the nature of the lower river is very meanders. It made to the flow is not convenient and it made to water level in the river high. This resulted in the roughness coefficient of the river increased from upper part to lower part of the river

Due to the nature of the lower Tha Chin river is very meanders, the water is going to be slow, so it offers the shortcut canal in the lower Tha Chin River to improve performance of the drainage. After adding the shortcut project the result in improved drainage from km.32+000 to km.152+000 with an average water decrease of 0.120 meters and in the range of 0.007 to 0.188 m.

The drainage in the river after add the shortcut project, the project contribute to the good drainage. The drainage has maximum rate of discharge of the canal shortcuts to 128.72 cubic meters per second, or will increase an average of 5.23 cubic meters per second, about 452,000 cubic meters per day. For the time to drain of the flood wave after the shortcuts found to have decreased an average of 1.67 hours and in the range 1 to 3 hours, so the canal shortcuts that a good drain and has contributed significantly the flood in the Tha Chin River.

Acknowledgment

This study was funded by the Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University. The authors would like to thank the relevant departments namely Royal Irrigation Department, and Marine Department, for providing all of information in the study. And thank to the lecturers of the Department of Irrigation Engineering which provide support and advice throughout the study.

References

Chutimun Pradyanothai (2002) Water Quality Prediction in Lower Thachin River by MIKE 11 Model. Master Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Danish Hydraulic Institute (2007) MIKE 11 General Refference Manual .

Danish Hydraulic Institute (2007) MIKE 11 User’s Guide.

Keeratikan Nakeesin, Chorkwan Mansan (2012) The Study of River Flow Modelling in Thachin River by using MIKE11 Model. Engineering Project Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University Kamphaengsaen Campus, Nakornpathom.

Nuttawut Intaboot, Wisuwat Taesombat (2012) The study of hydrodynamic model calibration in Tha Chin River of tidal effect. The 17th National Convention on Civil Engineering NCCE 17.

Varawoot Vudhivanich (2010) Analysis model accuracy by using Nash-Sutcliffe Efficiency and R2.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

A comparatives study of the suitable cross sectional shape of shortcut canal for increasing drainage efficiency in the lower portion of Thachin River

Nuttawut Intaboot[1], Wisuwat Taesombat[2]

[1] Doctoral Student Department of Irrigation Engineering,
Faculty of Engineering at Kamphaengsaen Kasetsart University
Nakornpathom Campus73140 (Nuttawut_took@hotmail.com)
[2] Lecturer Department of Irrigation Engineering,
Faculty of Engineering at Kamphaengsaen Kasetsart University
Nakornpathom Campus73140 (fengwwt@ku.ac.th)

Abstract: This study aims to determine the optimal cross sectional shape of the proposed shortcut canal project in order to increase drainage efficiency in lower portion of Thachin River. First, an analysis of surface paving canal was determined. The hydrodynamic model namely MIKE11 model applied to determine drainage efficiency in the lower portion of Thachin River in every hydraulic condition. It was found that a percent of discharge difference between surface paving canal and none surface paving canal has an average values around 5%, which is a little increase in valves when compared to the time and cost of construction. Therefore, the determination of the optimal cross section shape is considered on none surface paving canal. An analysis of suitable cross sections was later based on the best hydraulic section method. The study found that a trapezoidal shape gave more drainage efficiency than a rectangular shape and un-design shape which did not base on the best hydraulic section method in average values around 28% and 34.4% respectively. In conclusion, to maximize the drainage efficiency, it should consider on a cross section design based on the best hydraulic section method. The trapezoidal shape would be the best cross sectional shape for increasing drainage efficiency comparing with any cross section shapes which did not design based on this method.

Keywords: Hydrodynamic Model, Best Hydraulic Section Method, Shortcut Canal Project, Thachin River

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การรุกล้ำของความเค็ม และการแพร่กระจายความเค็มตามความยาวของลำน้ำในแม่น้ำท่าจีน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

Longitudinal Salinity Intrusion and Dispersion along the Thachin River Due to Sea Level Rise

ณัฐวุฒิ อินทบุตร[1]และวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ[1]*

Nuttawut Intaboot[1] and Wisuwat Taesombat[1]*

ABSTRACT

This study was aimed to investigate the effect of the rise in the sea level in the upper Gulf of Thailand on the salinity intrusion into the Thachin River. The mathematical model was applied to forecast the longitudinal salinity intrusion and dispersion in the river. The result of advection-dispersion model showed that the diffusion coefficient calibrated from the year 2010 data was 400 square meters per second. The study of sea level change revealed that the average sea level rise in the estuarine was higher than those in other parts of the Gulf in which the value was approximately 3.1 mm/year and corresponded to the world wide rate of sea level rise. While in the estuarine was around 19.2 mm/year. This high sea level rise was mainly caused by land subsidence of about 14.5 mm/year. Thus, the sea level rises by the sea itself was around 4.7 mm/year. The large rate of the sea level rises would cause salinity to intrude into the river to a longer distance. The predicted salinity intrusion in the year 2015, 2020 and 2025 indicated that the salinity would intrude as far as 55 river km from the estuarine which would be around 3 km further upstream along the river than the current intrusion distance. The salinity intrusion would affect the agricultural area along the river. Therefore, it is necessary to later develop the measure for the control of salinity in order to minimize sea level rise impact.

Key word: Advection-Dispersion Model, Salinity Intrusion, Thachin River, Sea Level Rise

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, NakhonPathom 73140, Thailand.

[*] Corresponding author: Tel. 0-86383-3289, Fax. 0-3435-1404, E-mail address: fengwwt@ku.ac.th

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนที่มีผลต่อการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์การแพร่กระจายตามแนวยาวลำน้ำและการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน ผลการศึกษาจากแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายพบว่าแม่น้ำท่าจีนมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเท่ากับ 400 ตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งได้จากข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2553 และผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นในบริเวณปากแม่น้ำจะสูงกว่าระดับน้ำทะเลในบริเวณอื่นของอ่าวไทยซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลประมาณปีละ 3.1มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลทั่วโลก โดยบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลประมาณปีละ 19.2 มิลลิเมตร ซึ่งค่าดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดจากผลกระทบของการทรุดตัวของแผ่นดินประมาณ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงจึงคิดเป็นประมาณ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลดังกล่าวจะทำให้ค่าความเค็มรุกล้ำไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้น ผลการพยากรณ์การรุกล้ำของความเค็มในอนาคตของปี พ.ศ. 2558 2563 และ 2568 พบว่าค่าความเค็มจะรุกล้ำเข้าไปเป็นระยะทางสูงสุด 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำโดยคิดเป็นระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากสภาพปัจจุบัน 3 กิโลเมตรตามแนวยาวลำน้ำ ค่าความเค็มที่รุกล้ำดังกล่าวนี้จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่เกษตรกรรมริมสองฝั่งแม่น้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหามาตรการในการควบคุมความเค็มเพื่อลดผลกระทบต่อไป

คำสำคัญ: แบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจาย, การรุกล้ำของความเค็ม, แม่น้ำท่าจีน, การเพิ่มขึ้นระดับน้ำทะเล

คำนำ

ลุ่มน้ำท่าจีนเป็นลุ่มน้ำที่สำคัญอันดับสองรองจากลุ่มน้ำเจ้าพระยาในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลาง มีการใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การประมง การชลประทานและอื่นๆ ในลุ่มน้ำมีแม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำสายหลักที่ไหลผ่านลุ่มน้ำดังกล่าว โดยไหลผ่านจังหวัดชัยนาท สุพรรณบุรี นครปฐม ไปลงอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสาคร ในอดีตแม่น้ำท่าจีนนับว่าเป็นลำน้ำสายหนึ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ สามารถหล่อเลี้ยงพื้นที่ทำนา ทำสวน และทำไร่ ในบริเวณสองฝั่งลำน้ำเป็นอย่างดีรวมทั้งเป็นแหล่งอาหาร และเป็นเส้นทางคมนาคมทางน้ำให้ประชาชนได้อาศัยสัญจรไปมา (กรมชลประทาน, 2541 ก.) ปัญหาความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำและการรุกล้ำของน้ำเค็มในแม่น้ำท่าจีนโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณตอนล่างของแม่น้ำก่อนที่ระบายออกสู่อ่าวไทยเป็นปัญหาที่นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้นเพราะมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้ประโยชน์ลำน้ำและระบบนิเวศโดยจะเริ่มมีปัญหาตั้งแต่พื้นที่ชายทะเลขึ้นไป ปัญหาแรกคือการขาดแคลนน้ำจืดเพื่อใช้ทำการเกษตรในฤดูแล้งโดยมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร ปัญหาต่อมาก็คือการรุกล้ำของน้ำเค็มเข้าไปตามแม่น้ำท่าจีน มีระยะทางยาวขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายแก่พื้นที่การเกษตรบริเวณสองฝั่งของลำน้ำ(กรมชลประทาน, 2541 ข.)โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมกราคมถึงพฤษภาคมจะเกิดการรุกล้ำของน้ำเค็มเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการขาดแคลนน้ำจืดในการผลักดันน้ำเค็ม

นอกจากนี้ทั่วโลกยังประสบกับปัญหาของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่นับวันยิ่งมีความรุนแรงมากขึ้น โดยผลกระทบดังกล่าวจะมีความรุนแรงแตกต่างกัน แล้วแต่ตำแหน่งที่ตั้งถิ่นฐานของประชากรในแต่ละประเทศ ซึ่งแนวโน้มของประชากรจะมีทิศทางการย้ายถิ่นฐานมายังชายฝั่งทะเลทำให้ปัจจุบันประชากรประมาณร้อยละ 60 ของโลกอาศัยอยู่ในระยะไม่เกิน 60 กิโลเมตรจากแนวชายฝั่ง และพื้นที่ที่มีประชากร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หนาแน่นจะอยู่ที่บริเวณที่ราบลุ่มปากแม่น้ำ (อิทธิ และคณะ, 2551) พื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีนเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงอย่างยิ่งกับปัญหาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นเช่นการกัดเซาะชายฝั่งซึ่งเป็นปัญหาที่กำลังเกิดขึ้นทั่วทั้งโลก สภาพน้ำท่วมหรือน้ำเค็มที่รุกล้ำเข้ามาในแผ่นดินมากขึ้นและเป็นเวลานานขึ้น การปนเปื้อนของน้ำเค็มในน้ำใต้ดินระบบนิเวศตลอดจนสภาพสมดุลทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมชายฝั่งที่จะเปลี่ยนไป ส่งผลต่อเนื่องอย่างกว้างขวางและหลีกเลี่ยงไม่ได้ต่อการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์และสภาพเศรษฐกิจและสังคมจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งอาจจะส่งผลกระทบที่รุนแรงขึ้นในอนาคตได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีเป้าหมายที่จะศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน พร้อมกับวิเคราะห์ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีผลต่อการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนโดยประยุกต์แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์และพยากรณ์การแพร่กระจายความเค็มตามความยาวลำน้ำและการรุกล้ำของความเค็มในแม่น้ำเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนจัดการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีนต่อไป

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน

ในการศึกษาบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำพบว่าคุณภาพน้ำและความเค็มของน้ำในแม่น้ำมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการรุกล้ำของน้ำเค็มจากมหาสมุทรเข้าไปในแม่น้ำ ซึ่งการรุกล้ำของน้ำเค็มนี้จะขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำในปัจจุบันระดับน้ำทะเลทั่วโลกได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นผลจากปัจจัยต่างๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งปรากฏการณ์ El Niño-Southern Oscillation (ENSO) จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนและเมื่อทำการคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลจากแบบจำลองทางสถิติพบว่าระดับน้ำทะเลจะมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 3.3-5.0 มิลลิเมตรต่อปี (Becker *et al.*, 2011) ในรอบ 15 ปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2536-2551 ระดับน้ำทะเลทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าประมาณ 3.1 ± 0.1 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น การขยายตัวของน้ำทะเลเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของมหาสมุทร และปริมาณน้ำที่ไหลลงมหาสมุทรเนื่องจากธารน้ำแข็งขั้วโลกและภูเขาน้ำแข็งเกิดการละลาย (Cazenave *et al.*, 2008)ยิ่งไปกว่านั้น การเคลื่อนที่ทางดิ่งของแผ่นดินในบริเวณที่ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีสำรวจข้อมูลจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลด้วย (Fenoglio-Marc *et al.*, 2011)

