

โครงการวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 4/2560

เรื่อง การศึกษาความยาวของน้ำกระโดดภายในอาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด

The length of hydraulic jump in the regulator structures in front of water diversion tunnel

ดำเนินงานโดย

นาย สิทธิโชค อยู่โต

นาย ชชาติชาย สุขเทียบ

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2560

ใบรับรองโครงการวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรื่อง : การศึกษาความยาวของน้ำกระโดดภายในอาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด

Title : The length of hydraulic jump in the regulator structures in front of water diversion tunnel

นามผู้จัดทำ

นาย สิทธิโชค อยู่โต

นาย ชาติชาย สุขเทียบ

ได้พิจารณาเห็นชอบ

ประธานกรรมการ

.....

(ผศ.ดร.สมชาย คอนเจดีย์)

...../...../.....

กรรมการ

.....

(อ.ดร.ทรงศักดิ์ ภัทราวุฒิชัย)

...../...../.....

กรรมการ

.....

(อ.ดร.จตุเทพ วงษ์เพชร)

...../...../.....

หัวหน้าภาควิชา

.....

(ผศ.นิมิตร เจริญนันทน์พัฒน์)

...../...../.....

บทคัดย่อ

เรื่อง : การศึกษาความยาวของน้ำกระโดดภายในอาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด

โดย : นาย สิทธิโชค อยู่โต

นาย ชาติชาย สุขเทียบ

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผศ.ดร.สมชาย คอนเจ็คย์)

...../...../.....

การศึกษาความยาวของน้ำกระโดดภายในอาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด กรณีศึกษาการผันน้ำจากแม่น้ำโขง เข้าสู่แม่น้ำเลย และผันเข้าสู่อุโมงค์รับน้ำ เพื่อศึกษาถึงชลศาสตร์การไหล และอัตราการไหลที่สามารถผันได้โดยไม่ทำให้น้ำล้นออกจากกำแพงรับน้ำของอาคารรับน้ำ เพื่อเป็นข้อมูล ในการออกแบบอุโมงค์รับน้ำนั้น ได้ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ โดยมาตราส่วนเท่ากันทั้ง แนวราบและแนวตั้ง คือ 1: 58.14 (แบบจำลอง: ของจริง) งานวิจัยนี้ได้ทำการหาความยาวการน้ำกระโดด ภายในอาคารรับน้ำ และหาอัตราการไหลที่สามารถผันได้เมื่อระยะยกบานประตูเปลี่ยนไป ผลการศึกษา พบว่า ลักษณะการกระโดดของน้ำแบ่งออกเป็น 5 ประเภท แต่ละประเภทดูจากค่า Froude Number (Fr) ที่เกิดขึ้นในแต่ละอัตราการไหลและระยะยกบานที่กำหนด ซึ่งการเกิดความยาวของน้ำกระโดดภายในอาคาร รับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด ระยะยกบานจะแปรผันตรงกับความยาวของน้ำกระโดด

ABSTRACT

Title : The length of hydraulic jump in the regulator structures in front of water diversion tunnel

By : Sittichok Yuto

Chartchai Sukteab

Project Adviser

(Assoc.Prof.Somchai Donjadee)

...../...../.....

The length of hydraulic jump in the regulator structures in front of water diversion tunnel. A case study on the diversion of water from the Mekong River and the diversion into tunnel water in accordance with the structure of the water diversion and the flow rate can deviate without overflow out of the walls of the building's water to use as an Information on the design, water tunnel, using a physical model. With the same scale, both horizontally and vertically is 1:58.14 (model: prototype). This research was conducted to determine the length of hydraulic jump in the regulator structures. And a flow rate that can be changed when the lift door phase was changed. The study indicated that the hydraulic jump was divided into 5 categories, each category from the Froude Number (Fr) occurring in the flow rate and lift the pane imposed. For the length of hydraulic jump in the regulator structures, Lift pane was proportional to the length of hydraulic jump.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์สมชาย ดอนเจดีย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาโครงการงานวิจัยในครั้งนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำแนะนำ การแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด อาจารย์ทรงศักดิ์ ภัทราวุธิชัย และอาจารย์จตุเทพ วงษ์เพชร ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนการดำเนินงานในโครงการจนกระทั่งโครงการวิศวกรรมประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณ

โครงการเล่มนี้จะดำเนินงานไม่ได้หากไม่ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ดำเนินการจากกรมชลประทาน อาจารย์สันติ ทองพำนัก และอาจารย์นิมิต เติตพันธ์พิพัฒน์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาโครงการ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา และขอบคุณเพื่อนๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำในการทำโครงการวิศวกรรมนี้

คณะผู้จัดทำ

สิทธิโชค อยู่โต

ชาติชาย สุขเทียบ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
ABSTRACT	
กิตติกรรมประกาศ	
สารบัญ	ก
สารบัญภาพ	ข
สารบัญตาราง	ค
บทนำ	1
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	16
ผลการทดลอง	20
สรุปผลการทดลอง	37

สารบัญญภาพ

เรื่อง	หน้า
1. สภาพภูมิศาสตร์แนวอุโมงค์ผันน้ำ	1
2. บริเวณจัดทำแบบจำลองทางกายภาพ	3
3. ของไหลจินตนาการและของไหลจริง	5
4. ของไหลที่อัดตัวได้และของไหลที่อัดตัวไม่ได้ภายในสนามการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลง	6
5. การไหลแบบ Steady flow และ Unsteady flow	6
6. การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน	7
7. การไหลแบบหมุนและการไหลแบบไม่หมุน	7
8. การไหลแบบอิสระและการไหลแบบท่วมจม	8
9. น้ำกระโดดพื้นราบ	9
10. แบบจำลองอาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด	16
11. ภาพตัดแนวขวางอาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด	16
12. ภาพป้้มที่ติดตั้งบริเวณสระเก็บน้ำ(บ่อ.1)	17
13. ภาพวาล์วเปิดน้ำในบ่อดักตะกอน	18
14. ภาพอาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิดและการยกบานประตู	18
15. ภาพการวัดความยาวการเกิดน้ำกระโดด	19
16. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานประตูกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดด ที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที	29
17. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานประตูกับระดับน้ำที่มานอมิเตอร์ ที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที	36

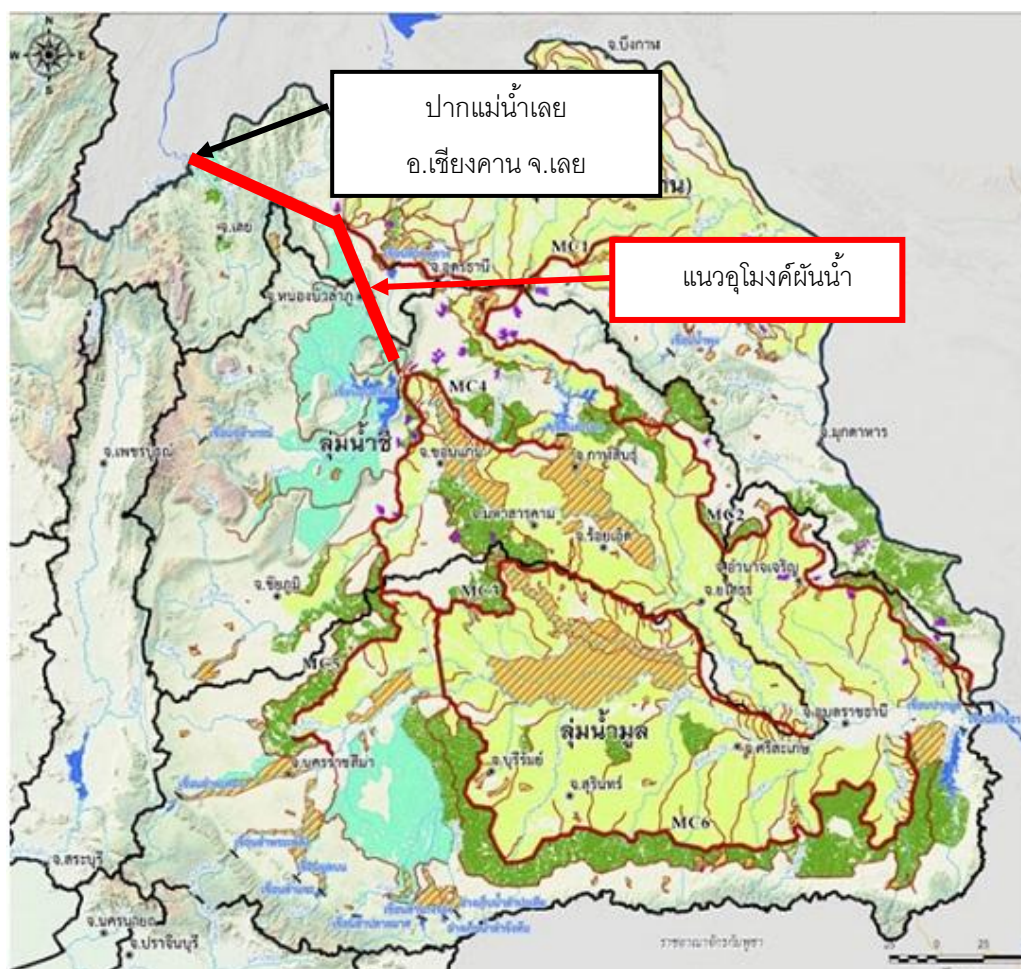
สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
อัตราส่วนของแบบจำลอง (model) และของต้นแบบ (prototype)	13 - 14
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่ระยะยกบาน 0.3 cm	20
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่ระยะยกบาน 0.7 cm	22
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่ระยะยกบาน 1.3 cm	23
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่ระยะยกบาน 1.7 cm	25
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่ระยะยกบาน 3.44 cm	27
ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่மானอมิเตอร์ที่ระยะยกบาน 0.3 cm	31
ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่மானอมิเตอร์ที่ระยะยกบาน 0.7 cm	32
ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่மானอมิเตอร์ที่ระยะยกบาน 1.3 cm	33
ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่மானอมิเตอร์ที่ระยะยกบาน 1.7 cm	34
ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่மானอมิเตอร์ที่ระยะยกบาน 3.44 cm	35

บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภาคที่มีพื้นที่การเกษตรกว่า 63 ล้านไร่ มากที่สุดของประเทศแต่ยังขาดความมั่นคงในเรื่องน้ำ เนื่องจากความไม่สมดุลของการกระจายตัวของฝนและลักษณะภูมิประเทศมีส่วนสำคัญที่ทำให้พื้นที่ภาคอีสานแห้งแล้ง ประสบปัญหาขาดแคลนน้ำ และเกษตรกรต้องพึ่งพาอาศัยน้ำฝนทำการเกษตร นอกจากนี้ในฤดูฝนก็ประสบปัญหาน้ำท่วม โดยเฉพาะพื้นที่ริมขอบแม่น้ำโขง และสองฝั่งลำน้ำชี-มูล (กรมชลประทาน 2560)

โครงการบริหารจัดการน้ำโขง เลข ซี มูล เป็นโครงการที่ใช้ประโยชน์จากสภาพภูมิประเทศบริเวณปากแม่น้ำเลข อ.เชียงคาน จ.เลย โดยจะทำการปรับปรุงปากแม่น้ำเลข ขุดคลองชักน้ำ ขุดเจาะปากทางเข้าอุโมงค์ส่งน้ำ และสร้างอุโมงค์ผันน้ำแสดงจาก ภาพที่ 1 โดยก่อสร้างอาคารชลประทานพร้อมระบบกระจายน้ำ เพื่อกระจายน้ำให้กับพื้นที่ต่างๆ และนำส่วนที่เหลือน้ำไปเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำของเขื่อนต่างๆ เช่น เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ เขื่อนห้วยหลวงจังหวัดอุดรธานี เป็นต้น (กรมชลประทาน 2560)



