รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ PSP6405030950

เรื่อง

การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวง สำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี

Development of Royal Rainmaking Decision Support Systems for Water Planning and Management in the Phetchaburi River Basin

โดย

นางสาววรัญญา อรรถเสนา และคณะวิจัย

หน่วยงานที่รับทุน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ภายใต้แผนงานวิจัย การเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยฝนหลวง (ปี 2)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการพัฒนาการวิจัยการเกษตร เรื่อง การพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการทำฝนหลวงสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี จากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 วงเงิน 958,320 บาท

ขอขอบคุณกรมฝนหลวงและการบินเกษตรสำหรับการสนับสนุน องค์ความรู้ ข้อมูล และบุคลากรเพื่อการวิจัย ขอขอบภาควิชาวิศวกรรมชลประทานและภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการสนับสนุน องค์ความรู้ ข้อมูล บุคลากร ครุภัณฑ์ ตลอดจนสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

บทคัดย่อ

ในช่วงฤดูแล้งพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีประสบภาวะความแห้งแล้งและการขาดแคลนน้ำเกือบจะทุกปี โดยเฉพาะพื้นที่การเกษตรนอกเขตชลประทาน เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ได้ร่วมกันจัดเก็บข้อมูลการบริหารจัดการน้ำและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง โดยระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่พัฒนานี้อยู่ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่นำเสนอข้อมูลที่ทันต่อสถานการณ์ เพื่อสนับสนุนการทำงานต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้ภาระกิจการทำฝนมีประสิทธิผลที่สูงยิ่งขึ้น ระบบสนับสนุนการทำงานหลักต่อไปนี้ การสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเป้าหมายปฏิบัติการฝนหลวงในการป้องกันภัยแล้งและเติมน้ำให้เขื่อน และสนับสนุนการตัดสินใจก่อนขึ้นบินปฏิบัติการจากสภาพอากาศภาคพื้นและบรรยากาศชั้นบน ตลอดจนรายงานผลการปฏิบัติการ รวมทั้งออกรายงานสรุปการขอรับบริการ

Abstract

During dry spell periods, the Phetchaburi River Basin area faces drought and water scarcity almost every year, especially in a rainfed area. In order to mitigate a water scarcity problem in this area, the Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University collaborates with the Department of Royal Rainmaking and Agricultural Aviation to collect data about water management and develop a decision support system for the rainmaking operation. The proposed decision support system is developed as a web application. It presents timely information to support several tasks in order to increase the efficiency of rainmaking operations. The main tasks supported by the system are (1) supporting decision-making on selecting the target area regarding two rainmaking missions which are to mitigate water shortages and to increase the water level in the reservoirs; (2) supporting decision-making on daily missions based on the weather and upper atmosphere; and (3) generating reports on the performance of the mission and summary reports of service requests.

สารบัญเรื่อง

หน้า

ส่วนประกอบตอนต้น

กิตติกรรมประกาศ ..... ก

บทคัดย่อ ..... ข

สารบัญเรื่อง ..... ค

สารบัญตาราง ..... ง

สารบัญภาพ ..... จ

ส่วนประกอบเนื้อเรื่อง

บทนำ 1

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
2. วัตถุประสงค์ 1
3. ขอบเขตของการวิจัย 1
4. ทฤษฎีและแนวคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัย 2
   - 4.1. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและระบบเตือนภัยพิบัติในประเทศไทย 2
   - 4.2. การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในปัจจุบัน 5
   - 4.3. ระบบผู้เชี่ยวชาญ 6
   - 4.4. ฐานข้อมูลและคลังข้อมูล 7
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9

เนื้อเรื่อง 10

1. วิธีดำเนินการวิจัย 10
2. ผลการวิจัย 11
   - 2.1. ส่วน API 11
   - 2.2. ส่วนฐานข้อมูลและคลังข้อมูล 13
   - 2.3. ส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ 16
   - 2.4. ส่วนนำเสนอข้อมูลผู้ใช้ 18