การศึกษาของนักวิจัยต่างๆที่ผ่านมาสามารถชี้ให้เห็นว่าปัจจุบันโลกกำลังประสบกับปัญหาที่เกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งมีผลกระทบที่ตามมาคือทะเลจะมีคลื่นสูงและรุนแรงขึ้นเนื่องจากมหาสมุทรมีการเพิ่มของระดับน้ำ คลื่นที่รุนแรงนี้จะส่งผลกระทบต่อชายฝั่ง และสิ่งปลูกสร้างในทะเล และนอกเหนือจากคลื่นลมแรงแล้ว การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลยังส่งผลทำให้เกิดน้ำท่วมใหญ่อีกด้วย (Chini *et al.*, 2010)

งานวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในส่วนของประเทศไทยที่ผ่านมามีผลการศึกษาที่ขัดแย้งกันอยู่โดยการศึกษาของสมมาตรและอิทธิ (2550) ซึ่งใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายปีช่วงระหว่างปี พ.ศ.2483 ถึงพ.ศ. 2546 พบว่าระดับทะเลในอ่าวไทยมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยประมาณ 0.22-0.81 มิลลิเมตรต่อปี ส่วนที่เกาะหลัก จ.ชุมพรระดับน้ำทะเลมีค่าลดลงด้วยอัตรา 0.5 มิลลิเมตรต่อปีซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Neelasri *et al.*(1998) ซึ่งใช้ข้อมูลในช่วงปีพ.ศ. 2506-2530 จากสถานีวัดระดับน้ำทะเลสัตหีบ และสถานีเกาะหลักพบว่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยกำลังลดลงด้วยอัตรา 0.3 และ 0.6 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาโดย Vongvisessomjai (2006) ซึ่งพบว่าระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่คำนวณจากข้อมูลจากการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เก็บเป็นเวลา 56 ปีในช่วงปีพ.ศ.2483-2539 ของสถานีวัดระดับน้ำสัตหีบและสถานีเกาะหลักกำลังลดลงอย่างช้าๆด้วยอัตราประมาณ 0.36 มิลลิเมตรต่อปี อย่างไรก็ตามตัวเลขของงานวิจัยทั้ง3ชิ้นขัดแย้งกับตัวเลขที่ได้ทำการศึกษาโดย อิทธิ (2548) ซึ่งใช้ข้อมูลระดับน้ำทะเลที่ของสถานีเกาะหลักและข้อมูลจาก Satellite Altimetry ในช่วงปี พ.ศ.2536-2545 พบว่าระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยกำลังเพิ่มขึ้นด้วยอัตราประมาณ 1.5 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในบริเวณน่านน้ำของประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ ประเทศมาเลเซียรายงานว่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ยกำลังเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 2.4 มิลลิเมตรต่อปี ในขณะที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยของเวียดนามเพิ่มขึ้นในอัตรา 1.75-2.56 มิลลิเมตรต่อปี (อิทธิและคณะ,2551)

สำหรับน่านน้ำที่ไม่ได้มีอาณาบริเวณกว้างใหญ่มากอย่างเช่นอ่าวไทยและทะเลจีนใต้มีความเป็นไปได้น้อยมากที่บางบริเวณจะมีระดับน้ำลดลงและการที่อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษาต่าง ๆที่กล่าวมาข้างต้นแตกต่างกันเกิดจาก 2 ปัจจัยหลักได้แก่จำนวนปีของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณและการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของแผ่นดิน (Vertical Motion) ณ บริเวณสถานีวัดระดับน้ำที่เกิดจากปัจจัยต่างๆคือ การดีดกลับของเปลือกโลกหลังยุคน้ำแข็ง การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก (ทั้งทางราบและทางดิ่ง) การทรุดตัวและยกตัวอันเนื่องมาจากการสูบน้ำบาดาลไปใช้ (อิทธิและคณะ, 2551)

ดังนั้น อิทธิและคณะ (2551) จึงได้ทำการศึกษาถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยโดยนำเอาอัตราการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นดินที่ตรวจจับได้โดยเทคนิคการประมวลผลจุดเดี่ยวความเที่ยงตรงสูงจากข้อมูลGPS ระหว่าง ปีพ.ศ. 2537-2547 ที่ได้จากสถานีรังวัดสองแห่งในชุมพรและชลบุรีมาปรับแก้อัตราสัมพัทธ์ของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่คำนวณจากข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำเกาะหลักและสัตหีบโดยค่าที่ประมวลผลได้บ่งชี้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยอยู่ที่ 1.9 ± 0.6 มิลลิเมตรต่อปีที่เกาะหลัก และ 5.1 ± 2.0 มิลลิเมตรต่อปีที่สัตหีบโดยค่าที่สถานีวัดระดับน้ำสัตหีบที่สูงกว่าเกาะหลักเป็นอย่างมากอาจเป็นผลมาจากการทรุดตัวของบริเวณสถานีสัตหีบเองที่โครงสร้างไม่ได้อยู่บนชั้นหินดังเช่นสถานีเกาะหลักและอยู่ใกล้พื้นที่เมืองและนิคมอุตสาหกรรมซึ่งมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้

จากการศึกษาของคงวัฒน์ (2551) ในเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในน่านน้ำไทย โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำที่มีระยะเวลานาน 15-45 ปี จำนวน 6 สถานี คือ สถานีแหลมสิงห์ หัวหิน เกาะมัตโพน เกาะปราบทับละมุ และตะรุเตา แนวโน้มเชิงเส้นของระดับน้ำเฉลี่ยรายปีแสดงการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลค่อนข้างชัดเจนตั้งแต่ พ.ศ.2535-พ.ศ.2550 ระดับน้ำทะเลในน่านน้ำไทยเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 3 - 6 มิลลิเมตรต่อปีข้อมูลระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาที่หน้ากองบัญชาการกองทัพเรือมีระยะเวลา 67 ปีระดับน้ำเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มเชิงเส้นสูงขึ้นตามระยะเวลาโดยเฉพาะตั้งแต่ พ.ศ.2516 ถึงปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นประมาณ 4.3 มิลลิเมตรต่อปีและปีที่มีค่าระดับน้ำเฉลี่ยสูงจะสัมพันธ์กับปริมาณฝนที่ตกชุกในภาคเหนือและภาคกลางของประเทศไทย

และจากการทบทวนผลการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ตรวจวัดได้นอกจากจะเป็นการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเองแล้ว ยังได้รับผลกระทบมาจากการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นดิน ซึ่งกระทำต่อจุดที่ตั้งของสถานีตรวจวัดระดับน้ำ จากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) พบว่าบริเวณจังหวัดชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน ประกอบด้วย สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร และสมุทรปาการ มีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง ในตลอดระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้เป็นจำนวนมาก โดยเหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Trisirisatayawong (2011) ซึ่งได้ทำการสำรวจและวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าเกิดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่สถานีวัดระดับน้ำเท่ากับ 12.6 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีสันดอนกรุงเทพ และเท่ากับ 14.8 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีป้อมพระจุล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำอย่างมากดังกล่าวเกิดจากการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำเองด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในครั้งนี้จึงได้พิจารณาวิธีการวิเคราะห์ในแนวทางของอิทธิ (2548), อิทธิและคณะ (2551) และTrisirisatayawong (2011)ซึ่งใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติแบบ Linear Regression ของข้อมูลค่าระดับน้ำทะเลเฉลี่ยรายปีบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนที่ตรวจวัดโดยกรมเจ้าท่าพร้อมทั้งพิจารณาการปรับแก้ด้วยค่าการทรุดตัวของแผ่นดินที่สถานีวัดระดับน้ำในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) เพื่อให้ได้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่แท้จริง

ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้

แบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้คือแบบจำลอง MIKE11-HD/AD ซึ่งแบบจำลองนี้พัฒนาโดยDHI Water Environment and Health สามารถจำลองสภาพการไหลในลำน้ำแบบ 1 มิติพร้อมทั้งจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายมวลสารในลำน้ำได้เป็นอย่างดี (DHI, 1995) และได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ได้ดีในหลายลุ่มน้ำของประเทศไทย ยกตัวอย่างเช่น ลุ่มน้ำท่าจีน (พัฒนชัยและวิษุวัฒก์, 2556) ลุ่มน้ำปิงตอนบน (ยุวเรศ, 2550) และลุ่มน้ำบางปะกง (ภูวดล, 2544) เป็นต้น

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (MIKE11-HD, Hydrodynamic Module)

การคำนวณทางอุทกพลศาสตร์ของการไหลในลำน้ำแบบ 1 มิติ มีทฤษฎีที่สำคัญคือ กฎทรงมวลโดยยึดหลักว่าด้วยการไม่สูญสลาย/หายไปของมวลน้ำ และกฎของแรงกระทำทั้งนี้หากมีแรงกระทำที่ไม่สมดุลก็จะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{2\partial}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}+\left(g\frac{A}{B}-\frac{Q^2}{A^2}\right)\frac{\partial A}{\partial x}+gA\left(S_f-S_0\right)=0 \tag{2}$$

เมื่อ Q คือปริมาณการไหล, Aคือพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ, t คือเวลา, x คือระยะทาง, B คือความกว้างของลำน้ำ, g คืออัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง, S_f คือความลาดชันของความเสียดทาน, S_o คือความลาดชันของท้องน้ำ

แบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจาย (MIKE 11-AD, Advection-Dispersion Model)

แบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจายนั้น สามารถอธิบายถึงกลไกการเคลื่อนที่ของมวลสารในลำน้ำโดยสามารถอธิบายได้ใน 2 ลักษณะคือการพัดพา (Advective or Convective Transport)เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของมวลสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยอิทธิพลการไหลของน้ำ ทิศทางการเคลื่อนที่กับทิศทางการไหล และการแพร่กระจาย (Dispersive transport)เป็นการเคลื่อนที่ของมวลสารในลักษณะฟุ้งกระจายทุกทิศทุกทาง เมื่อรวมกับการเคลื่อนที่ของทิศทางการไหลของน้ำจะเกิดกระบวนการการแพร่กระจาย (dispersion) ในทิศทางการไหลของน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการจำลองการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำจะใช้หลักของกฎทรงมวล และคิดการไหลเป็นแบบ 1 มิติ โดยจะต้องใช้ข้อมูล อัตราการไหล ระดับน้ำ พื้นที่หน้าตัดการไหล และรัศมีชลศาสตร์ ที่ได้จาก MIKE11-HD สมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณคือ (DHI, 1995)

$$\frac{\partial AC}{\partial t}+\frac{\partial QC}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(AD_f\frac{\partial C}{\partial x}\right)=-AKC+C_S.q \tag{3}$$

โดยที่ C คือความเข้มข้น (มวล/ปริมาตร), D_fคือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (ตารางเมตร/วินาที), A คือ พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (ตารางเมตร), K คือสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย (วินาที$^{-1}$), C_s คือSource/Sink Concentration (มวล/ปริมาตร), q คืออัตราการไหลด้านข้างต่อหน่วยความยาวลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที), t คือช่วงเวลาระหว่างหน้าตัดลำน้ำ (วินาที), x คือระยะระหว่างหน้าตัดลำน้ำ (เมตร)

สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient)

การพิจารณาการแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ จะพิจารณาตามความยาวของลำน้ำเป็นสำคัญ โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเป็นฟังก์ชั่นของความเร็วการไหลเฉลี่ย (Mean Flow Velocity) ซึ่งอาศัยหลักการแพร่กระจายของ Fick (Fick Diffusion Law)โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสามารถคำนวณได้จากสมการในรูปทั่วๆไปดังนี้ (ยุวเรศ, 2550)

$$D_f = fv^{ex} \tag{4}$$

เมื่อD_f คือสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s), f คือแฟคเตอร์การแพร่กระจาย, v คือความเร็วการไหล (m/s), ex คือค่าคงที่ยกกำลัง (Dimensionless Exponent)

ถ้า ex = 0 แล้ว ความเร็วของการไหลจะไม่มีอิทธิพลต่อความเร็วการแพร่กระจาย และหน่วยของแฟคเตอร์การแพร่กระจาย (f) จะเป็นตารางเมตรต่อวินาที(m^2/s)

ถ้า ex = 1 แล้ว ความเร็วของการไหลจะเป็นฟังก์ชั่นแบบเส้นตรงกับสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย และหน่วยของแฟคเตอร์การแพร่กระจาย (f) จะเป็นเมตร(m)

วิธีการวัดผลการศึกษา

ในการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองฯจะใช้ดัชนีทางสถิติมาเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบและตัดสินใจ ประกอบด้วย

ค่าความแม่นยำจะใช้วิธี Root mean square error (RMSE) ซึ่งจะแสดงวิธีคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{RMSE}=\sqrt{\frac{\sum(x-y)^2}{n}} \tag{5}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าความสอดคล้องกันจะใช้วิธีทาง Goodness-of-fit ประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์ Coefficient of determination (R^2) และ Nash coefficient (NSE) ดังสมการ

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x} \right)\left(y_i - \bar{y} \right)}{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x} \right)^2 \times \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - \bar{y} \right)^2} \right)^2 \qquad (6)$$

$$NSE = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x} \right)^2} \qquad (7)$$

เมื่อ y = ระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง, x = ระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด, $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด, $\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง, i = ลำดับของข้อมูล, n = จำนวนข้อมูล

ค่าที่ยอมรับได้ของค่าดัชนีทางสถิติ RMSE ต้องมีค่าน้อยที่สุด (เข้าใกล้ 0) และค่าสัมประสิทธิ์ Coefficient of determination (R^2) และ Nash coefficient (NSE) ต้องเข้าใกล้ 1 และควรมากกว่า 0.6 ขึ้นไป

วิธีการและขอบเขตการศึกษา

การศึกษากำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนกลางและตอนล่าง ตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตร ดังแสดงใน Figure 1 สำหรับการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการจัดทำแบบจำลอง MIKE11-HD/AD ประกอบด้วยข้อมูลอัตราการไหล และระดับน้ำรายวันที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา ในปี พ.ศ. 2551-2553 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมชลประทาน รูปตัดขวางลำน้ำซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 209 รูปตัด ซึ่งรวบรวมได้ในปี พ.ศ. 2545 จากกรมชลประทาน ข้อมูลระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนรายชั่วโมงในปี พ.ศ. 2551-2553 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมเจ้าท่า ข้อมูลอัตราการไหลและระดับน้ำรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า T1 (กม.117) ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐมในปี พ.ศ. 2551-2553 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมชลประทาน และข้อมูลค่าความเค็มของน้ำในแม่น้ำท่าจีน ได้แก่ สถานี TC01 (กม.202) และ สถานี TC04 (กม. 186) ซึ่งเป็นข้อมูลคุณภาพน้ำที่รวบรวมได้จากกรมควบคุมมลพิษในช่วงปี 2550-2553 โดยขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. การสร้างแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ (MIKE11-HD) และแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจาย (MIKE11-AD) โดยแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ได้ทำการปรับเทียบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ ซึ่งใช้ข้อมูลอัตราการไหล และระดับน้ำในปี พ.ศ. 2551-2553 มาทำการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายเพื่อทำการหาสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่เหมาะสมในลำน้ำ โดยจะใช้ข้อมูลความเค็มในแม่น้ำในปี พ.ศ. 2553 มาทำการปรับเทียบซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะต้องให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจ โดยจะทำการปรับเทียบฯจนกระทั่งค่าความเข้มข้นของมวลสารที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากข้อมูลเก็บสำรวจ โดยสารที่ใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการปรับเทียบแบบจำลองที่ดีนั้น ควรเป็นสารที่ไม่มีการย่อยสลายตามเวลา หรืออัตราการย่อยสลายคงที่จะดีที่สุด ซึ่งค่าที่นิยมใช้คือ ค่าความเค็ม (Salinity) โดยในการศึกษาจะทำการปรับเทียบการแพร่กระจายความเค็ม ซึ่งพิจารณาจากปริมาณการไหลรายวันที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาเป็นขอบเขตเงื่อนไขด้านเหนือน้ำ และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนเป็นขอบเขตเงื่อนไขด้านท้ายน้ำส่วนค่าความเค็มบริเวณปากแม่น้ำกำหนดให้เป็นค่าความเค็มของน้ำทะเลที่ได้จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษในปีพ.ศ. 2553 ซึ่งมีค่าความเค็มสูงสุดที่บริเวณปากแม่น้ำเท่ากับ 21.4 ppt ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทะเลในบริเวณดังกล่าวได้รับอิทธิพลของน้ำจืดที่ไหลลงสู่ปากแม่น้ำ และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ฐิติมาและคณะ (2551) ซึ่งพบว่าค่าความเค็มเฉลี่ยที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนจะมีความเค็ม±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15.7 ± 9.4 ppt โดยมีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 0.7-29.3 ppt เนื่องจากน้ำทะเลในบริเวณดังกล่าวได้รับอิทธิพลของน้ำจืดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูฝน บริเวณปากแม่น้ำจะได้รับอิทธิพลของทั้งน้ำฝนและน้ำจืดที่ไหลมาจากแม่น้ำซึ่งเป็นลักษณะเด่นของระบบนิเวศบริเวณปากแม่น้ำที่มักจะมีความผันแปรค่าความเค็มค่อนข้างสูงและกำหนดค่าความเค็มซึ่งเริ่มจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ที่ประมาณ 0.05 ppt จากผลการศึกษาของภัทรา (2541)

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน โดยทำการศึกษาจากการตรวจเอกสารถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย และปากแม่น้ำท่าจีน จากนั้นทำการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลโดยใช้ข้อมูลทางสถิติย้อนหลัง มาวิเคราะห์ด้วยวิธี Linear Regression พร้อมทั้งทำการปรับแก้ผลของการทรุดตัวของแผ่นดินที่สถานีตรวจวัดระดับน้ำเพื่อที่จะได้อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนที่แท้จริงเพื่อใช้ในการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในอนาคตต่อไป

3. การพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ได้ศึกษาก่อนหน้านี้ โดยใช้แบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายโดยได้ทำการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2563 และในปี พ.ศ. 2568 เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงการรุกล้ำความเค็มในอนาคตข้างหน้า และเพื่อเป็นแนวทางในการหามาตรการ หรือการบริหารจัดการความเค็มในแม่น้ำท่าจีนต่อไป

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11-HD ซึ่งจากผลการศึกษาของ ณัฐวุฒิและวิษุวัฒก์(2555) พบว่าการไหลในลำน้ำที่ได้รับอิทธิพลของการขึ้นลงของระดับน้ำทะเลด้านท้ายน้ำจะเป็นการไหลไม่คงที่และขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้น/ลดลงของระดับน้ำทะเลโดยผลที่ได้จากการปรับเทียบฯ ที่สถานีวัดระดับน้ำT1 (กม.117)พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำในแม่น้ำท่าจีนจะมีค่าสัมประสิทธิ์ n=0.0375 โดยจะให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติของ R^2, NSE, และRMSE, เท่ากับ0.741, 0.703, และ 0.197เมตรตามลำดับ อย่างไรก็ตามสภาพลำน้ำของแม่น้ำท่าจีนมีสภาพคดเคี้ยวช่วงปลายลำน้ำ ซึ่งต่อมาการศึกษาของ Intaboot and Taesombat (2012) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำจะแปรผันตามแต่ละช่วงของลำน้ำ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ในช่วง 0.035-0.062 ซึ่งได้จากการปรับเทียบแบบจำลองฯ ที่สถานีประตูระบายน้ำบางยี่หน (กม.25), ประตูระบายน้ำพระพิมล (กม.82),และประตูระบายน้ำมหาสวัสดิ์ (กม.116)

การปรับเทียบแบบจำลอง MIKE11-AD จะใช้ข้อมูลค่าความเค็มที่ได้จากการสำรวจที่สถานี TC04 (กม.186) ของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งตั้งอยู่ที่ อ.เมือง จ.สมุทรสาคร ซึ่งมีระยะทางห่างจากปากแม่น้ำ 16 กิโลเมตร มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความเค็มที่ได้จากแบบจำลองโดยการแปรผันค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D_f) ในช่วง 300 - 1000 m^2/s ซึ่งผลการศึกษาพบว่าค่า D_f ที่เหมาะสมกับแม่น้ำท่าจีนมีค่าเท่ากับ 400 ตาราง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมตรต่อวินาที ซึ่งจะให้ค่าที่ดีที่สุดทางสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจได้แก่ R^2, NSE, และ RMSE, เท่ากับ 0.9987, 0.9875, และ0.2274 ppt ตามลำดับดังแสดงใน Table 1 และFigure 2

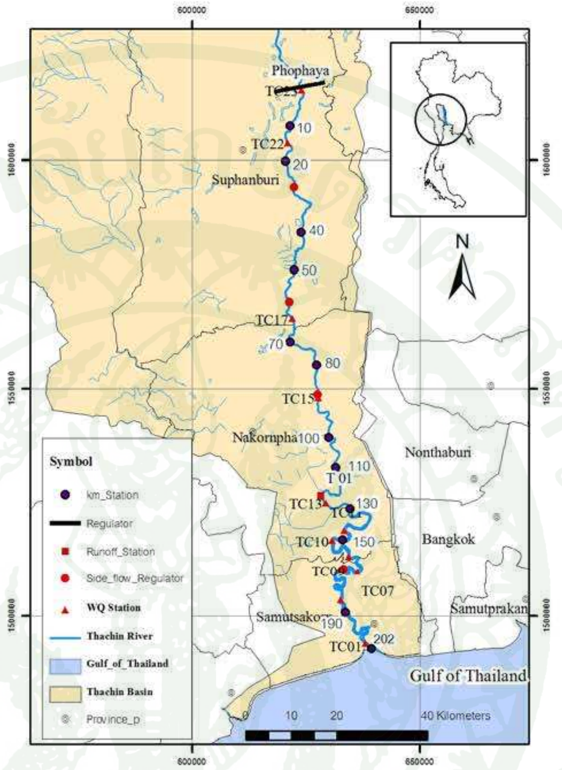


Figure 1 Locations of water quality monitoring stations

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนในครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยรายปีจากสถานีวัดระดับน้ำของกรมเจ้าท่า สถานีตัวแทน 1 สถานี คือสถานีแหลมงอบ จ.ตราด เพื่อใช้เป็นตัวแทนการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบน โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2527-2554 จำนวน 28 ปี มาทำการคำนวณตามเทคนิควิธี Linear Regression พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่สถานีนี้มีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.1 มิลลิเมตรต่อปีดังแสดงใน Figure 3 โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ตรวจวัดได้จากสถานีแหลมงอบนี้ จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสอดคล้องกับผลการศึกษาของ คงวัฒน์ (2551) และTrisirisatayawong(2011) โดยได้ระบุไว้ว่าการเพิ่มขึ้นของระดับเฉลี่ยรายปีของสถานีวัดระดับน้ำในอ่าวไทยจะสูงขึ้นประมาณปีละ 3–6 มิลลิเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