ภาพที่ 1 สภาพภูมิศาสตร์แนวอุโมงค์ผันน้ำ

กรมชลประทานต้องการเพิ่มพื้นที่ชลประทานในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออีกกว่า 30 ล้านไร่ โดยผ่านโครงการบริหารจัดการน้ำโขง เลข ซี มูล ตามแรงโน้มถ่วงของโลกนั้น ซึ่งจะต้องใช้อุโมงค์ที่มีความยาวมากในการผันน้ำจากปากแม่น้ำเลย ซึ่งเป็นสาขาของแม่น้ำโขง ที่ความสูง 210 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง เพื่อกระจายน้ำผ่านคลองส่งน้ำให้กับพื้นที่การเกษตร ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยแบ่งเป็นการส่งน้ำด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกประมาณ 20 ล้านไร่ และระบบสูบน้ำประมาณ 10 ล้านไร่ (กรมชลประทาน 2559) โครงการดังกล่าวเป็นโครงการขนาดใหญ่ต้องใช้งบประมาณประเทศอย่างมหาศาลและต้องมีการศึกษาข้อดี ข้อเสีย และต้องมีข้อมูลทางด้านวิศวกรรมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ประเด็นต่าง ๆ ได้ ซึ่งการออกแบบอาคารรับน้ำและผันเข้าสู่อุโมงค์ผันน้ำ เป็นส่วนที่สำคัญที่จะต้องศึกษาถึงประสิทธิภาพและศักยภาพในการผันน้ำเข้าสู่อุโมงค์ผันน้ำ

อาคารรับน้ำก่อนผันเข้าสู่อุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด มีความสำคัญต่อการส่งน้ำภายใต้แรงโน้มถ่วง เพราะถ้าทำการ โอเปอเรชั่น(Operation) ไม่เหมาะสม เช่น หากเปิด-ปิด บานประตูไม่เหมาะสม อาจจะทำให้เกิดน้ำล้นกำแพงด้านข้างของอาคารดังกล่าว และอาจเป็นผลเสียขึ้นมาในอนาคตได้

การศึกษาครั้งนี้จะได้ทำการจำลองการเปิดบานประตูเพื่อศึกษาถึงความสามารถที่ให้น้ำไหลผ่าน และน้ำไม่ล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำดังกล่าว และความยาวของน้ำกระโดดที่เกิดขึ้นโดยแบบจำลองกายภาพ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอาคารดังกล่าวต่อไป

พื้นที่ศึกษา

การสร้างแบบจำลองทางกายภาพอุโมงค์ผันน้ำได้ทำการเลือกพื้นที่การศึกษาริเวณใกล้กับสระเก็บน้ำ(บ่อ.1) ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน พื้นที่การสร้างแบบจำลองเป็นแนวดินลูกรัง มีระยะทางยาวประมาณ 2 กิโลเมตร กว้างประมาณ 6 เมตร มีการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 แม่น้ำโขง-ปากแม่น้ำเลย-คลองชักน้ำ และส่วนที่ 2 อุโมงค์ผันน้ำ ซึ่งส่วนที่ทำการทดลองคือส่วนที่ 2 ช่วงบ่อคัดตะกอนจนถึงอาคารรับน้ำ มีขนาดความยาว 13.8 เมตร(ความยาวจริงเท่ากับ 802.332 เมตร) ความกว้าง 2.6 เมตร(ความกว้างจริงเท่ากับ 35.88 เมตร) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 บริเวณจัดทำแบบจำลองกายภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

จากภาพที่ 2

ส่วนที่ 1. แม่น้ำโขง-ปากแม่น้ำเลย คลองซำน้ำ ครอบคลุมแม่น้ำโขงบริเวณปากแม่น้ำเลยความยาวประมาณ 9 กิโลเมตร แม่น้ำเลยตั้งแต่ด้านเหนือน้ำจนถึงจุดบรรจบแม่น้ำโขง ความยาวประมาณ 7 กิโลเมตร และซำน้ำความยาวประมาณ 8 กิโลเมตร

ส่วนที่ 2. อุโมงค์ผัน ครอบคลุมช่วงปลายคลองซำน้ำ อาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ซี-มูล 1 อุโมงค์ (ความยาว 85.363 กิโลเมตร) อาคารทางออกอุโมงค์ พร้อมอาคารประกอบต่างๆ ในอุโมงค์ผันที่สำคัญต่อชลศาสตร์การไหลพื้นที่สำหรับสร้างแบบจำลองกายภาพอุโมงค์ ได้ทำการเลือกพื้นที่บริเวณใกล้ กับสระเก็บน้ำ(บ่อ.1) ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน ซึ่งเป็น แนวลูกรังริมคันบ่อ.1 เชื่อมต่อกับถนนดินในพื้นที่ใกล้เคียง มีระยะทางยาวประมาณ 2 กิโลเมตร กว้างประมาณ 6 เมตรและมีแนวค่อนข้างตรง

ซึ่งส่วนที่ทำการทดลองอยู่ในส่วนที่ 2

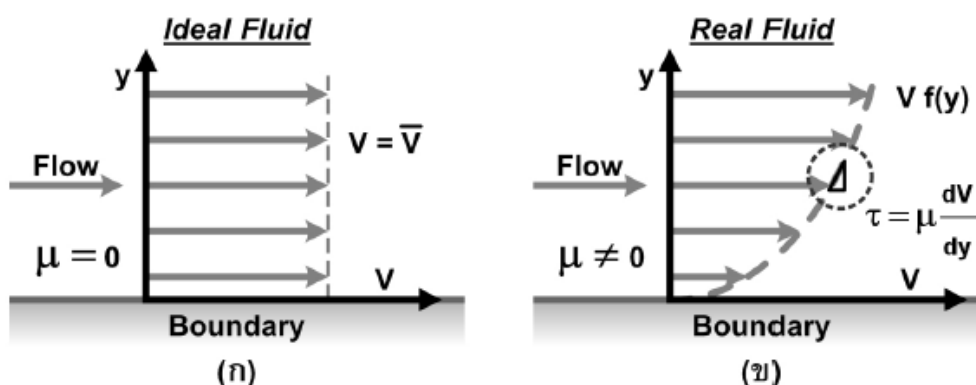
(กรมชลประทาน 2560)

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากคุณสมบัติหลายประการของของไหลสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพแวดล้อม (เช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น) และเวลา ในสภาพปัญหาหนึ่งๆ ถึงแม้การไหลจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเดียวกัน แต่พฤติกรรมของการไหลอาจไม่เหมือนกัน ดังนั้นการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงสมมุติฐานที่สอดคล้องกับสภาพปัญหานั้นๆ จากพฤติกรรมการไหลที่แตกต่างกันนี้ เราสามารถแบ่งประเภทของการไหลโดยพิจารณาได้จากหลายหลักเกณฑ์ ในที่นี้จะกล่าวถึงการแบ่งประเภทการไหลโดยพิจารณาใน 5 หลักเกณฑ์ดังนี้

1. ของไหลจริงและของไหลจินตนาการ (Real Fluid and Ideal Fluid)

ในสนามการไหลของของไหลจริง (Real Fluid) จะมีผลกระทบจากความหนืด ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเค้นเฉือนขึ้นระหว่างอนุภาคของของไหลเมื่ออนุภาคของไหลมีความเร็วแตกต่างกัน ส่วนของไหลจินตนาการ (Ideal Fluid) เป็นการไหลที่สมมุติให้ของไหลไม่มีผลกระทบเนื่องจากความหนืด (การไหลที่ไม่เกิดขึ้นจริง) ดังนั้นในสนามการไหลจะไม่เกิดแรงเค้นเฉือนระหว่างอนุภาคของของไหล และความเร็วของอนุภาคของไหลจะเท่ากัน (Ven Te Chow 1973)

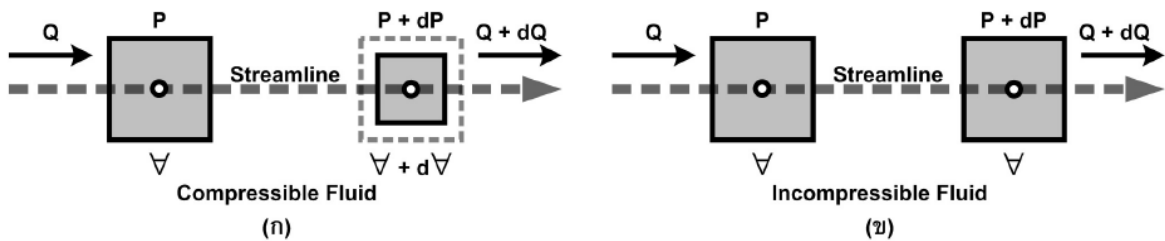


ภาพที่ 3 (ก) ของไหลจินตนาการ (ข) ของไหลจริง

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยส่วนมากเมื่อก้าวถึงการไหล จะหมายถึงการไหลจินตนาการที่ไม่มีผลกระทบเนื่องจากความหนืด และความเร็วคงที่ในบริเวณที่พิจารณา

2. พิจารณาจากคุณสมบัติในการบีบอัดของของไหล (Compressibility)

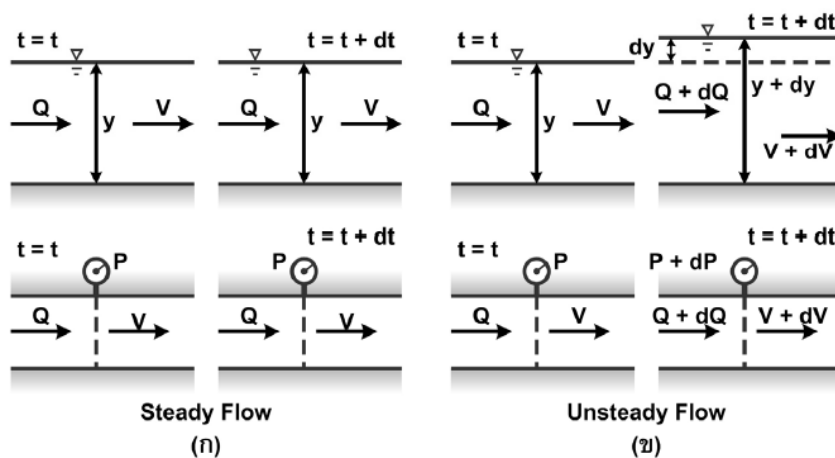
หากของไหลอัดตัวได้ (Compressible Fluid) เคลื่อนที่ในสนามการไหลเมื่อความดันเปลี่ยนแปลงไป ปริมาตรของของไหลจะเกิดการเปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์หัตถการไหลจึงมีความซับซ้อนมากขึ้นดังรูป (ก) ในทางตรงกันข้าม หากของไหลอัดตัวไม่ได้ (Incompressible Fluid) เคลื่อนที่ในสนามการไหล ของไหลจะมีปริมาตรคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของความดัน ในการวิเคราะห์หัตถการไหลจะมีความซับซ้อนน้อยลงดังรูป (ข) โดยส่วนมากของไหลมีสถานะเป็นของเหลวจะถือว่าของไหลนั้นเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้



ภาพที่ 4 (ก) ของไหลที่อัดตัวได้ และ (ข) ของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ภายในสนามการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลง

3. พิจารณาจากการเปรียบเทียบกับเวลา

เมื่อพิจารณาที่จุดใดจุดหนึ่งในสนามการไหล หากในช่วงเวลาที่วิเคราะห์ค่าของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะถือว่าการไหลนั้นไม่แปรเปลี่ยนตามเวลาหรือที่เราเรียกว่า Steady Flow ในทางตรงกันข้ามหากในช่วงเวลาที่วิเคราะห์ค่าของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดจะถือว่าการไหลนั้นแปรเปลี่ยนตามเวลาหรือที่เราเรียกว่า Unsteady Flow

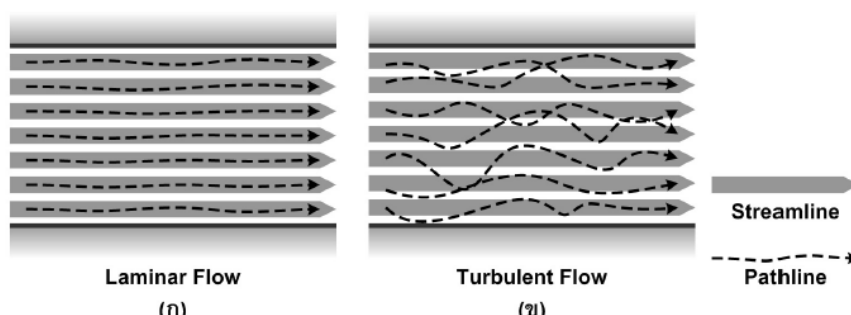


ภาพที่ 5 (ก) การไหลแบบ Steady flow และ (ข) การไหลแบบ Unsteady flow

4. พิจารณาจากเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคของไหล

หากพิจารณาจากเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคของไหลในสนามการไหล เราสามารถแบ่งประเภทการไหลได้เป็น 2 ลักษณะคือ

- การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบไปตามเส้นทางที่แน่นอน (เคลื่อนที่ไปตาม Stream Line) สภาพการไหลไม่มีความปั่นป่วน การไหลประเภทนี้มักเกิดกับการไหลของของไหลที่มีความหนืดสูง หรือการไหลที่มีความเร็วต่ำมากๆ (รูป ก)
- การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ อนุภาคของของไหลมีเส้นทางการเคลื่อนที่ไม่แน่นอน สภาพการไหลในสนามการไหลมีความปั่นป่วน การไหลประเภทนี้มักเกิดกับการไหลที่มีความหนืดต่ำ หรือการไหลที่มีความเร็วสูง (รูป ข)

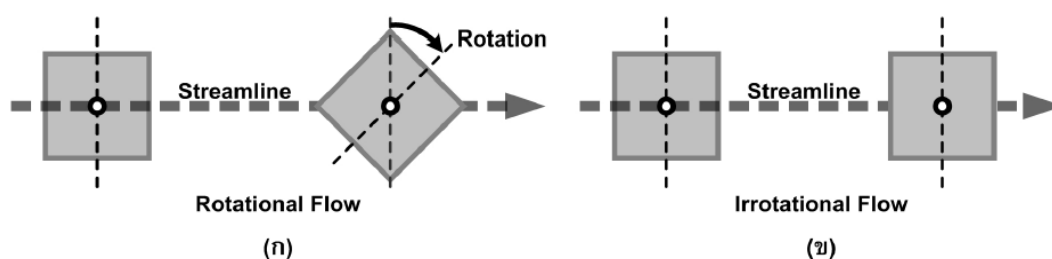


ภาพที่ 6 (ก) การไหลแบบราบเรียบ และ (ข) การไหลแบบปั่นป่วน

5. พิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนตัวของอนุภาคของไหล

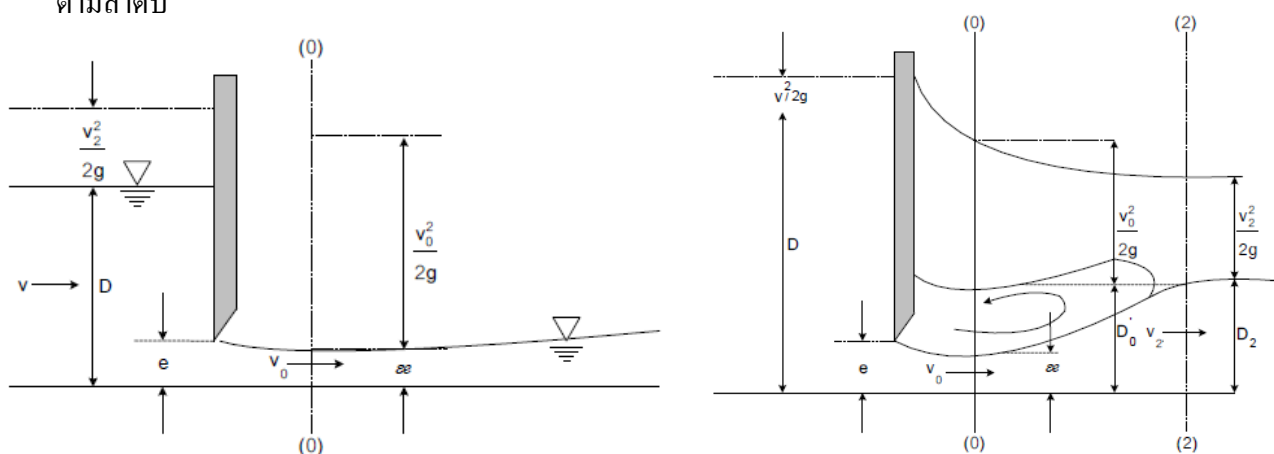
หากพิจารณาจากลักษณะของการเคลื่อนตัวของอนุภาคของของไหล สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

- การไหลแบบหมุน (Rotational Flow) คือการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปพร้อมกับการหมุน
- การไหลแบบไม่หมุน (Irrotational Flow) คือการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปแต่ไม่มีการหมุน โดยส่วนมากในการวิเคราะห์ปัญหาเกี่ยวกับการไหลจะสมมุติให้การไหลเป็นแบบ Irrotational Flow



ภาพที่ 7 (ก) การไหลแบบหมุน และ(ข) การไหลแบบไม่หมุน

น้ำที่ไหลผ่านประตูระบายอาจจำแนกออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ การไหลแบบอิสระ (Free Flow Condition) และการไหลแบบท่วมจม (Submerged Flow Condition) ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



1) การไหลแบบอิสระ (Free Flow)

2) การไหลแบบท่วมจม (Submerged)

ภาพที่ 8 (1) การไหลแบบอิสระ และ(2) การไหลแบบท่วมจม

1. การไหลแบบอิสระ (Free Flow Condition)

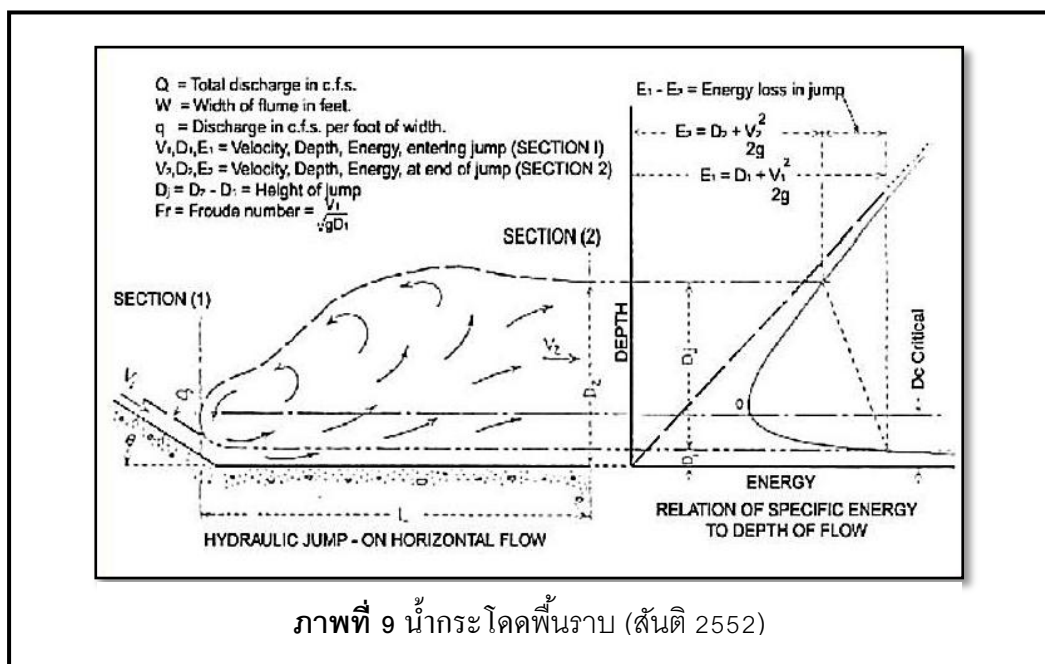
การไหลในลักษณะนี้จะสังเกตได้ว่าก่อนที่น้ำจะไหลเข้าสู่ส่วนที่เป็นคอคอด การไหลจะอยู่ในสภาพ Sub-Critical Flow คือ ไหลค่อนข้างช้า แต่เมื่อไหลผ่านคอคอด พื้นที่ลาดเอียงมาก ในบริเวณนั้นจะทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจนกลายเป็นการไหลแบบ Super-Critical Flow ตรงปากทางออกก็จะเกิดน้ำกระโดด แล้วการไหลจะเปลี่ยนกลับเป็น Sub-Critical Flow อีกครั้งหนึ่ง

ลักษณะการไหลเช่นนี้ ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำของอาคารรับน้ำเกิดขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้จะไม่ผลกระทบต่อระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำ เว้นเสียแต่ว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นจะมากจนทำให้น้ำกระโดด เคลื่อนที่เข้ามาท่วมในบริเวณคอคอด จนทำให้ไม่มีการไหลส่วนที่เป็น Super Critical Flow เหลืออยู่

2. การไหลแบบท่วมจม (Submerged Flow Condition)

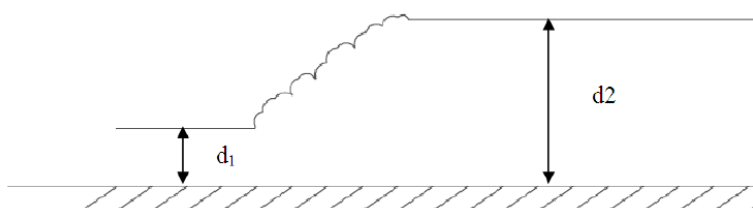
ถ้าระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำเอ่อสูงขึ้นจนดันให้น้ำกระโดด เคลื่อนที่ย้อนกลับเข้ามาในส่วนที่เป็นคอคอด และท่วมทับบริเวณที่การไหลควรจะเป็นแบบ Super-Critical Flow จนหมดแล้ว ต่อไปถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำอีก จะทำให้ระดับน้ำทางด้านปากทางเข้าอาคารรับน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วย ลักษณะการไหลแบบนี้เรียกว่า การไหลแบบท่วมจม ซึ่งในสภาพนี้จะไม่สามารสังเกตเห็นส่วนที่เป็น Super-Critical Flow และน้ำกระโดดได้ การไหลจะเป็นแบบ Sub-Critical Flow ตลอดตัว Flume (นิมิตร 2000)

น้ำกระโดดจะเกิดขึ้นในทางน้ำที่มีสภาวะการไหลปกติเป็น Subcritical Flow แต่เมื่อน้ำไหลผ่านอาคารชลศาสตร์ที่ทำให้การไหลด้านท้ายอาคารเป็น Supercritical Flow การไหลจะต้องเปลี่ยนกลับไปเป็น Subcritical Flow ในการวิเคราะห์ จะใช้ Froude Number (Fr) เป็นดัชนีบอกสภาวะการไหล โดยสภาวะการไหลที่มีความลึกน้อยแต่ความเร็วมาก จะมีค่า Froude Number (Fr) มากกว่า 0 เรียกว่า Supercritical Flow แต่ถ้าการไหลที่มีความลึกมากแต่ความเร็วน้อย จะมีค่า Froude Number (Fr) น้อยกว่า 0 เรียก Subcritical Flow