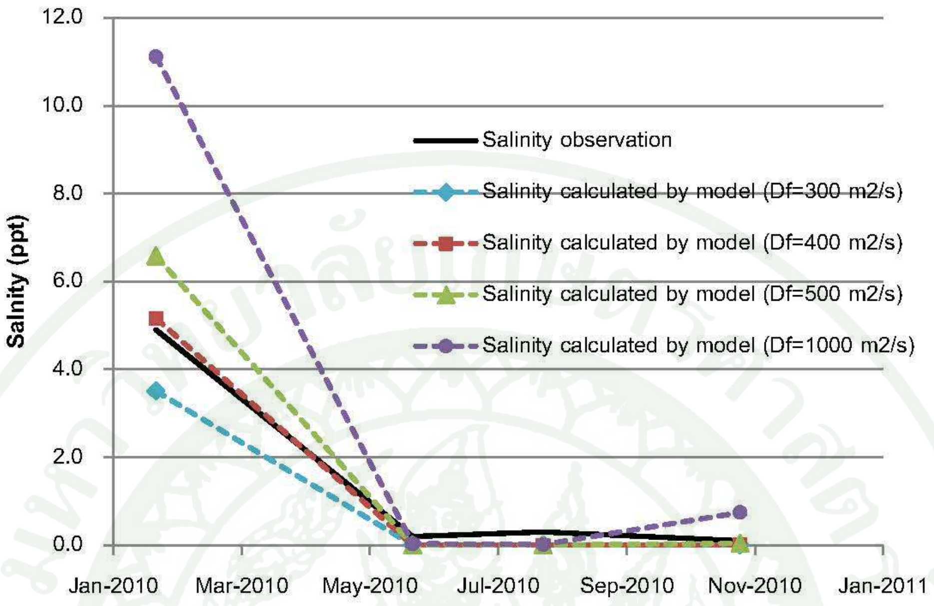


Figure 2 Comparison of salinity at the TC04 station

Table 1 Comparisons of model calibration of salinity at TC04 station (km.186)

Dispersion Coefficient (D_f)	Statistical measures		
	(R^2)	NSE	RMSE
D_f=300	0.9988	0.8744	0.7216
D_f=400	0.9987	0.9875	0.2274
D_f=500	0.9984	0.8220	0.8592
D_f=1000	0.9911	-1.3587	3.1275

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Linear Regression เช่นเดียวกับสถานีแหลมงอบโดยใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยรายปีจากสถานีวัดระดับน้ำของกรมเจ้าท่าที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนในปี พ.ศ. 2520–2554 จำนวน 35 ปี พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 19.2 มิลลิเมตรต่อปี ดังแสดงใน Figure 3 โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย เพราะบริเวณดังกล่าวจะมีผลกระทบจากการทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

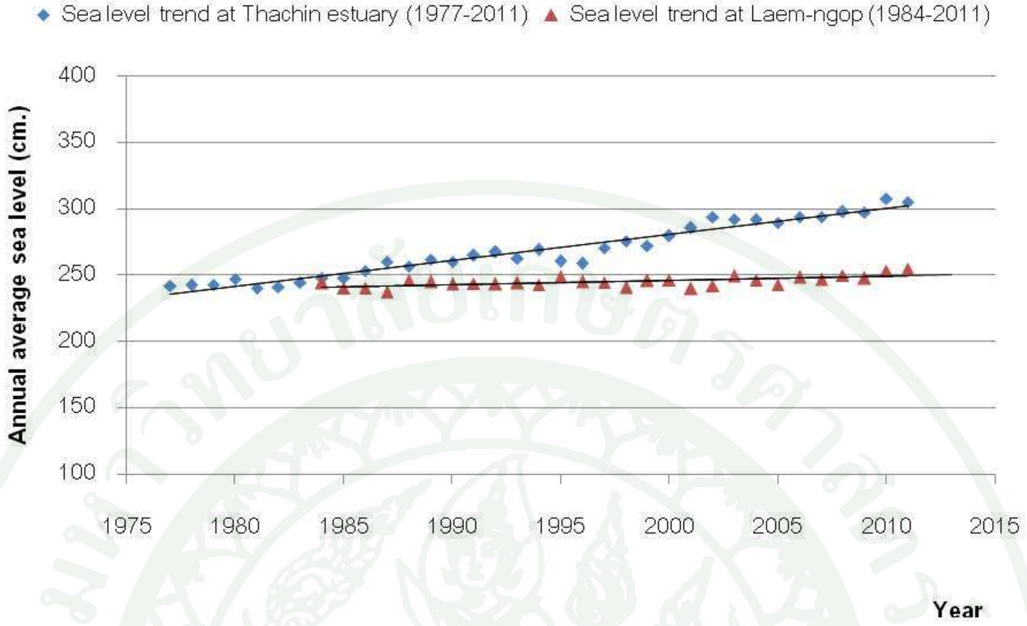


Figure 3 Long term sea level trend in upper gulf of Thailand

การทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน

การที่อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีการเพิ่มขึ้นอย่างมากนั้น เป็นผลมาจากการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่บริเวณปากแม่น้ำเอง และจากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) พบว่า บริเวณจังหวัดชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน ประกอบด้วย สมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร และสมุทรปราการ แผ่นดินมีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง ในตลอดระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้เป็นจำนวนมาก โดยเหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Trisirisatayawong (2011) ซึ่งได้ทำการสำรวจและวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าเกิดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่สถานีวัดระดับน้ำเท่ากับ 12.6 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีสันดอนกรุงเทพ และเท่ากับ 14.8 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีป้อมพระจุล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำอย่างมากดังกล่าวเกิดจากการทรุดตัวของสถานีวัดระดับเองด้วย

ดังนั้นในการศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้เราทราบถึงการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ เพราะการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงจำเป็นจะต้องมีการปรับแก้จากค่าการทรุดตัวดังกล่าว ซึ่งที่ผ่านมากรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) ได้ทำการศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดินที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนโดยใช้การประมวลผลจากภาพถ่ายดาวเทียม ทำให้ทราบว่าที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนมีการทรุดตัวอย่างมาก ซึ่งการทรุดตัวอยู่ที่ประมาณ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี

การรุกล้ำของความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปากแม่น้ำจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำค่อนข้างสูงย่อมจะส่งผลต่อการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานหลาย ๆปีดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนเพื่อทำการพยากรณ์ถึงการรุกล้ำความเค็มในอนาคตและทำการเปรียบเทียบกับค่าความเค็มที่ได้ในปีปัจจุบัน (ปี 2553) โดยในการวิเคราะห์ได้พิจารณาขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นผลมาจากการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะพิจารณาผลจากการปรับแก้การทรุดตัวของบริเวณปากแม่น้ำด้วย

การวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้มีค่าเท่ากับ 19.2 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งค่าดังกล่าวได้รวมผลของการทรุดตัวของสถานีตรวจวัดระดับไปด้วย โดยค่าการทรุดตัวของสถานีตรวจวัดระดับน้ำที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมามีค่าเท่ากับ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555) ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่แท้จริงจะมีค่าประมาณ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี

ดังนั้นจะพิจารณาใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำที่จีนเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรต่อปีในการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็ม ซึ่งประกอบไปด้วยการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี 2558 2563 และ 2568 หรือพยากรณ์ล่วงหน้า 5 ปีข้างหน้า 10 ปีข้างหน้า และ 15 ปีข้างหน้า ตามลำดับ โดยในอนาคตระดับน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้น 23.5 มิลลิเมตร 47 มิลลิเมตร และ 70.5 มิลลิเมตร ตามลำดับดังแสดงใน Table 2

ผลการวิเคราะห์ในสภาพปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2553) ค่าความเค็มได้รุกล้ำเข้าไปถึง กม.150 บริเวณคลองทำนา เขต ต.บางช้าง อ.สามพราน จ.นครปฐม ซึ่งค่าความเค็มจากการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับผลการตรวจวัดจริงของค่าความเค็มในแม่น้ำท่าจีนที่ได้จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ และดังแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเค็มเป็นภาพตามแนวยาวของแม่น้ำท่าจีนใน Figure 4 และผลการวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคตของปี พ.ศ. 2558 2563 และ 2568 พบว่า ค่าความเค็มจะรุกขึ้นไปถึง กม.149 กม.148 และ กม.147 ตามลำดับดังแสดงใน Table 2 และFigure 4 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบัน พบว่าอัตราการรุกล้ำของความเค็มจะรุกเข้าไปสูงสุดในปี 2568 ที่ระยะทาง 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำหรือรุกเข้าไปมากกว่าในปัจจุบันประมาณ 3 กิโลเมตร

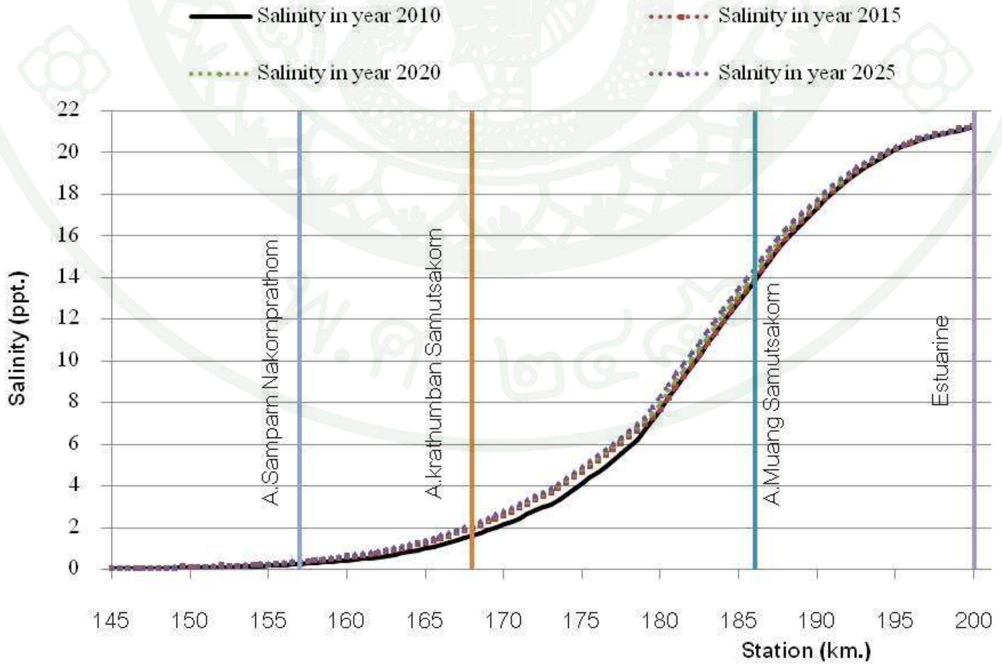


Figure 4 Comparisons of Salinity distribution along Thachin River

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Table 2 Sea level change and Location of Salinity intrusion in Thachin River during 2010-2025

Year	Sea Level Change (mm)	Initial salinity values affected to agricultural area (0.05 ppt)		
		Station (km.)	Distance from Estuarine (km)	Location
2010	0.0	150	52	T.Bangchang A.Samparn Nakornprathom
2015	23.5	149	53	T.Bangchang A.Samparn Nakornprathom
2020	47.0	148	54	T.Klongmai A.Samparn Nakornprathom
2025	70.5	147	55	T.Samparn A.Samparn Nakornprathom