ภาพที่ 9 น้ำกระโดดพื่นราบ (สันติ 2552)

ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของน้ำก่อนเกิดและหลังน้ำกระโดดสำหรับทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากหลักการของโมเมนตัมดังรูปที่ 3 สามารถหาสมการน้ำกระโดดในทางน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าและอยู่บนพื่นราบได้ (สันติ 2552) ดังนี้คือ



$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1)$$

เมื่อ D_2 และ D_1 = ความลึกของน้ำหลังและก่อน Jump

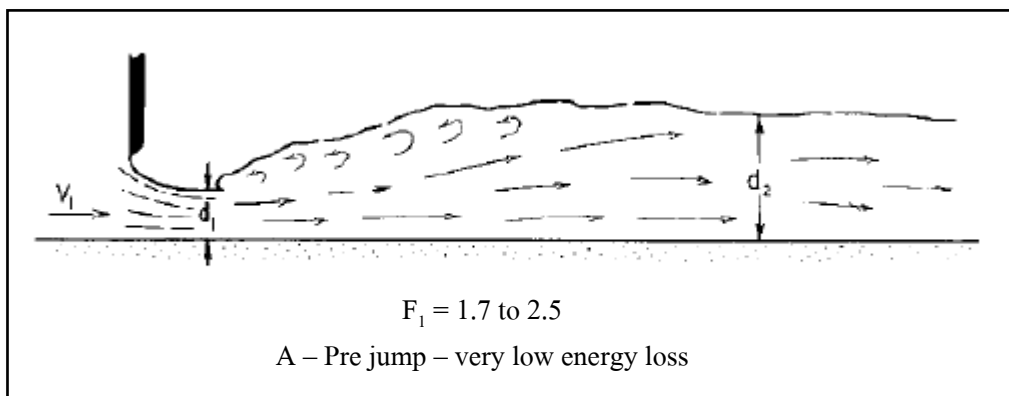
Fr_1 = Froude number ของการไหลก่อนเปิด Jump

การแบ่งประเภทของน้ำกระโดด

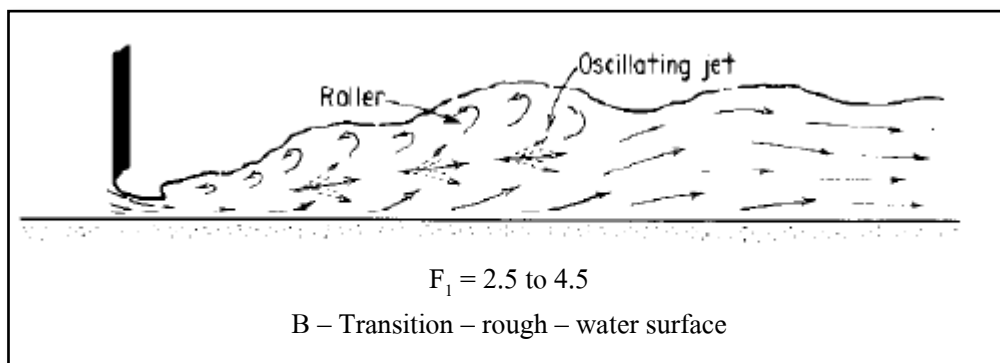
ประเภทของน้ำกระโดด จะแบ่งตามค่าของ Froude Number ดังต่อไปนี้

$Fr < 1.0$ ไม่เกิดผิวน้ำกระโดดได้เพราะหากเกิดขึ้นจะเป็นการละเมิดกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์
 $Fr = 1.0 - 1.7$ ผิวน้ำเป็นคลื่นนิ่ง (standing wave) ที่มีรอยหยักสูง ความยาวของผิวน้ำกระโดดตามแนวน้ำประมาณ 4 เท่าของความลึกนี้ เป็นเพราะอยู่ใกล้ค่าวิกฤตซึ่งพลังงานเปลี่ยนค่าอย่างรวดเร็ว

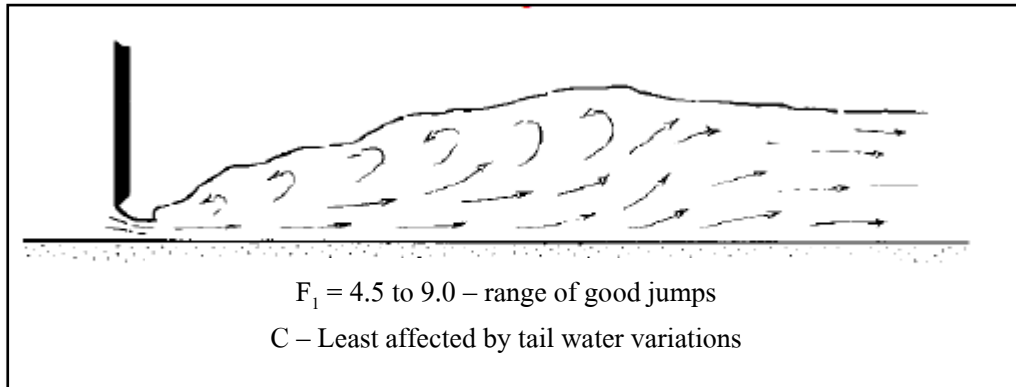
$Fr = 1.7-2.5$ แบบที่ 1 เรียกว่า Pre jump เมื่อ ผิวน้ำเป็นคลื่นขนาดเล็ก ในช่วงนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ Stilling Basin มีการสลายพลังงานประมาณ 20%



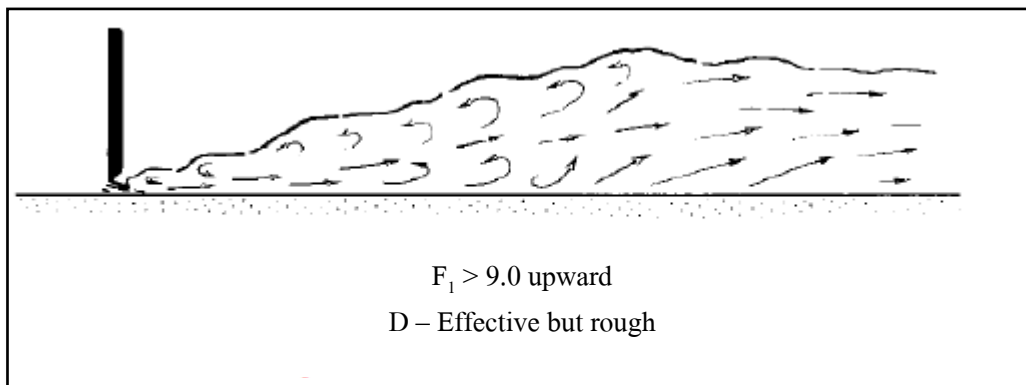
$Fr = 2.5 - 4.5$ แบบที่ 2 เรียกว่า Transition เมื่อ ปกติมักพบเห็นเสมอๆ ในอาคารขนาดเล็ก มีการปั่นป่วนของน้ำที่พื้นและที่ผิวน้ำสลับกันไปไม่แน่นอน ทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นระยะทางหลายกิโลเมตร ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตลิ่งและหินทิ้ง การสลายพลังงานประมาณประมาณ 15 - 45%



$Fr = 4.5 - 9.0$ เป็นแบบ Stabilized Jump เมื่อน้ำกระโดดมีความเสถียรดี และไม่เปลี่ยนแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ไหลทางด้านปลายน้ำ มีการสลายพลังงานประมาณ 45 - 70% ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่ควรใช้ในการออกแบบ



$Fr > 9.0$ น้ำจะพุ่งเข้าสู่น้ำกระโดดด้วยความเร็วสูงมาก d_1 และ d_2 จะมีค่าต่างกันมาก กรณีนี้ความยาวน้ำกระโดด จะต้องวัดจากตำแหน่งคลื่นม้วนบนผิวน้ำ เนื่องจากกระแสน้ำความเร็วสูงพุ่งขึ้นจากพื้นที่ก่อนที่จะหมดระยะน้ำกระโดด คลื่นม้วนอาจเคลื่อนตัวลงตามแนวหน้าน้ำกระโดดคู่กระแสน้ำที่พุ่งด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดคลื่นเคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นบางครั้ง ผิวน้ำปั่นป่วนมาก อาจสลายพลังงานได้ถึง 70 - 85% ซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางออกแบบได้ในกรณีที่ต้องการสูญเสียมาก หรือต้องการการผสมมากที่สุด



ความยาวของน้ำกระโดด

ผู้ที่ทำการศึกษา	สูตรที่นำเสนอ
Bakhmeteff	$L_j = 5(d_2 - d_1)$
Smetana	$L_j = 6(d_2 - d_1)$
Wu	$L_j = 10(d_2 - d_1)F_1^{0.16}$
Page	$L_j = 5.6d_2$
Chertoussov	$L_j = 10.3d_1(F_1 - 1)^{0.81}$
Posey	$L_j = 4.5 - 7(d_2 - d_1)$ โดยประมาณ

(ที่มา สันติ 2552)

เมื่อ L_j = ความยาวของน้ำกระโดด

D_1 = ความลึกของน้ำก่อนเกิดน้ำกระโดด

D_2 = ความลึกของน้ำหลังเกิดน้ำกระโดด

Fr_1 = ค่า Froude Number

(สันติ 2552)

การย่อส่วนแบบจำลอง

เนื่องจากอุโมงค์ต้นแบบมีความยาวมากประมาณ 85.36 กิโลเมตรและมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 เมตรเมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการจัดทำแบบจำลองทางกายภาพให้สอดคล้องกับสภาพจริงในด้านศาสตร์ความเหมาะสมของสถานที่ก่อสร้างและงบประมาณรวมทั้งวัสดุที่จะใช้ทำอุโมงค์ในแบบจำลอง จึงได้กำหนดมาตราส่วนในการจัดสร้างแบบจำลองเป็นแบบ undistorted scale (มาตราส่วนแนวราบและแนวตั้งมีค่าเท่ากัน) ในอัตราส่วน 1:58.14 โดยใช้ท่ออะคริลิกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.18 เมตรหนา 4 มิลลิเมตรความยาวประมาณ 1.47 กิโลเมตรมาใช้ในการจำลองเป็นอุโมงค์ดังกล่าว โดยมีหลักการในการหาอัตราส่วนอื่นตามตารางที่ 1 เมื่อกำหนดสัญลักษณ์ตัวห้อย “m” และ “p” แทนค่าของแบบจำลอง (model) และของต้นแบบ (prototype) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของแบบจำลอง (model) และของต้นแบบ (prototype)

สมการ	ที่มา	ตัวแปร
$\frac{L_p}{L_m} = L_r$	$\frac{L_p}{L_m} = L_r = 58.14$	L_p คือ ความยาวต้นแบบ L_m คือ ความยาวของแบบจำลอง
$\frac{V_p}{V_m} = L_r^{0.5}$	$V = \sqrt{gy_c}$ $\frac{V_p}{V_m} = \frac{\sqrt{9.81 \times L_r}}{\sqrt{9.81 \times 1}}$ $V_p = L_r^{0.5} V_m = 7.62 V_m$	g คือ ค่าความโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 9.81 เมตรต่อวินาที ² y_c คือ ความยาว
$\frac{P_p}{P_m} = L_r$	$\frac{P_p}{P_m} = L_r = 58.14$	P_p คือ ความดันน้ำของต้นแบบ P_m คือ ความดันน้ำของแบบจำลอง