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการปรับเทียบแบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจายเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายมีค่าเท่ากับ 400 m^2/s และผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระดับน้ำทะเลในบริเวณปากแม่น้ำจะมีการเพิ่มขึ้นสูงกว่าในบริเวณอื่นๆของอ่าวไทยตอนบน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนจะมีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลประมาณ 19.2 มิลลิเมตรต่อปี แต่เมื่อพิจารณาปรับแก้ค่าการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ ทำให้สามารถพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรต่อปีซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้จะส่งผลถึงการรุกล้ำของความเค็มเข้าไปในแม่น้ำได้ไกลขึ้น โดยผลพยากรณ์การรุกล้ำของความเค็มในปี 2558 2563 และ 2568 พบว่า ค่าความเค็มจะรุกขึ้นไปถึง กม.149 กม.148 และ กม.147 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบัน ที่จะรุกมาถึงที่ กม.150 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเค็มที่ตรวจวัดได้จริง และผลการวิเคราะห์ความเค็มในอนาคตปี 2568 ทำให้ทราบว่าบริเวณ บ้านตลาดสามพราน อ.สามพราน จ.นครปฐม ที่ระยะทาง 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ หรือในกม.ที่ 147 เรื่อยมาถึงบริเวณปากแม่น้ำ น้ำในแม่น้ำจะมีค่าความเค็มที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้นการที่จะควบคุมความเค็มในแม่น้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมจำเป็นต้องพิจารณาหามาตรการซึ่งมีความเป็นไปได้ซึ่งการเพิ่มปริมาณน้ำจืดจากต้นน้ำเพื่อผลักดันความเค็มให้อยู่ที่ระดับที่ปลอดภัยซึ่งจำเป็นต้องศึกษาในรายละเอียดของเพิ่มปริมาณการไหลที่เหมาะสมต่อไป และสำหรับการศึกษาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในพื้นที่ศึกษาที่มีผลกระทบเนื่องจากการทรุดตัวของแผ่นดินโดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลางและบริเวณปากแม่น้ำควรจะต้องคำนึกถึงการปรับแก้เนื่องจากการทรุดตัวดังกล่าว ณ จุดที่ตั้งสถานีวัดระดับน้ำ เพื่อที่จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่แท้จริงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการตีพิมพ์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และใช้ซอฟแวร์แบบจำลองต่างๆภายใต้ห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองระบบทรัพยากรน้ำด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมเจ้าท่า กรมควบคุมมลพิษและศูนย์อุทกวิทยาภาคตะวันตก ที่อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษาและขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาตลอดการศึกษาในครั้งนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2541 ก. รายงานการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการประตูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน (ตอนล่าง) จังหวัดสุพรรณบุรีจังหวัดนครปฐมจังหวัดสมุทรสาคร.รายงานด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับหลัก).กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ.

กรมชลประทาน. 2541 ข. การศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการประตูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน (ตอนล่าง) จังหวัดสุพรรณบุรีจังหวัดนครปฐมจังหวัดสมุทรสาคร.รายงานด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับหลัก).กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2555. โครงการสำรวจ และศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดินอย่างเป็นระบบในเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

คงวัฒน์ นีลศรี. 2551. สภาวะโลกร้อนกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในน่านน้ำไทย. การประชุมวิชาการประเพณีกองทัพเรือ-มหิดล-ธรรมศาสตร์-เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 12.

ฐิติมา วัฒนจัง, วิทยา โกษาผล, กนกพร ล่องอำไพ, และวิษณุ นิยมไทย. 2551. คุณภาพน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2551. ภูเก็ต.

ณัฐวุฒิ อินทบุตร และ วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ. 2555. "การศึกษาการปรับเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำท่าจีนภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเล.การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่17

พัฒนชัย นิ่มทัศนศิริ และ วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ. 2556. การศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำท่าจีนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 5.

ภูวดล พรหมชา.2544. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางประกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ. 2541. การปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุวเรศ เวชกามา. 2550. การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมมาตร์ เนียมนิล และ อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์. 2550. แนวโน้มระดับน้ำในอ่าวไทย จากข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำ. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12.

อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์. 2548. "แนวโน้มระดับน้ำในน่านน้ำไทยจากข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำ และSatellite Altimetry", บทความวิชานำเสนอในที่ประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศ,14-16 ธันวาคม 2548, กรุงเทพ.

อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์, เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, สมมาตร เนียมนิล, และ อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2551. อัตราการเพิ่มระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทย. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13.

Becker, M. Meyssignac, B. Letetrel ,C. Llovel, W. Cazenave, A. and Delcroix, T. 2011. Sea level variations at tropical Pacific islands since 1950.Journal of Global and Planetary Change. pp 85-98

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Buranapratheprat, A. Yanagi, T. and Matsumura, S. 2008. Seasonal variation in water column conditions in the upper Gulf of Thailand: Journal of Continental Shelf Research. pp 2509-2522.

Cazenave, A. Lombard, A. and Llovel, W. 2008. Present-day sea level rise: A synthesis. Geoscience. pp 761-770.

Chini, N. Stansby, P. Leake, J. Wolf, J. Robert, J. and Lowe, J. 2010. The impact of sea level rise and climate change on inshore wave climate: A case study for East Anglia (UK). Journal of Coastal Engineering. pp 973-984

Danish Hydraulic Institute (DHI). 1995. MIKE 11 Reference Manual.

DHI Water Environment and Health.2008.MIKE21 & MIKE3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation. Denmark. 52 p.

Fenoglio-Marc, L. Braitenberg, C. and Tunini, L. 2011. Sea level variability and trends in the Ariatic Sea in 1993-2008 form tide gauge satellite altimetry. Physics and Chemistry of the Earth. pp 47-58

Intaboot, N. and Taesombat, W. 2012.A Study on Drainage Efficiency of Shortcut Canal Project in the Lower ThachinRiver. PAWEES 2012 International Conference. Thailand. 6p.

Neelasri, C. Punpuk, V. and Radok, R. 1998.An Investigation of Mean Sea Level Change in the Gulf of Thailand. Paper on SCOPE Workshop on Sea Level Rise, Bangkok.

Trisirisatayawong, I. Neaije, M. Simons, M. and Fenoglio-Marc, L. 2011. Sea level change in the Gulf of Thailand from GPS-corrected tide gauge data and multi-satellite altimetry. Journal of Global and Planetary Change. pp 137-151

Vongvisessomjai, S. 2006, "Will Sea-Level Really Fall in the Gulf of Thailand", Songklanakarin Journal of Science and Technology, Vol.28(2), pp.227-248.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาการรุกล้ำความเค็มและมาตรการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

A Study on Salinity Intrusion and Control Measure in the ThaChin River

ณัฐวุฒิ อินทบุตร และวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ

Nuttawut Intaboot and Wisuwat Taesombat

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140 Tel. 0-86383-3289, Fax. 0-3435-1404

E-mail: Nuttawut_took@hotmail.com, fengwwt@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหามาตรการควบคุมความเค็มที่เหมาะสมซึ่งเกิดจากการรุกล้ำความเค็มจากปากแม่น้ำท่าจีนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ในการวิเคราะห์การรุกล้ำความเค็ม ผลการวิเคราะห์พบว่าการรุกล้ำความเค็มจะมีระยะทางเพิ่มขึ้นในอนาคตอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำ และผลการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2558 2563 และ 2568 พบว่าค่าความเค็มจะรุกล้ำเข้าไปเป็นระยะทางสูงสุด 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำโดยคิดเป็นระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากสภาพปัจจุบัน 3 กิโลเมตรตามแนวยาวลำน้ำ ดังนั้นการควบคุมความเค็มเพื่อลดผลกระทบดังกล่าวจะใช้มาตรการเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำท่าจีน ผลการวิเคราะห์พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลจะแปรผันโดยตรงกับระยะทางการขับไล่ความเค็มที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของระยะทางการขับไล่ความเค็มไม่ได้เป็นสัดส่วนเดียวกับในทุกๆ ช่วงของการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล โดยอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการขับไล่ความเค็มของแม่น้ำท่าจีนจะอยู่ที่ประมาณ 20-40 ลบ.ม.ต่อวินาที เพราะอัตราการไหลดังกล่าวนี้จะขับไล่ความเค็มให้ออกไปได้ระยะทางไกลกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มอัตราการไหลที่สูงกว่านี้ และอีกประการหนึ่งคือการเพิ่มอัตราการไหลในปริมาณที่มากเกินกว่าความจุลำน้ำอาจก่อให้เกิดปัญหาน้ำล้นตลิ่งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรริมฝั่งแม่น้ำได้

คำสำคัญ:การรุกล้ำความเค็ม, การขับไล่ความเค็ม, มาตรการควบคุมความเค็ม, แม่น้ำท่าจีน

ABSTRACT

This study aims to consider the suitable salinity control measure affected by salinity intrusion in ThaChin estuarine which has an increasing trend to continuous occurred every year. The mathematical model was applied for an analysis of salinity intrusion. The results showed that salinity intrusion will increase further upstream in the future because of the rise of sea level at the estuarine, and the forecast result of salinity intrusion in the year 2015, 2020 and 2025 showed that the salinity would be intruded to a maximum distance of 55 km from the estuarine which is around 3 km further upstream along the river comparing to the existing condition. Consequently, to control the salinity for reducing the impact, the increasing of flow rate in ThaChin river was considered as a measure. The results showed that the increasing flow rate is directly proportional to the increasing distance downstream of repel salinity. However, the increasing distance of repel salinity is not the same proportion for every range of the increasing flow rate. The appropriate flow rates for repelling salinity in ThaChin River are around 20-40 cms. Because these flow rates will repel salinity to leave more distance downstream comparing with other higher flow rates. In addition, the higher flow rates in

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

excessive amounts of river capacity may cause inundation problems, which will affect the farmers along the river.

Key words: Salinity Intrusion, Expulsion Salinity, Salinity Control Measure, ThaChin River

1. บทนำ

แม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำสำคัญสายหนึ่งที่ไหลผ่านทุ่งราบภาคกลาง โดยผ่านจังหวัดชัยนาท-สุพรรณบุรี-นครปฐม ไปลงอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสาคร โดยในอดีตที่ผ่านมาแม่น้ำท่าจีนนับว่าเป็นลำน้ำสายหนึ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ สามารถหล่อเลี้ยงพื้นที่ทำนา ทำสวน และทำไร่ในบริเวณสองฝั่งลำน้ำเป็นอย่างดีรวมทั้งเป็นแหล่งอาหาร และเป็นเส้นทางคมนาคมทางน้ำให้ประชาชนได้อาศัยสัญจรไปมา [1]

ในปัจจุบันสภาพความอุดมสมบูรณ์ในเขตลุ่มน้ำท่าจีนค่อยๆแปรเปลี่ยนไป โดยเริ่มจะมีปัญหาตั้งแต่พื้นที่ชายทะเลขึ้นไป ปัญหาแรกคือการขาดแคลนน้ำจืดเพื่อใช้ทำการเกษตรในช่วงฤดูแล้ง ปัญหาต่อมาคือการรุกล้ำของน้ำเค็มเข้าไปตามลำน้ำท่าจีน ยิ่งนานวันยิ่งรุกล้ำเข้าไปได้ไกลขึ้นซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายแก่พื้นที่การเกษตรบริเวณสองฝั่งแม่น้ำท่าจีนตอนล่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง หรือช่วงเวลาที่น้ำทะเลหนุนสูง [2]

นอกจากสาเหตุตามฤดูกาลแล้ว การทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ก็ยังเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวนับวันยิ่งทวีความรุนแรง และส่งผลกระทบต่อเกษตรกรในวงกว้าง [5] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาในเรื่องของการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง พร้อมกับศึกษามาตรการการควบคุมความเค็มเพื่อบรรเทาปัญหาต่างๆที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตได้

งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการศึกษาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและคาดการณ์แนวโน้มในอนาคต โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์และพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำ พร้อมกับเสนอมาตรการหรือแนวทางในการควบคุมความเค็มในแม่น้ำ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนจัดการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีนต่อไป

2. ลักษณะพื้นที่ศึกษา

2.1 ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำท่าจีน

แม่น้ำท่าจีนที่ใช้ในการศึกษาเริ่มตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมืองจังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตรแม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำสายเดี่ยว(single branch) ที่ไหลผ่านลุ่มน้ำท่าจีนดังแสดงในรูปที่ 1 โดยแม่น้ำมีความลาดชันในตอนต้นและราบเรียบในตอนล่าง เพราะมีสภาพภูมิประเทศเป็นลักษณะราบลุ่ม ลาดเทจากเหนือลงใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นา สวนผลไม้ สวนผัก และบ่อปลา มีพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) และป่าชายเลนอยู่ประปราย บริเวณที่น้ำทะเลขึ้น [2]