สมการ	ที่มา	ตัวแปร
$\frac{Q_p}{Q_m} = L_r^{2.5}$	$Q = C_d b \sqrt{g H^3}$ $\frac{Q_p}{Q_m} = \frac{C_d \times L_r \times \sqrt{9.81 \times L_r^{1.5}}}{C_d \times 1 \times \sqrt{9.81 \times 1^{1.5}}}$ $Q_p = L_r^{2.5} \times Q_m$ $= 25774.34 Q_m$	<p>C_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราไหล</p> <p>b คือ ความกว้างตั่งฉาก</p> <p>g คือ ค่าความโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 9.81 เมตรต่อวินาที²</p> <p>H คือ ความสูง</p>
$\frac{n_p}{n_m} = L_r^{1/6}$	$V = \frac{1}{n} R^2 S^2$ $n = \frac{1}{V} R^2 S^2$ $\frac{n_p}{n_m} = \frac{\frac{1}{\sqrt{9.81 \times L_r}} \left(\frac{L_r^2}{3L_r}\right)^2 S^2}{\frac{1}{\sqrt{9.81 \times 1}} \left(\frac{1^2}{3}\right)^2 S^2}$ $n_p = L_r^{1/6} V_m = 1.97 V_m$	<p>R คือ รัศมีผิวกระโดด (A/P)</p> <p>S คือ ความลาดชันของแบบจำลอง คลองชลประทาน</p> <p>A คือ พื้นที่รูปตัดลาน้ำ</p> <p>P คือ ความยาวของเส้นขอบเปียก</p> <p>V คือ ความเร็วการไหล</p>

ดังนั้นสามารถแสดงมาตราส่วนของความคล้ายคลึงกันของฟรูดนัมเบอร์ ในเทอมต่างๆ ได้ดังนี้

$$- \text{ ความยาว} \quad L_{p/m} = L_r = 58.14 \quad (1)$$

$$- \text{ ความเร็วการไหล} \quad V_{p/m} = L_r^{0.5} = 7.62 \quad (2)$$

$$- \text{ อัตราการไหล} \quad Q_{p/m} = L_r^{2.5} = 25774.34 \quad (3)$$

$$- \text{ ความดันน้ำ} \quad P_{p/m} = V_r = 58.14 \quad (4)$$

$$- \text{ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Manning's n)} \quad V_{p/m} = V_r^{1/6} = 1.97 \quad (5)$$

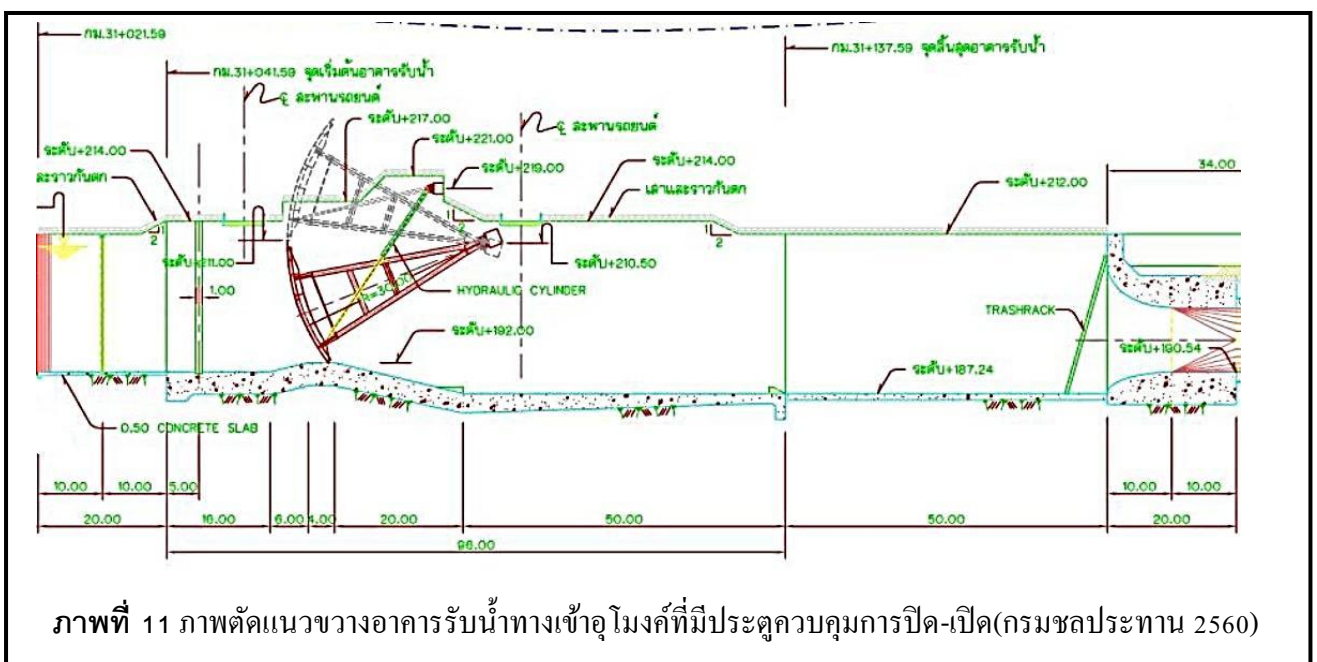
(กรมชลประทาน 2560)

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้จำลองอาคารรับน้ำเพื่อผันน้ำเข้าอุโมงค์รับน้ำ เพื่อศึกษาหาความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่เกิดขึ้นในอาคารรับน้ำดังกล่าว โดยมีประตูควบคุมการปิด-เปิด อาคารรับน้ำดังกล่าวนี้สร้างโดยใช้วัสดุพลาสติกแข็งใส ซึ่งมีขนาดความกว้าง 18.80 เมตร (ความกว้างในแบบจำลอง 0.32 เมตร) ความยาว 166 เมตร (ความยาวในแบบจำลอง 2.85 เมตร) ภายในมีบานประตูลักษณะบานโค้ง ดังภาพที่ 10 และภาพที่ 11



ภาพที่ 10 แบบจำลองอาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด



ภาพที่ 11 ภาพตัดแนวขวางของอาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด(กรมชลประทาน 2560)

วิธีการทดลอง

การศึกษาความยาวของน้ำกระโดดภายในอาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด มีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

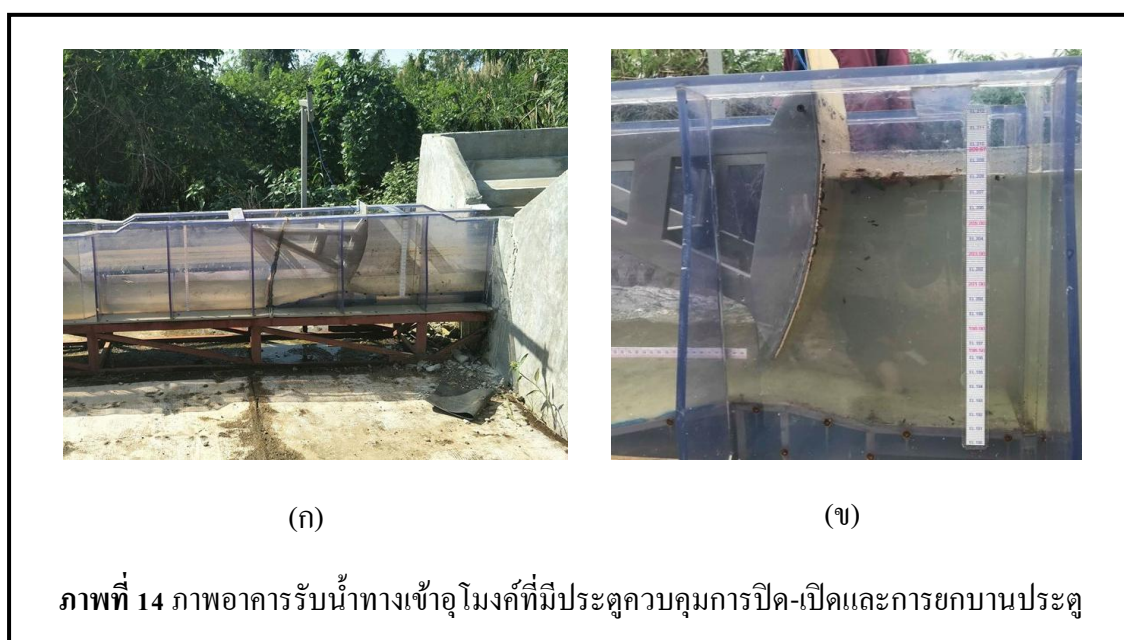
1. เปิดปั๊มที่ติดตั้งอยู่ที่บริเวณสระเก็บกักน้ำ (ในการศึกษารั้งนี้ได้ทำการสูบน้ำจากบ่อขนาดพื้นที่ 206,473.35 ตารางเมตร ซึ่งเรียกว่า บ่อ.1 ดังภาพที่ 12) เพื่อลำเลียงน้ำผ่านท่อพีวีซี และปล่อยเข้าบ่อคัดตะกอนขนาดกว้าง 145.35 เมตร (ความกว้างในแบบจำลอง 2.6 เมตร) ความยาว 500 เมตร (ความยาวในแบบจำลอง 8.60 เมตร) ดังภาพที่ 12



2. เปิดวาล์วน้ำที่อัตราการไหลตามลำดับเพื่อปล่อยน้ำลงสู่บ่อคัดตะกอน ซึ่งวาล์วน้ำจะมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ 7 ค่า (การทดลองนี้ได้วัดอัตราการไหลโดยวิธี Volumetric method ทำการเก็บค่า 3 ครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย) ดังนี้ 0.518, 1.097 , 1.950 , 2.823 , 3.892 , 4.251 และ 4.805 ลิตรต่อวินาที เมื่อนำอัตราการไหลจากแบบจำลองแปลงค่าเป็นอัตราการไหลจริงจากสมการที่(3) จะได้อัตรา การไหลจริงเท่ากับ 13.351 , 28.274 , 50.260 , 72.761, 100.314 , 109.557 และ 123.846 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



3. เมื่อน้ำเข้าสู่อาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิด ยกบานประตูตามระยะที่กำหนดซึ่งระยะยกบานประตูกำหนดไว้ที่ 0.3 , 0.7 , 1.3 , 1.7 และ 3.44 เซนติเมตร



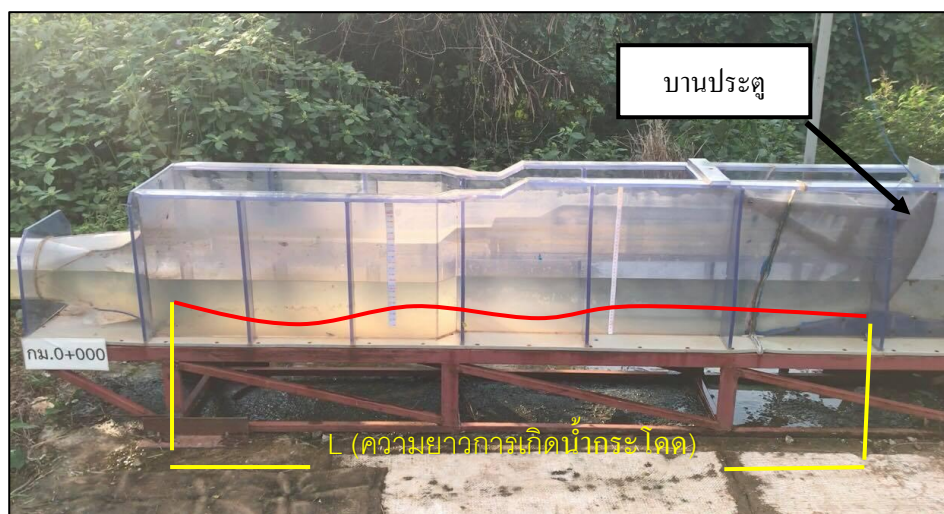
4. รอนกะทั่งน้ำที่ไหลเข้าสู่อาคารรับน้ำทางเข้าอุโมงค์ที่มีประตูควบคุมการปิด-เปิดและมีระดับน้ำหน้าประตูคงที่ (การไหลเป็นแบบคงที่, steady flow) จึงเริ่มสังเกตการณ์ลักษณะการไหลและวัดความยาวของน้ำกระโดดที่เกิดขึ้นหลังบานประตูน้ำ