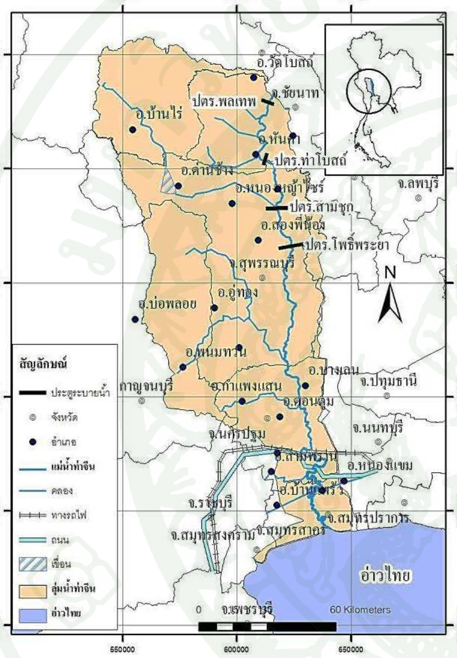
แม่น้ำท่าจีนแยกจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาทและไหลลงสู่อ่าวไทยที่อำเภอเมืองจังหวัดสมุทรสาคร โดยมีแหล่งน้ำหลักมาจากแม่น้ำเจ้าพระยาและทำหน้าที่เปรียบเสมือนคลองส่งน้ำสายใหญ่สายหนึ่งของโครงการให้กับเกษตรกรในลุ่มน้ำท่าจีน แม่น้ำท่าจีนเป็นแม่น้ำที่มีขนาดไม่ใหญ่มากมีความกว้างเฉลี่ย ความลึกเฉลี่ย และมีพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำเฉลี่ย ประมาณ 570 เมตร, 10 เมตร และ1380 ตารางเมตร ตามลำดับโดยที่ความกว้างของแม่น้ำท่าจีนจะเพิ่มตามระยะทางตามหลักของการเพิ่มขึ้นของความกว้างของแม่น้ำโดยจะมีความกว้างน้อยที่สุดบริเวณต้นน้ำและกว้างมากขึ้นในช่วงปลายแม่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2

2.2 ระบบโครงข่ายของแม่น้ำท่าจีน

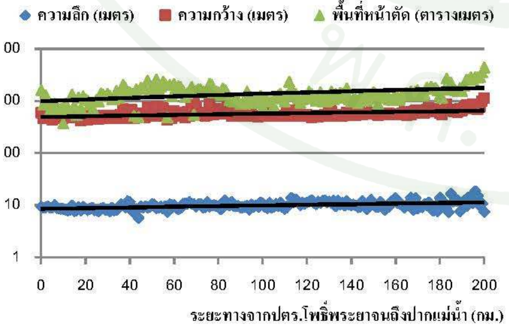
แม่น้ำท่าจีนรับน้ำมาจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดชัยนาทไหลผ่านลงมาบรรจบกับลำน้ำกระเสียวในเขต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี โดยที่แม่น้ำท่าจีนทำหน้าที่เป็นทั้งคลองส่งน้ำและระบายน้ำ โดยมีประตูระบายน้ำหลักกลางแม่น้ำ 4 แห่ง ดังแสดงในภาพที่ 1 เพื่อทำหน้าที่บริหารจัดการน้ำให้กับโครงการชลประทานต่างๆ โดยประตูระบายน้ำโพธิ์พระยาเป็นประตูระบายน้ำตัวสุดท้ายที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำในแม่น้ำให้มีความเพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกรทางตอนล่างของแม่น้ำ

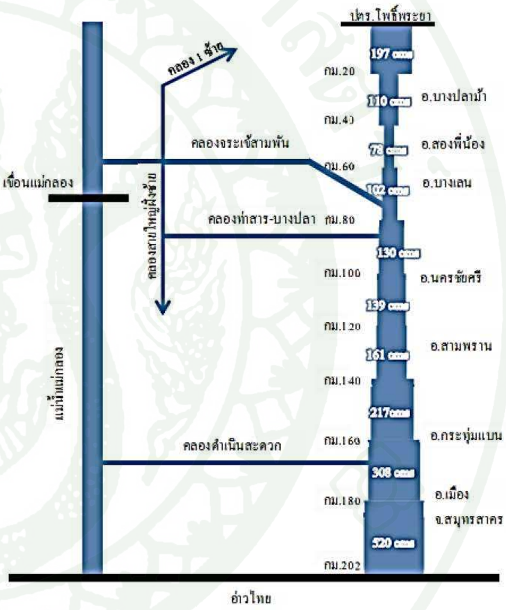


รูปที่ 1 ลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำท่าจีน



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำท่าจีน

และพื้นที่ส่วนล่างซีกตะวันตกของลุ่มน้ำท่าจีนมีอาณาเขตติดต่อกับลุ่มน้ำแม่กลอง มีแม่น้ำแม่กลองเป็นแม่น้ำสายหลักในลุ่มน้ำทำหน้าที่จัดสรรน้ำให้กับโครงการชลประทานในลุ่มน้ำท่าจีนตอนล่าง โดยมีเขื่อนแม่กลองซึ่งเป็นเขื่อนทดน้ำให้กับพื้นที่ดังกล่าว และยังช่วยผันน้ำจากแม่น้ำแม่กลองมาสู่แม่น้ำท่าจีนในช่วงฤดูแล้ง และช่วยเพิ่มปริมาณน้ำในแม่น้ำท่าจีนเพื่อผลักดันน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้งอีกด้วย โดยผ่านทางคลองจระเข้สามพัน และคลองท่าสารบางปลา ซึ่งเป็นคลองที่เชื่อมต่อของทั้งสองแม่น้ำ ดังในแสดงในภาพที่ 3



รูปที่ 3 ผังระบบแหล่งน้ำของแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำท่าจีน

3. การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

ในการศึกษาบริเวณพื้นที่ปากแม่น้ำพบว่าคุณภาพน้ำและความเค็มของน้ำในแม่น้ำมีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการรุกล้ำของน้ำเค็มจากมหาสมุทรเข้าไปในแม่น้ำ ซึ่งการรุกล้ำของน้ำเค็มนี้จะขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำโดยในปัจจุบันระดับน้ำทะเลทั่วโลกได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นผลจากปัจจัยต่างๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งปรากฏการณ์ El

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Niño-Southern Oscillation (ENSO) จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน โดยในรอบ 15 ปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2536-2551 ระดับน้ำทะเลทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีค่าประมาณ 3.1 ± 0.1 มิลลิเมตรต่อปี โดยเป็นผลมาจากปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น การขยายตัวของน้ำทะเลเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นของมหาสมุทร และปริมาณน้ำที่ไหลลงมหาสมุทรเนื่องจากธารน้ำแข็งขั้วโลกและภูเขาน้ำแข็งเกิดการละลาย [11] ยิ่งไปกว่านั้น การเคลื่อนที่ทางดิ่งของแผ่นดินในบริเวณที่ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีสำรวจข้อมูลจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลด้วย [13]

ในส่วนของประเทศไทย [5] ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่บริเวณอ่าวไทยตอนบน เพื่อทำการศึกษาถึงอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่ส่งผลกระทบต่อการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำ พบว่าระดับน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงในทางที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนจะมีค่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ค่อนข้างสูงอยู่ที่ 19.2 มิลลิเมตรต่อปี ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณดังกล่าวได้มีการสูบน้ำบาดาลมาใช้เป็นจำนวนมากทำให้แผ่นดินบริเวณนี้เกิดการทรุดตัวจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนของระดับน้ำทะเลอย่างมากเพราะเนื่องจากสถานีวัดระดับน้ำจะเกิดการทรุดตัวไปด้วย โดยจากการศึกษาของ [3] พบว่าจะมีค่าการทรุดตัวดังกล่าวอยู่ที่ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งได้สอดคล้องกับการศึกษาของ [16] ที่ทำการสำรวจและวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าเกิดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่สถานีวัดระดับน้ำเท่ากับ 12.6 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีสันดอนกรุงเทพ และเท่ากับ 14.8 มิลลิเมตรต่อปี ที่สถานีป้อมพระจุล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำอย่างมากดังกล่าวเกิดจากการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำเองด้วย

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปากแม่น้ำจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำค่อนข้างสูงย่อมจะส่งผลต่อการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานหลายๆปีโดยในการวิเคราะห์ได้พิจารณาขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะพิจารณาผลจากการปรับแก้การทรุดตัวของบริเวณปากแม่น้ำ ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่แท้จริงจะมีค่าประมาณ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี [5]

จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ปริมาณความเค็มในแม่น้ำมีการรุกล้ำเพิ่มมากขึ้น และจากการศึกษาของ [15] พบว่าปริมาณความเค็มจะสัมพันธ์กับปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำ กล่าวคือถ้าในช่วงการไหลต่ำ (low flow) จะทำให้ค่าความเค็มแพร่เข้าไปในแม่น้ำได้ไกลขึ้น และถ้าอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำมีปริมาณมากจะทำให้ค่าความเค็มน้อยลงหรือค่าความเค็มแพร่เข้าไปในแม่น้ำได้น้อยลง ดังนั้นในการวางแผนการจัดการควบคุมความเค็มในแม่น้ำจึงจำเป็นต้องมีมาตรการในการเพิ่มปริมาณการไหลที่เหมาะสมของน้ำในแม่น้ำเพื่อที่จะควบคุมความเค็มให้อยู่ในช่วงที่ปลอดภัย

4. ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้

4.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้คือแบบจำลอง MIKE11-HD/AD ซึ่งแบบจำลองนี้พัฒนาโดยDHI Water Environment and Health สามารถจำลองสภาพการไหลในลำน้ำแบบ 1 มิติพร้อมทั้งจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายมวลสารในลำน้ำได้เป็นอย่างดี [12] และได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ได้ดีในหลายลุ่มน้ำของประเทศไทย ยกตัวอย่างเช่น ลุ่มน้ำท่าจีน [6] ลุ่มน้ำบางปะกง [7] และลุ่มน้ำปิงตอนบน [8] เป็นต้น

4.2 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์(MIKE11-HD, Hydrodynamic Module)

การคำนวณทางอุทกพลศาสตร์ของการไหลในลำน้ำแบบ 1 มิติ มีทฤษฎีที่สำคัญคือ กฎทรงมวลโดยยึดหลักว่าด้วยการไม่สูญสลาย/หายไปของมวลน้ำ และกฎของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แรงกระทำทั้งนี้หากมีแรงกระทำที่ไม่สมดุลก็จะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{2\partial}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}+\left(g\frac{A}{B}-\frac{Q^2}{A^2}\right)\frac{\partial A}{\partial x}+gA(S_f-S_0)=0 \quad (2)$$

เมื่อ Q คือปริมาณการไหล, Aคือพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ, t คือเวลา, x คือระยะทาง, B คือความกว้างของลำน้ำ, g คือ อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง, S_f คือความลาดชันของความเสียดทาน, S_o คือความลาดชันของท้องน้ำ

4.2 แบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจาย (MIKE 11-AD, Advection-Dispersion Model)

แบบจำลองการพัดพาและแพร่กระจายนั้น สามารถอธิบายถึงกลไกการเคลื่อนที่ของมวลสารในลำน้ำ โดยสามารถอธิบายได้ใน 2 ลักษณะคือการพัดพา (Advective or Convective Transport)เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของมวลสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยอิทธิพลการไหลของน้ำ ทิศทางการเคลื่อนที่กับทิศทางการไหล และการแพร่กระจาย (Dispersive transport)เป็นการเคลื่อนที่ของมวลสารในลักษณะฟุ้งกระจายทุกทิศทุกทาง เมื่อรวมกับการเคลื่อนที่ของทิศทางการไหลของน้ำจะเกิดกระบวนการการแพร่กระจาย (dispersion) ในทิศทางการไหลของน้ำ

ในการจำลองการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำจะใช้หลักของกฎทรงมวล และคิดการไหลเป็นแบบ 1 มิติ โดยจะต้องใช้ข้อมูล อัตราการไหล ระดับน้ำ พื้นที่หน้าตัดการไหล และรัศมีชลศาสตร์ ที่ได้จาก MIKE11-HD สมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณคือ [12]

$$\frac{\partial AC}{\partial t}+\frac{\partial QC}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(AD_f\frac{\partial C}{\partial x}\right)=-AKC+C_s.q \quad (3)$$

โดยที่ C คือความเข้มข้น (มวล/ปริมาตร), D_fคือสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (ตารางเมตร/วินาที), A คือพื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (ตารางเมตร), K คือสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย (วินาที$^{-1}$), C_s คือSource/SinkConcentration (มวล/ปริมาตร), q คืออัตราการไหลด้านข้างต่อหน่วยความยาวลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที), t คือช่วงเวลาระหว่างหน้าตัดลำน้ำ (วินาที), x คือระยะระหว่างหน้าตัดลำน้ำ (เมตร)

5. วิธีการและขอบเขตการศึกษา

การศึกษากำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนกลางและตอนล่าง ตั้งแต่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ลงมาจนถึงปากแม่น้ำ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร รวมระยะทาง 202 กิโลเมตร สำหรับการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการจัดทำแบบจำลอง MIKE11-HD/AD ประกอบด้วยข้อมูลอัตราการไหล และระดับน้ำรายวันที่ประตูระบายน้ำโพธิ์พระยา ในปี พ.ศ. 2551-2553 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมชลประทาน รูปตัดขวางลำน้ำซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 209 รูปตัด ซึ่งรวบรวมได้ในปี พ.ศ. 2545 จากกรมชลประทาน ข้อมูลระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำท่าจีนรายชั่วโมงในปี พ.ศ. 2551-2553 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมเจ้าท่า ข้อมูลอัตราการไหลและระดับน้ำรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า T1 (กม.117) ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐมในปี พ.ศ. 2551-2553 ซึ่งรวบรวมได้จากกรมชลประทาน และข้อมูลค่าความเค็มของน้ำในแม่น้ำท่าจีน ได้แก่ สถานี TC01 (กม.202) และ สถานี TC04 (กม.186) ซึ่งเป็นข้อมูลคุณภาพน้ำที่รวบรวมได้จากกรมควบคุมมลพิษในช่วงปี 2550-2553 โดยขั้นตอนการศึกษาสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- เริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่ได้ปรับเทียบจากแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ที่ได้จากการศึกษาของ [4] และ [14]

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- สร้างแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจาย (MIKE11-AD) เพื่อทำการวิเคราะห์การแพร่กระจายความเค็มในแม่น้ำที่เหมาะสมในลำน้ำจะพิจารณาจากการศึกษาของ [5] มาใช้ในการสร้างแบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายด้วย
- พยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ได้ศึกษาของ [5] ด้วยการใช้แบบจำลองการพัดพาและการแพร่กระจายโดยได้ทำการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2563 และในปี พ.ศ. 2568 เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงการรุกล้ำความเค็มในอนาคตข้างหน้า
- กำหนดมาตรการในการควบคุมความเค็มในแม่น้ำท่าจีนด้วยการเพิ่มปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำ โดยการผันน้ำจากแม่น้ำแม่กลองที่เขื่อนแม่กลองอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี โดยผ่านมาทางคลองจระเข้สามพัน และคลองท่าสารบางปลา ซึ่งในการเพิ่มปริมาณน้ำในแม่น้ำจะทำการทดลองสมมติเพิ่มอัตราการไหลเริ่มต้นที่ 20 ลบ.ม.ต่อวินาทีและค่อยๆเพิ่มทีละ 20 ลบ.ม.ต่อวินาที ไปจนเต็มความจุของแม่น้ำท่าจีนบริเวณดังกล่าวซึ่งมีค่าประมาณ 102 ลบ.ม.ต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยจะมีอัตราการไหลที่ใช้ในการศึกษานี้คือ 20, 40, 60, 80 และ 100 ลบ.ม.ต่อวินาที ตามลำดับ เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการความเค็มในแม่น้ำท่าจีนต่อไป

6. ผลการศึกษาและวิจารณ์

6.1 การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

จากผลการศึกษาของ [5] พบว่าระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปากแม่น้ำจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำค่อนข้างสูงย่อมจะส่งผลต่อการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปนานหลายๆปีดังนั้นในการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์หาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนเพื่อทำการพยากรณ์ถึงการรุกล้ำความเค็มในอนาคตและทำการเปรียบเทียบกับค่าความเค็มที่ได้ในปีปัจจุบัน (ปี 2553) โดยในการวิเคราะห์ได้พิจารณาขอบเขตด้านท้ายน้ำเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะพิจารณาผลจากการปรับแก้การทรุดตัวของบริเวณปากแม่น้ำด้วย

จากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนมีค่าเท่ากับ 19.2 มิลลิเมตรต่อปี [5] ทำให้ทราบว่าค่าดังกล่าวได้รวมผลของการทรุดตัวของสถานีตรวจวัดระดับไปด้วย โดยค่าการทรุดตัวของสถานีตรวจวัดระดับน้ำที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมามีค่าเท่ากับ 14.5 มิลลิเมตรต่อปี [3] ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำท่าจีนที่แท้จริงจะมีค่าประมาณ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี

ดังนั้นจะพิจารณาใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ปากแม่น้ำที่จีนเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรต่อปี ในการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็ม ซึ่งประกอบไปด้วยการพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี 2558 2563 และ 2568 หรือพยากรณ์ล่วงหน้า 5 ปีข้างหน้า 10 ปีข้างหน้า และ 15 ปีข้างหน้า ตามลำดับ โดยในอนาคตระดับน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้น 23.5 มิลลิเมตร 47 มิลลิเมตร และ 70.5 มิลลิเมตร ตามลำดับดังแสดงใน ตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าในสภาพปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2553) ค่าความเค็มได้รุกล้ำเข้าไปถึง กม.150 บริเวณคลองทำนาเขต ต.บางช้างอ.สามพราน จ.นครปฐม และผลการวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอนาคตของปี พ.ศ. 2558 2563 และ 2568 พบว่า ค่าความเค็มจะรุกขึ้นไปถึง กม.149 กม.148 และ กม.147 ตามลำดับซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบัน พบว่าอัตราการรุกล้ำของความเค็มจะรุกเข้าไปสูงสุดในปี 2568 ที่ระยะทาง 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำหรือรุกเข้าไปมากกว่าในปัจจุบันประมาณ 3 กิโลเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล และสถานที่บริเวณการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

ปี	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล (มม.)	การรุกล้ำความเค็มที่ส่งผลกระทบต่อเกษตรกร (0.05 ppt)		
		สถานี (กม.)	ระยะทางจากปากแม่น้ำ (กม.)	สถานที่
2553	0.0	150	52	ต.บางช้าง อ.สามพราน จ.นครปฐม
2558	23.5	149	53	ต.บางช้าง อ.สามพราน จ.นครปฐม
2563	47.0	148	54	ต.คลองใหม่ อ.สามพราน จ.นครปฐม
2568	70.5	147	55	ต.สามพราน อ.สามพราน จ.นครปฐม

6.2 การเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำเพื่อช่วยลดปัญหาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีน

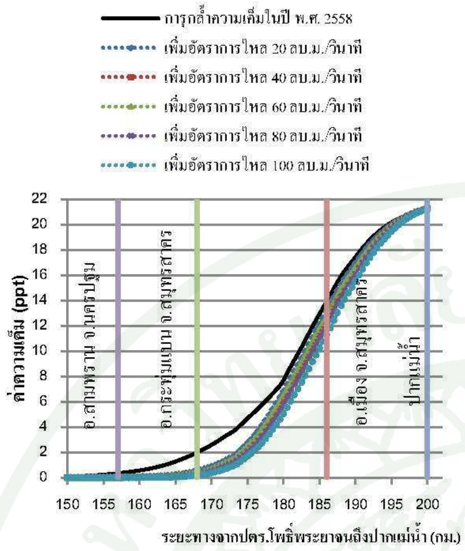
จากการศึกษาถึงการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลทำให้ทราบว่า ในแม่น้ำท่าจีนมีการรุกล้ำความเค็มเป็นระยะทางที่ไกลขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคตข้างหน้า ดังนั้นในการแก้ปัญหาการรุกล้ำความเค็มดังกล่าวต้องทำการเพิ่มปริมาณการไหลในแม่น้ำเพื่อช่วยในการขับไล่ความเค็มในแม่น้ำ ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวจึงได้พิจารณาจำลองเพิ่มการปล่อยน้ำจากเขื่อนแม่กลอง (แม่น้ำแม่กลอง) ให้ไหลลงมาสมทบในแม่น้ำท่าจีนโดยการผันน้ำผ่านคลองจระเข้สามพันและคลองท่าสาร-บางปลา เพื่อให้มีปริมาณน้ำในแม่น้ำเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ช่วยในการขับไล่ความเค็มให้ลงสู่ปากแม่น้ำทำให้ความเค็มในแม่น้ำลดน้อยลง

ในการลดปัญหาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำได้ทำการจำลองสถานการณ์ในการเพิ่มปริมาณน้ำในแม่น้ำโดยจะพิจารณาเริ่มให้มีการเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำเพิ่มขึ้น 20, 40, 60, 80, และ100 ลบ.ม./วินาที จากปริมาณน้ำที่มีอยู่เดิมในแม่น้ำตามลำดับ และจะพิจารณาวิเคราะห์ถึงการการเพิ่มอัตราการไหลเพื่อขับไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2558 ปี พ.ศ. 2563 และปี พ.ศ. 2568 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการน้ำในแม่น้ำท่าจีนต่อไปในอนาคต

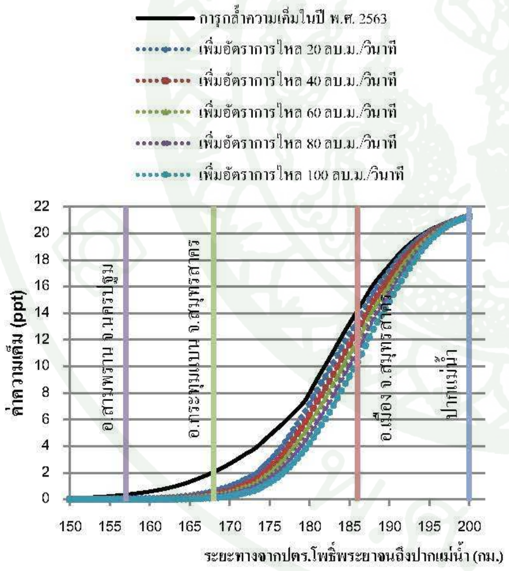
จากการเพิ่มอัตราการไหลและวิเคราะห์จากแบบจำลองพบว่าค่าความเค็มจะค่อยๆถูกผลักดันให้ไหลไปทางปากแม่น้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้ายิ่งเพิ่มอัตราการไหลมากขึ้นเท่าใดจะส่งผลให้ค่าความเค็มในบริเวณนั้นลดลงดังแสดงในรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 6 ตามลำดับ