(ก) การวัดการเกิดน้ำกระโดด



(ข) ลักษณะการเกิดน้ำกระโดด



(ค)

ภาพที่ 15 ภาพการวัดความยาวการเกิดน้ำกระโดด

5. ดำเนินการปรับระยะยกบาน และอัตราการไหลตามที่กำหนด

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาความยาวของน้ำกระโดดและลักษณะการไหลของน้ำผ่านอาคารรับน้ำ ขนาดความยาว 256 เมตร (ความยาวในแบบจำลอง 4.40 เมตร) ความกว้าง 18.80 เมตร (ความกว้างในแบบจำลอง 0.323 เมตร) โดยผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2 – ตารางที่ 6

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่ระยะยกบาน 0.3 cm

Q	ระยะยกบาน (y)	Length of Jump (L)	หมายเหตุ
(l/s)	(cm.)	(cm.)	
4.805	0.3	-	น้ำล้น
4.251	0.3	-	น้ำล้น
3.892	0.3	-	น้ำล้น
2.823	0.3	-	น้ำล้น
1.95	0.3	-	น้ำล้น
1.097	0.3	-	น้ำล้น
0.518	0.3	51	-

หมายเหตุ : น้ำล้น คือ น้ำที่ล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

จากตารางที่ 2 เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 0.518 ลิตรต่อวินาที และความเร็วมีค่าเท่ากับ 17.75 เมตรต่อวินาที ทำให้มีค่า $Fr = 1.603$ มีลักษณะผิวเป็นคลื่นนิ่ง (standing wave) ที่มีรอยหยักสูง ความยาวของผิวกระโดดตามแนวน้ำประมาณ 4 เท่าของความลึกนี้ เป็นเพราะอยู่ใกล้ค่าวิกฤตซึ่งพลังงานเปลี่ยนค่าอย่างรวดเร็ว

จากการศึกษาหาอัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูโดยพิจารณาการเปิดบานประตูที่เหมาะสม โดยการศึกษาพบว่าหากเปิดบานประตูเท่ากับ 0.3 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 0.174 เมตร) อัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูและน้ำไม่ล้นออกจากกำแพงอาคารรับน้ำคือ 0.518 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) และหากมีอัตราการไหลเข้าอาคารรับน้ำมากกว่า 1.097 ลิตรต่อวินาที จะทำให้น้ำล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ(ในการทดลองนี้จะไม่ทำการวัดความยาวของน้ำกระโดดหากมีน้ำไหลล้นข้ามกำแพงอาคารรับน้ำ)

สำหรับที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) สามารถวัดความยาวของการเกิดน้ำกระโดดมีความยาวเท่ากับ 51 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระยะจริงจากสมการที่(1) เท่ากับ 29.651 เมตร ซึ่งยังเกิดอยู่ในอาคารรับน้ำ

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่ระยะยกบาน 0.7 cm

Q	ระยะยกบาน (y)	Length of Jump (L)	หมายเหตุ
(l/s)	(cm.)	(cm.)	
4.805	0.7	-	น้ำล้น
4.251	0.7	-	น้ำล้น
3.892	0.7	-	น้ำล้น
2.823	0.7	-	น้ำล้น
1.95	0.7	-	น้ำล้น
1.097	0.7	-	น้ำล้น
0.518	0.7	63.5	-

หมายเหตุ : น้ำล้น คือ น้ำที่ล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

จากตารางที่ 3 เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 0.518 ลิตรต่อวินาที และความเร็วมีค่าเท่ากับ 17.75 เมตรต่อวินาที ทำให้มีค่า $Fr = 1.7$ มีลักษณะเป็นแบบ Pre jump มีลักษณะผิวน้ำเป็นคลื่นขนาดเล็ก ในช่วงนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ Stilling Basin มีการสลายพลังงานประมาณ 20%

จากการศึกษาหาอัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูโดยพิจารณาการเปิดบานประตูที่เหมาะสม โดยการศึกษาพบว่าหากเปิดบานประตูเท่ากับ 0.7 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 0.407 เมตร) อัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูและน้ำไม่ล้นออกจากกำแพงอาคารรับน้ำคือ 0.518 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) และหากมีอัตราการไหลเข้าอาคารรับน้ำมากกว่า 1.097 ลิตรต่อวินาที จะทำให้น้ำล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ (ในการทดลองนี้จะไม่ทำการวัดความยาวของน้ำกระโดดหากมีน้ำไหลล้นข้ามกำแพงอาคารรับน้ำ)

สำหรับที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) สามารถวัดความยาวของการเกิดน้ำกระโดดมีความยาวเท่ากับ 63.5 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระยะจริงจากสมการที่(1) เท่ากับ 36.919 เมตร ซึ่งยังเกิดอยู่ในอาคารรับน้ำ

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่ระยะยกบาน 1.3 cm

Q	ระยะยกบาน (y)	Length of Jump (L)	หมายเหตุ
(l/s)	(cm.)	(cm.)	
4.805	1.3	-	น้ำล้น
4.251	1.3	-	น้ำล้น
3.892	1.3	-	น้ำล้น
2.823	1.3	120	-
1.950	1.3	103	-
1.097	1.3	92.5	-
0.518	1.3	90.25	-

หมายเหตุ : น้ำล้น คือ น้ำที่ล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

จากตารางที่ 4 เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 1.950 - 2.823 ลิตรต่อวินาที และความเร็วมีค่าเท่ากับ 66.835 - 96.757 เมตรต่อวินาที ทำให้มีค่า $Fr = 5.765 - 7.342$ มีลักษณะเป็นแบบ Stabilized Jump เมื่อน้ำกระโดดมีความเสถียรดี และไม่เปลี่ยนแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ไหลทางด้านปลายน้ำ การการสลายพลังงานประมาณ 45 - 70% ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่ควรใช้ในการออกแบบ

ที่อัตราการไหลเท่ากับ 1.097 ลิตรต่อวินาที และความเร็วมีค่าเท่ากับ 37.600 เมตรต่อวินาที ทำให้มีค่า $Fr = 3.51$ มีลักษณะเป็นแบบที่ 2 เรียกว่า Transition เมื่อ ปกติมักพบเห็นเสมอๆ ในอาคารขนาดเล็ก มีการปั่นป่วนของน้ำที่พื้นและที่ผิวน้ำสลับกันไปไม่แน่นอน ทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นระยะทางหลายๆกิโลเมตร ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตลิ่งและหินทิ้ง การสลายพลังงานประมาณประมาณ 15 - 45%

ที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.518 ลิตรต่อวินาที และความเร็วมีค่าเท่ากับ 17.754 เมตรต่อวินาที ทำให้มีค่า $Fr = 1.764$ มีลักษณะเป็นแบบ Pre jump เมื่อ ผิวน้ำเป็นคลื่นขนาดเล็ก ในช่วงนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ Stilling Basin มีการสลายพลังงานประมาณ 20%

จากการศึกษาหาอัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตู โดยพิจารณาการเปิดบานประตูที่เหมาะสม โดยการศึกษาพบว่าหากเปิดบานประตูเท่ากับ 1.3 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 0.756 เมตร) อัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูและน้ำไม่ล้นออกจากกำแพงอาคารรับน้ำคือ 0.518 , 1.097 , 1.950 และ 2.823 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 , 28.274 , 50.260 และ 72.761 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) และหากมีอัตราการไหลเข้าอาคารรับน้ำมากกว่า 3.892 ลิตรต่อวินาที จะทำให้น้ำล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ (ในการทดลองนี้จะไม่ทำการวัดความยาวของน้ำกระโดดหากมีน้ำไหลล้นข้ามกำแพงอาคารรับน้ำ)

สำหรับที่อัตราการไหล 0.518 , 1.097 , 1.950 และ 2.823 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 , 28.274 , 50.260 และ 72.761 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) สามารถวัดความยาวของการเกิดน้ำกระโดดมีความยาวเท่ากับ 90.25 , 92.50 , 103.00 และ 120 เซนติเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะจริงจาก **สมการที่(1)** เท่ากับ 52.147 , 53.780 , 59.884 และ 69.768 เมตรตามลำดับ ซึ่งยังเกิดอยู่ในอาคารรับน้ำ

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่ระยะยกบาน 1.7 cm

Q	ระยะยกบาน (y)	Length of Jump (L)	หมายเหตุ
(l/s)	(cm.)	(cm.)	
4.805	1.7	-	น้ำล้น
4.251	1.7	-	น้ำล้น
3.892	1.7	-	น้ำล้น
2.823	1.7	151.33	-
1.95	1.7	130.50	-
1.097	1.7	106.25	-
0.518	1.7	98.50	-

หมายเหตุ : น้ำล้น คือ น้ำที่ล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

จากตารางที่ 5 เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 1.097 - 2.823 ลิตรต่อวินาที และความเร็วมีค่าเท่ากับ 37.600 - 96.757 เมตรต่อวินาที ทำให้มีค่า $Fr = 4.570 - 7.772$ มีลักษณะเป็นแบบ Stabilized Jump เมื่อน้ำกระโดดมีความเสถียรดี และไม่เปลี่ยนแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ไหลทางด้านปลายน้ำ การการสลายพลังงานประมาณ 45 -70% ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่ควรใช้ในการออกแบบ

ที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.518 ลิตรต่อวินาที และความเร็วมีค่าเท่ากับ 17.754 เมตรต่อวินาที ทำให้มีค่า $Fr = 2.568$ อยู่ในช่วง $Fr = 2.5 - 4.5$ มีลักษณะเป็นแบบ Transition เมื่อปกติมักพบเห็นเสมอๆ ในอาคารขนาดเล็ก มีการปั่นป่วนของน้ำที่พื้นและที่ผิวน้ำสลับกันไปไม่แน่นอน ทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นระยะทางหลายๆกิโลเมตร ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตลิ่งและหินทิ้ง การสลายพลังงานประมาณประมาณ 15 - 45%

จากการศึกษาหาอัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูโดยพิจารณาการเปิดบานประตูที่เหมาะสม โดยการศึกษาพบว่าหากเปิดบานประตูเท่ากับ 1.7 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 0.998 เมตร) อัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูและน้ำไม่ล้นออกจากกำแพงอาคารรับน้ำคือ 0.518 , 1.097 , 1.950 และ 2.823 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 , 28.274 , 50.260 และ 72.761 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) และหากมีอัตราการไหลเข้าอาคารรับน้ำมากกว่า 3.892 ลิตรต่อวินาที จะทำให้น้ำล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ (ในการทดลองนี้จะไม่ทำการวัดความยาวของน้ำกระโดดหากมีน้ำไหลล้นข้ามกำแพงอาคารรับน้ำ)

สำหรับที่อัตราการไหล 0.518 , 1.097 , 1.950 และ 2.823 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 , 28.274 , 50.260 และ 72.761 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) สามารถวัดความยาวของการเกิดน้ำกระโดดมีความยาวเท่ากับ 98.50 , 106.25 , 130.50 และ 151.33 เซนติเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะจริงจากสมการที่(1) เท่ากับ 52.268 , 61.774 , 75.873 และ 87.983 เมตรตามลำดับ ซึ่งยังเกิดอยู่ในอาคารรับน้ำ