ในการพิจารณาค่าความเค็มที่อยู่ในช่วงของการเริ่มมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชค่าความเค็มจะอยู่ที่ 0.05 ppt จนถึงค่าความเค็ม 0.3 pptจากการศึกษาพบว่าตำแหน่งค่าความเค็มดังกล่าวในแม่น้ำจะถูกผลักดันออกไปตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล โดยอัตราการไหลที่มีความอ่อนไหวในการขับไล่ความเค็มมากที่สุดจะอยู่ที่ 20 ลบ.ม./วินาที่ ซึ่งจะสามารถขับไล่ความเค็มออกไปได้เป็นระยะทางที่ไกลสุด ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 9ซึ่งจากการที่เพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำจะสังเกตเห็นว่าในการเพิ่มอัตราการไหลในปริมาณมากๆ (40 ลบ.ม.ต่อวินาที ขึ้นไป) จะไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขับไล่ความเค็มมากนัก โดยเมื่อพิจารณาจากความชันของเส้นกราฟในช่วงอัตราการไหล 20-40ลบ.ม.ต่อวินาที จะมีความชันมากกว่าเส้นกราฟในช่วงอัตราการไหล 40 ลบ.ม.ต่อวินาที ขึ้นไปทั้งนี้เป็นผลมาจากพฤติกรรมการไหลในแม่น้ำที่มีระดับน้ำทะเลหนุนอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้น้ำในแม่น้ำไม่สามารถไหลลงทะเลได้อย่างสะดวก ดังนั้นในการเพิ่มอัตราการไหล 20 – 40 ลบ.ม.ต่อวินาที จะทำให้มีประสิทธิภาพในการขับไล่ความเค็มสูงที่สุด

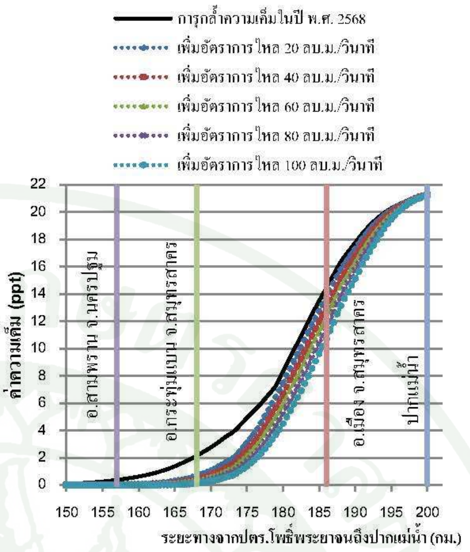
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



รูปที่ 4 การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2558



รูปที่ 5 การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2563

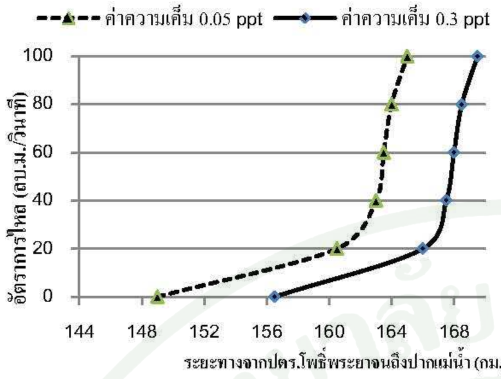


รูปที่ 6 การเพิ่มอัตราการไหลเพื่อไล่ความเค็มในปี พ.ศ. 2568

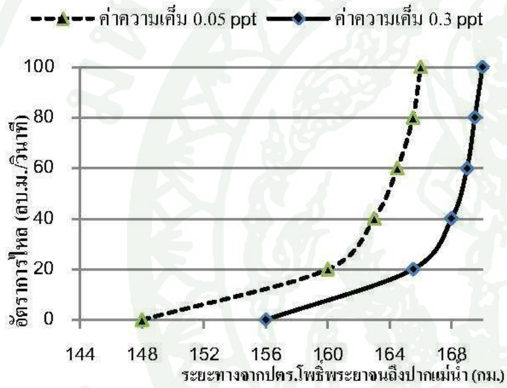
ตารางที่ 2 ตำแหน่งของค่าความเค็มที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในการเพิ่มอัตราการไหล

เพิ่ม Q (ลบ.ม/วินาที)	พ.ศ. 2558		พ.ศ. 2563		พ.ศ. 2568	
	สถานี (กม.)		สถานี (กม.)		สถานี (กม.)	
	0.05 ppt	0.3 ppt	0.05 ppt	0.3 ppt	0.05 ppt	0.3 ppt
0	149	156.5	148	156	147	156
20	160.5	166	160	165.5	159.5	165.5
40	163	167.5	163	168	162.5	167.5
60	163.5	168	164.5	169	164	168.5
80	164	168.5	165.5	169.5	165	169.5
100	165	169.5	166	170.5	166	170

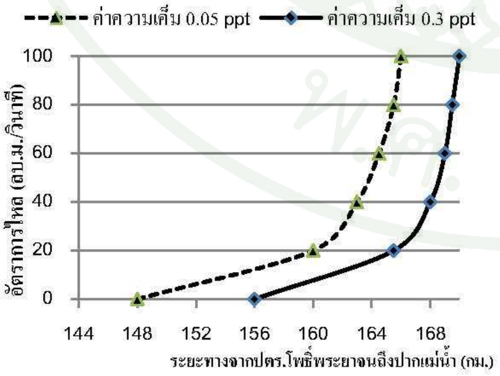
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2558



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2563



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำในปี พ.ศ. 2568

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นกับตำแหน่งตามแนวลำน้ำจะพบว่าการเพิ่มปริมาณการไหลสูงๆจะส่งผลช่วยในการขับไล่ความเค็มในช่วงฤดูแล้งได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการไหลที่เพิ่มขึ้นในปริมาณมากอาจจะส่งผลให้ปริมาณน้ำเกินความจุของลำน้ำเดิมได้ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งท่วมพื้นที่การเกษตรได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณ กม. 40 – กม. 60 (ในช่วง อ.บางปลาม้า และ อ.สองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี) มีความจุลำน้ำไม่เกิน 78 ลบ.ม./วินาที ดังนั้นในการบริหารจัดการในการขับไล่ความเค็มจึงควรพิจารณาขอความร่วมมือในการผันน้ำจากเขื่อนแม่กลองเป็นสำคัญเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในแม่น้ำท่าจีนให้ดีขึ้น

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำมีสาเหตุโดยตรงมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นต่อเนื่องทุกปีบวกกับเกิดการทรุดตัวของสถานีวัดระดับน้ำที่บริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้สามารถพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่แท้จริงเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรต่อปีซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้จะส่งผลถึงการรุกล้ำความเค็มเข้าไปในแม่น้ำได้ไกลขึ้น โดยผลพยากรณ์การรุกล้ำความเค็มในปี 2558 2563 และ 2568 พบว่า ค่าความเค็มจะรุกขึ้นไปถึง กม.149 กม.148 และ กม.147 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบัน ที่จะรุกมาถึงที่ กม.150 และผลการวิเคราะห์ความเค็มในอนาคตปี 2568 ทำให้ทราบว่า บริเวณ บ้านตลาดสามพราน อ.สามพราน จ.นครปฐม ที่ระยะทาง 55 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ หรือในกม.ที่ 147 เรื่อยมาถึงบริเวณปากแม่น้ำ น้ำในแม่น้ำจะมีค่าความเค็มที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้นการควบคุมความเค็มเพื่อลดผลกระทบดังกล่าวจะใช้มาตรการเพิ่มอัตราการไหลในแม่น้ำท่าจีนผลการวิเคราะห์พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลจะแปรผันโดยตรงกับระยะทางการขับไล่ความเค็มที่เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของระยะทางการขับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไล่ความเค็มไม่ได้เป็นสัดส่วนเดียวกับในทุกๆการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล โดยอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อการขับไล่ความเค็มของแม่น้ำท่าจีนจะอยู่ที่ 20-40 ลบ.ม.ต่อวินาที เพราะอัตราการไหลดังกล่าวนี้จะขับไล่ความเค็มให้ออกไปได้ระยะทางไกลกว่าเมื่อเปรียบเทียบระยะทางการขับไล่ความเค็มจากการเพิ่มอัตราการไหลที่สูงกว่านี้ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการขับไล่ความเค็มไม่ได้สูงมากนักทั้งนี้เนื่องจากปัญหาจากน้ำทะเลหนุนที่บริเวณด้านท้ายน้ำส่งผลให้น้ำในแม่น้ำไหลออกไม่สะดวก และอีกประการหนึ่งการเพิ่มอัตราการไหลในปริมาณที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดปัญหาน้ำล้นตลิ่งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรริมฝั่งแม่น้ำได้

8. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการตีพิมพ์จาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และใช้ซอฟแวร์แบบจำลองต่างๆภายใต้ห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองระบบทรัพยากรน้ำด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมชลประทาน กรมเจ้าท่า กรมควบคุมมลพิษและศูนย์อุทกวิทยาภาคตะวันตก ที่อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษาและขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาตลอดการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมชลประทาน. 2541 ก. รายงานการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการประตูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน (ตอนล่าง) จังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดนครปฐมจังหวัดสมุทรสาคร.รายงานด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับหลัก).กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ.

[2] กรมชลประทาน. 2541 ข. การศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการประตูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน (ตอนล่าง) จังหวัดสุพรรณบุรีจังหวัดนครปฐม จังหวัดสมุทรสาคร.รายงานด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับหลัก).กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

[3] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2555. โครงการสำรวจ และศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดินอย่างเป็นระบบในเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

[4] ณัฐวุฒิ อินทบุตรและ วิบูวัฒก์ แต้สมบัติ. 2555. การศึกษาการปรับเทียบแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ของแม่น้ำท่าจีนภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำทะเล.การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่17

[5] ณัฐวุฒิอินทบุตรและ วิบูวัฒก์ แต้สมบัติ. 2557. การศึกษาการแพร่กระจายตามแนวยาวลำน้ำและการรุกล้ำความเค็มในแม่น้ำท่าจีนเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล.วิทยาสารกำแพงแสน. ฉ 2. 2557

[6] พัฒนชัย นิ่มทัศนศิริ และ วิบูวัฒก์ แต้สมบัติ. 2556. การศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำท่าจีนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 5.

[7] ภูวดล พรหมชา.2544. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางประกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE1 1 . วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[8] ยุวเรศ เวชกามา. 2550. การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[9] Becker, M. Meyssignac, B. Letetrel ,C. Llovel, W. Cazenave, A. and Delcroix, T. 2011. Sea level variations at tropical Pacific islands since 1950.Journal of Global and Planetary Change.pp 85-98

[10] Buranapratheprat, A. Yanagi, T. and Matsumura, S. 2008. Seasonal variation in water column conditions in the upper Gulf of Thailand: Journal of Continental Shelf Research. pp 2509-2522.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[11] Cazenave, A. Lombard, A. and Llovel, W. 2008. Present-day sea level rise: A synthesis. Geoscience.pp 761-770.

[12] Danish Hydraulic Institute (DHI). 1995. MIKE 11 Reference Manual.

[13] Fenoglio-Marc, L. Braitenberg, C. and Tunini, L. 2011. Sea level variability and trends in the Ariatic Sea in 1993-2008 form tide gauge satellite altimetry. Physics and Chemistry of the Earth.pp 47-58

[14] Intaboot, N. and Taesombat, W. 2012.A Study on Drainage Efficiency of Shortcut Canal Project in the Lower ThachinRiver. PAWEES 2012 International Conference. Thailand. 6p.

[15] Nguyen, A. D., Savenije, H. H. G., Pham, D. N., and Tang, D. T., 2007. Using salt intrusion measurements to determine the freshwater discharge distribution over the branches of a multi-channel estuary: The Mekong Delta case. Journal of Estuarine Coastal and Shelf Science.Pp 433-445

[16] Trisirisatayawong, I. Neaije, M. Simons, M. and Fenoglio-Marc, L. 2011. Sea level change in the Gulf of Thailand from GPS-corrected tide gauge data and multi-satellite altimetry. Journal of Global and Planetary Change.pp 137-151

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-สกุล	นายณัฐวุฒิ อินทบุตร
เกิดวันที่	28 มิถุนายน 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดสุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยมอันดับ 2) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร (พ.ศ.2544) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (พ.ศ.2547)
สถานที่ปฏิบัติงาน	สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนรัฐบาลกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี พ.ศ. 2553 ประเภททุน ศึกษาภายในประเทศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์