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่ระยะยกบาน 3.44 cm

Q	ระยะยกบาน (y)	Length of Jump (L)	หมายเหตุ
(l/s)	(cm.)	(cm.)	
4.805	3.44	121.30	-
4.251	3.44	99.33	-
3.892	3.44	95.25	-
2.823	3.44	85.25	-
1.95	3.44	76.75	-
1.097	3.44	-	ไม่เกิด
0.518	3.44	-	ไม่เกิด

หมายเหตุ : ไม่เกิด คือไม่มีการเกิดน้ำกระโดดหลังบานประตู

จากตารางที่ 5 เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 3.892 - 4.805 ลิตรต่อวินาที และความเร็วมีค่าเท่ากับ 133.396 - 164.688 เมตรต่อวินาที ทำให้มีค่า $Fr = 13.162 - 14.931$ น้ำจะพุ่งเข้าสู่สู่น้ำกระโดดด้วยความเร็วสูงมาก d_1 และ d_2 จะมีค่าต่างกันมาก กรณีนี้ความยาวน้ำกระโดด จะต้องวัดจากตำแหน่งคลื่นม้วนบนผิวน้ำ เนื่องจากกระแสน้ำความเร็วสูงพุ่งขึ้นจากพื้นก่อนที่จะหมดระยะน้ำกระโดด คลื่นม้วนอาจเคลื่อนตัวลงตามแนวหน้าน้ำกระโดดสู่กระแสน้ำที่พุ่งด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดคลื่นเคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำได้เป็นบางครั้ง ผิวน้ำปั่นป่วนมาก อาจสลายพลังงานได้ถึง 70 - 85% ซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางออกแบบได้ในกรณีที่ต้องการสูญเสียมาก หรือต้องการการผสมมากที่สุด

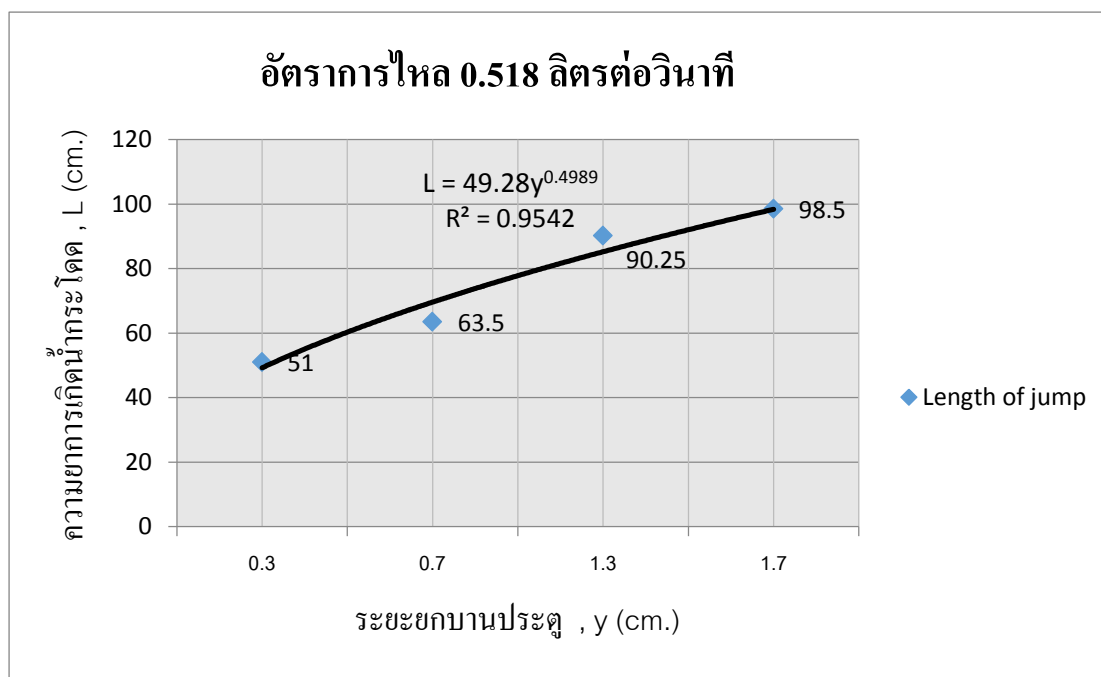
ที่อัตราการไหลเท่ากับ 1.95 - 2.823 ลิตรต่อวินาที และความเร็วมีค่าเท่ากับ 66.835 - 96.757 เมตรต่อวินาที ทำให้มีค่า $Fr = 4.846 - 8.124$ เป็นแบบ Stabilized Jump เมื่อน้ำกระโดดมีความเสถียรดี และไม่เปลี่ยนแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ไหลทางด้านปลายน้ำ การการสลายพลังงานประมาณ 45 - 70% ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่ควรใช้ในการออกแบบ

จากการศึกษาหาอัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูโดยพิจารณาการการเปิดบานประตูที่เหมาะสม โดยการศึกษาพบว่าหากเปิดบานประตูเท่ากับ 3.4 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 1.977 เมตร) อัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูและน้ำไม่ล้นออกจากกำแพงอาคารรับน้ำคือ 0.518 , 1.097 , 1.950 , 2.823 , 3.892 , 4.251 และ 4.805 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 , 28.274 , 50.260 , 72.761 , 100.314 , 109.567 และ 123.846 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) แต่ที่อัตราการไหลเข้าอาคารรับน้ำน้อยกว่า 1.097 ลิตรต่อวินาที ไม่พบความยาวของน้ำกระโดด

สำหรับที่อัตราการไหล 1.950 , 2.823 , 3.892 , 4.251 และ 4.805 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 50.260 , 72.761 , 100.314 , 109.567 และ 123.846 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) สามารถวัดความยาวของการเกิดน้ำกระโดดมีความยาวเท่ากับ 76.75 , 85.25 , 95.25 , 99.33 และ 121.30 เซนติเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะจริงจากสมการที่(1) เท่ากับ 44.622 , 49.564 , 55.378 , 57.750 และ 70.524 เมตรตามลำดับ ซึ่งยังเกิดอยู่ในอาคารรับน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานและความยาวของน้ำกระโดด

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที(อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ที่ระยะยกบาน 0.3 , 0.7 , 1.3 และ 1.7 เซนติเมตร สามารถวัดความยาวการกระโดดของน้ำได้ จึงนำระยะยกบานและความยาวการเกิดน้ำกระโดด มาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานและความยาวของน้ำกระโดด ดังกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานประตูกับความยาวของการเกิดน้ำกระโดดที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที

จากความสัมพันธ์กราฟที่ 1 จะสามารถนำมาสร้างสมการเส้นแนวโน้มได้ดังนี้

$$L = 49.28y^{0.4989}$$

กราฟที่ 1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเทียบอัตราการไหลที่ 0.518 ลิตรต่อวินาทีในระยะยกบาน 0.3 , 0.7 , 1.3 และ 1.7 เซนติเมตร จะได้ค่าความยาวการเกิดน้ำกระโดดเท่ากับ 51 , 63.5 , 90.25 และ 98.5 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระยะจริงจากสมการที่(1) เท่ากับ 29.651 เมตร , 36.919 เมตร , 52.471 เมตร และ 57.268 เมตร ตามลำดับ

จากข้อมูลด้านบนจะสามารถนำสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

Q (l/s)	y (cm)	L (m)
13351.11	17.442	29.651
13351.11	40.698	36.919
13351.11	75.582	52.471
13351.11	98.838	57.268

จากการศึกษาระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่มานอมิเตอร์ ซึ่งได้พิจารณาที่ระยะยกบาน 0.3 , 0.7 , 1.3 , 1.7 และ 3.44 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 0.174 , 0.407 , 0.756 , 0.998 และ 1.977 เมตร) ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 7 - ตารางที่ 11

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่มานอมิเตอร์ที่ระยะยกบาน 0.3 cm

Q	ระยะยกบาน	ระดับด้านหน้า ประตู	ระดับด้านหลัง ประตู	มานอมิเตอร์		หมายเหตุ
	(y)			ตัวที่/กม.	ระดับน้ำ	
(l/s)	(cm.)					
4.805	0.3	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
4.251	0.3	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
3.892	0.3	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
2.823	0.3	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
1.95	0.3	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
1.097	0.3	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
0.518	0.3	202.15	194.50	1/0+000	194.10	-

หมายเหตุ : น้ำล้น คือ น้ำที่ล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

จากตารางที่ 7 เมื่อนำระดับน้ำหลังบานประตูมาเปรียบเทียบกับระดับน้ำที่มานอมิเตอร์ พบว่าที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที(อัตราการไหลจริง 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) มีระดับน้ำด้านหลังประตูเท่ากับ 194.93 ม.รทก. แต่ที่มานอมิเตอร์ เท่ากับ 194.40 ม.รทก.

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่மானอมิเตอร์ที่ระยะยกบาน 0.7 cm

Q	ระยะยกบาน	ระดับด้านหน้า ประตู	ระดับด้านหลัง ประตู	மானอมิเตอร์		หมายเหตุ
	(y)			ตัวที่/กม.	ระดับน้ำ	
(l/s)	(cm.)					
4.805	0.7	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
4.251	0.7	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
3.892	0.7	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
2.823	0.7	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
1.95	0.7	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
1.097	0.7	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
0.518	0.7	201.43	194.93	1/0+000	194.40	-

หมายเหตุ : น้ำล้น คือ น้ำที่ล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

จากตารางที่ 8 เมื่อนำระดับน้ำหลังบานประตูมาเปรียบเทียบกับระดับน้ำที่மானอมิเตอร์ พบว่าที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริง 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) มีระดับน้ำด้านหลังประตูเท่ากับ 194.93 ม.รทก. แต่ที่மானอมิเตอร์ตัวที่ 1 เท่ากับ 194.40 ม.รทก.

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่มานอมิเตอร์ที่ระยะยกบาน 1.3 cm

Q	ระยะยกบาน	ระดับด้านหน้า ประตู	ระดับด้านหลัง ประตู	มานอมิเตอร์		หมายเหตุ
	(y)			ตัวที่/กม.	ระดับน้ำ	
(l/s)	(cm.)					
4.805	1.3	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
4.251	1.3	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
3.892	1.3	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
2.823	1.3	207.70	196.30	1/0+000	195.70	-
1.95	1.3	203.70	196.15	1/0+000	195.50	-
1.097	1.3	201.67	195.73	1/0+000	195.17	-
0.518	1.3	200.33	195.57	1/0+000	195.03	-

หมายเหตุ : น้ำล้น คือ น้ำที่ล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

จากตารางที่ 9 เมื่อนำระดับน้ำหลังบานประตูมาเปรียบเทียบกับระดับน้ำที่มานอมิเตอร์ พบว่าที่อัตราการไหล 0.518 , 1.097 , 1.950 และ 2.823 ลิตรต่อวินาที(อัตราการไหลจริง 13.351 , 28.274 , 50.260 และ 72.761 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) มีระดับน้ำด้านหลังประตูเท่ากับ 195.57 , 195.73 , 196.15 และ 196.30 ม.รทก. แต่ที่มานอมิเตอร์ตัวที่ 1 เท่ากับ 195.03 , 195.17 , 195.50 และ 195.70 ม.รทก.

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่மானมิเตอร์ที่ระยะยกบาน 1.7 cm

Q	ระยะยกบาน	ระดับด้านหน้า ประตู	ระดับด้านหลัง ประตู	மானมิเตอร์		หมายเหตุ
	(y)			ตัวที่/กม.	ระดับน้ำ	
(l/s)	(cm.)					
4.805	1.7	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
4.251	1.7	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
3.892	1.7	-	-	1/0+000	-	น้ำล้น
2.823	1.7	205.80	197.07	1/0+000	196.27	-
1.95	1.7	200.93	196.37	1/0+000	195.67	-
1.097	1.7	196.90	195.50	1/0+000	194.93	-
0.518	1.7	194.87	194.53	1/0+000	193.93	-

หมายเหตุ : น้ำล้น คือ น้ำที่ล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

จากตารางที่ 10 เมื่อนำระดับน้ำหลังบานประตูมาเปรียบเทียบกับระดับน้ำที่மானมิเตอร์ พบว่าที่อัตราการไหล 0.518 , 1.097 , 1.950 และ 2.823 ลิตรต่อวินาที(อัตราการไหลจริง 13.351 , 28.274 , 50.260 และ 72.761 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) มีระดับน้ำด้านหลังประตูเท่ากับ 194.53 , 195.50 , 196.37 และ 197.07 ม.รทก. แต่ที่மானมิเตอร์ตัวที่ 1 เท่ากับ 193.93 , 194.93 , 195.67 และ 196.27 ม.รทก.

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่มานอมิเตอร์ที่ระยะยกบาน 3.44 cm

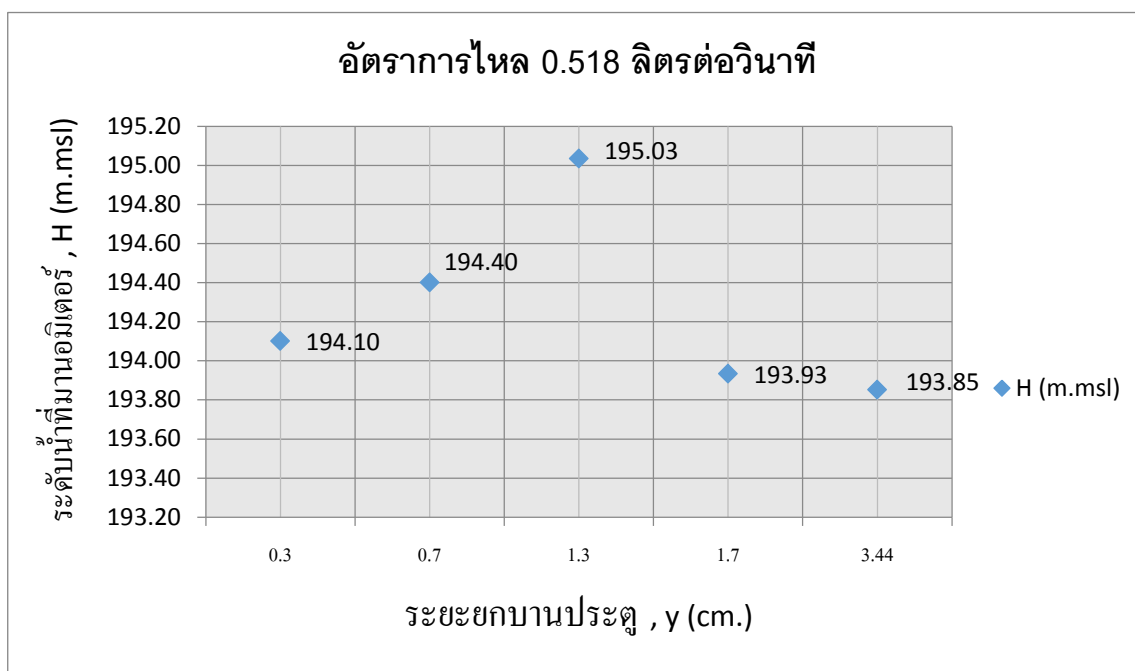
Q	ระยะยกบาน	ระดับด้านหน้า ประตู	ระดับด้านหลัง ประตู	มานอมิเตอร์		หมายเหตุ
	(y)			ตัวที่/กม.	ระดับน้ำ	
(l/s)	(cm.)					
4.805	3.44	202.40	198.15	1/0+000	198.15	-
4.251	3.44	201.87	197.83	1/0+000	197.27	-
3.892	3.44	200.47	197.53	1/0+000	196.70	-
2.823	3.44	198.75	196.95	1/0+000	196.35	-
1.95	3.44	196.90	196.08	1/0+000	195.55	-
1.097	3.44	195.50	195.20	1/0+000	194.80	ไม่เกิด
0.518	3.44	194.35	194.30	1/0+000	193.85	ไม่เกิด

หมายเหตุ : ไม่เกิด คือไม่มีการเกิดน้ำกระโดดหลังบานประตู

จากตารางที่ 11 เมื่อนำระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่มานอมิเตอร์ที่มานอมิเตอร์ พบว่าที่อัตราการไหล 0.518 , 1.097 , 1.950 , 2.823 , 3.892 , 4.251 และ 4.805 ลิตรต่อวินาที(อัตราการไหลจริง 13.351 , 28.274 , 50.260 , 72.761 , 100.314 , 109.567 และ 123.846 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) มีระดับน้ำด้านหลังประตูเท่ากับ 194.30 , 195.20 , 196.08 , 196.95 , 197.53 , 197.83 และ 198.15 ม.รทก. แต่ที่มานอมิเตอร์ตัวที่ 1 เท่ากับ 193.85 , 194.90 , 195.55 , 196.35 , 196.70 , 197.27 และ 198.15 ม.รทก.

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานและระดับน้ำที่மானอมิเตอร์

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ที่ระยะยกบาน 0.3 , 0.7 , 1.3 , 1.7 และ 3.44 เซนติเมตร สามารถนำสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานและความดันที่மானอมิเตอร์ ดังกราฟที่ 2



กราฟที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานประตูกับระดับน้ำที่மானอมิเตอร์ที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานและระดับน้ำที่மானอมิเตอร์ พบว่า เมื่อระยะยกบานเพิ่มขึ้นความดันที่மானอมิเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จนถึงระยะยกบานที่ 1.3 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 0.756 เมตร) พบว่าความดันมีค่าลดลง

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.518 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) พบว่า ที่ระยะยกบาน 0.3 เซนติเมตร มีค่า Fr เท่ากับ 1.603 มีลักษณะผิวเป็นคลื่นนิ่ง (standing wave) , ที่ระยะยกบาน 0.7 - 1.3 เซนติเมตร มีค่า Fr เท่ากับ 1.7 – 3.51 มีลักษณะเป็น Pre Jump มีการสลายพลังงานประมาณ 20% , ระยะยกบาน 1.7 เซนติเมตร มีค่า Fr เท่ากับ 2.568 มีลักษณะเป็นแบบ Transition มีการสลายพลังงานประมาณประมาณ 15 – 45%

ที่อัตราการไหลเท่ากับ 1.097 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 28.274 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) พบว่า ที่ระยะยกบาน 1.3 เซนติเมตร มีค่า Fr เท่ากับ 3.51 ลักษณะเป็นแบบ Transition มีการสลายพลังงานประมาณประมาณ 15 – 45% , ที่ระยะยกบาน 1.7 เซนติเมตร มีค่า Fr เท่ากับ 4.57 มีลักษณะเป็นแบบ Stabilized Jump มีการสลายพลังงานประมาณ 45 -70%

ที่อัตราการไหลเท่ากับ 1.950 – 2.823 ลิตรต่อวินาที(อัตราการไหลจริงเท่ากับ 50.260 - 72.761 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) พบว่า ที่ระยะยกบาน 1.3 – 3.44 เซนติเมตร มีค่า Fr เท่ากับ 4.570 – 8.124 มีลักษณะเป็น Stabilized Jump มีการสลายพลังงานประมาณ 45 -70%

ที่อัตราการไหลเท่ากับ 3.892 - 4.805 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 100.314 - 123.846 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) พบว่า ที่ระยะยกบาน 3.44 เซนติเมตร มีค่า Fr เท่ากับ 13.162 – 14.931 น้ำจะพุ่งเข้าสู่สูบน้ำกระโดดด้วยความเร็วสูงมาก d_1 และ d_2 จะมีค่าต่างกันมาก อาจสลายพลังงานได้ถึง 70-85%

จากการศึกษาอัตราการไหลที่สามารถผ่านบานประตูโดยพิจารณาการเปิดบานประตูที่เหมาะสม พบว่า ระยะยกบานประตูเท่ากับ 0.3 - 0.7 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 0.174 - 0.407 เมตร) อัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูโดยพิจารณาการเปิดบานประตูที่เหมาะสมควรน้อยกว่า 1.097 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) เพื่อไม่ให้น้ำล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

ระยะยกบานประตูเท่ากับ 1.3 - 1.7 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 0.756 - 0.998 เมตร) อัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูโดยพิจารณาการเปิดบานประตูที่เหมาะสมควรน้อยกว่า 3.892 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 100.314 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) เพื่อไม่ให้น้ำล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

ระยะยกบานประตูเท่ากับ 3.44 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 1.977 เมตร) อัตราการไหลที่สามารถไหลลอดผ่านบานประตูโดยพิจารณาการเปิดบานประตูที่เหมาะสม 0.518-4.805 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 - 123.846 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) เนื่องจากไม่พบน้ำล้นข้ามกำแพงด้านข้างของอาคารรับน้ำ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานและความยาวของน้ำกระโดด พบว่าที่อัตราการไหล 0.518 ลิตรต่อวินาที (อัตราการไหลจริงเท่ากับ 13.351 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ที่ระยะยกบาน 0.3 , 0.7 , 1.3 และ 1.7 เซนติเมตร สามารถวัดความยาวการกระโดดของน้ำได้และสามารถสร้างสมการเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างระยะยกบานและความยาวของน้ำกระโดดได้ดังนี้

$$L = 49.28y^{0.4989}$$

เมื่อ L คือ ความยาวการเกิดน้ำกระโดด (เซนติเมตร)

y คือ ระยะยกบานประตู (เซนติเมตร)

จากการศึกษาระดับน้ำหลังบานประตูและระดับน้ำที่มานอมิเตอร์ พิจารณาที่ระยะยกบาน 0.3 , 0.7 , 1.3 , 1.7 และ 3.44 เซนติเมตร (ระยะจริงเท่ากับ 0.174 , 0.407 , 0.756 , 0.998 และ 1.977 เมตร) พบว่าระดับน้ำหลังบานประตู มีค่ามากกว่า ระดับน้ำที่มานอมิเตอร์ เนื่องจากความดันบริเวณหลังบานประตูมีค่าสูงกว่าความดันที่มานอมิเตอร์ ส่งผลทำให้การส่งน้ำด้วยอัตราการไหลต่างๆ มีประสิทธิภาพลดลง

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2560. รายงานสรุปผลการจัดทำแบบจำลองกายภาพอุโมงค์ผันน้ำ.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมชลประทาน. (2561, พฤษภาคม 18). ประชุมออกแบบอุโมงค์ส่งน้ำตามแรงโน้มถ่วงของโลก.

สืบค้นจาก <http://www.rid.go.th/2009/> กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมชลประทาน. (2561, พฤษภาคม 19). การเตรียมความพร้อมของแผนงานเพื่อแก้ไขปัญหาในภาค

อีสาน. สืบค้นจาก <http://www.rid.go.th/2009/> กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นิมิต เติมนันท์พิพัฒน์. 2000. เอกสารประกอบการสอน วิชา กลศาสตร์ของไหล.

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.

สันติ ทองพำนัก. 2552. ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพในการออกแบบฝายและประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพใน

การออกแบบอาคารชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.

Ven Te Chow. 1973. Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill Inc.