ข้อวิจารณ์ 24

สรุปและข้อเสนอแนะ 26

ส่วนประกอบตอนท้าย

เอกสารอ้างอิง 27

ภาคผนวก 1 รายละเอียดฐานข้อมูล 29

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง

1. การแจ้งเตือนภัยพิบัติในประเทศไทย 2
2. เกณฑ์พิจารณาประจำวันของศักยภาพการทำฝนจากเมฆอุ่น 4
3. API ต่างๆ ที่ใช้ในโครงการวิจัย 12
4. รายชื่อตารางในฐานข้อมูล 14
5. รายชื่อ collections ที่เก็บในฐานข้อมูลเชิงเอกสาร 15
6. คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection weather 17

ตารางผนวกที่ 1 รายละเอียดฐานข้อมูล

1. คำอธิบายตาราง areas 29
2. คำอธิบายตาราง hourly_rain_stations 29
3. คำอธิบายตาราง locations 29
4. คำอธิบายตาราง area_weather 30
5. คำอธิบายตาราง location_set 31
6. คำอธิบายตาราง operations 31
7. คำอธิบายตาราง operation_left 36
8. คำอธิบายตาราง rain_info 36
9. คำอธิบายตาราง reservoirs 36
10. คำอธิบายตาราง weather_conditions 36
11. คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection distance 37
12. คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection fonluang_request_history 38
13. คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection operation_hourly_rain 39
14. คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection operation_sm 41
15. คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection reservoir 43
16. คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection summary 45
17. ตารางแสดงรายละเอียดการคำนวณความเร่งด่วนของการทำปฏิบัติการฝนหลวง 46

สารบัญภาพ

หน้า

รูป

1. การออกแบบคลังข้อมูล 8
2. ภาพรวมของโครงการวิจัย 11
3. ER-diagram ของ Relational Database ในโครงการวิจัย 14
4. ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจปฏิบัติการ เพื่อป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง 18
5. ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจปฏิบัติการ เพื่อเติมน้ำให้เขื่อน 19
6. ตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลการเก็บกักน้ำในอ่างของกรมชลประทาน 20
7. ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจปฏิบัติการ ส่วนสภาพอากาศชั้นบน ...20
8. ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน ตารางสรุปปฏิบัติการฝนหลวง 21
9. ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน ปฏิทินสรุปปฏิบัติการฝนหลวง 21
10. ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน รายงานสรุปประวัติการขอรับบริการ 5 ปีย้อนหลัง 22
11. ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน รายละเอียดการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้ง 23

รูปภาคผนวกที่ 1 รายละเอียดฐานข้อมูล

1. โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection distance 37
2. โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection fonluang_request_history ... 38
3. โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection operation_hourly_rain 39
4. โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection operation_sm 40
5. โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection reservoir 42
6. โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection summary 44
7. โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection weather 46

บทนำ (Introduction)

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีประสบปัญหาภัยแล้งหรือการขาดแคลนน้ำอยู่เสมอในช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคมของทุกปี โดยประสบปัญหาทั้งปริมาณน้ำดิบ เพื่อการอุปโภคบริโภคและน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่นอกเขตชลประทาน ทั้งนี้เพื่อบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ และกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ได้ร่วมกันจัดเก็บข้อมูลการบริหารจัดการน้ำและพัฒนาระบบช่วยตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวงที่มีความแม่นยำ ทั้งนี้เพื่อให้ภาระกิจการทำฝนมีประสิทธิผลที่สูงยิ่งขึ้น ทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำในชั้นบรรยากาศ รวมทั้งการดัดแปรสภาพอากาศแก้ไขปัญหาภัยพิบัติ อันเนื่องมาจากความผันแปรของภูมิอากาศและสภาวะโลกร้อน

2. วัตถุประสงค์

1) ศึกษาจัดทำฐานข้อมูล ระบบทำนายสภาพอากาศ
2) พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง สำหรับเจ้าหน้าที่ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

3. ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จัดทำฐานข้อมูลและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง โดยมุ่งเน้นการจัดเก็บ เชื่อมโยง และนำเสนอข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวงของหน่วยปฏิบัติการของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร โครงการวิจัยนี้มีขอบเขตการวิจัยแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ดังนี้

1) ส่วน API สามารถรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสกัดข้อมูลที่เป็นประโยชน์และสามารถสนับสนุนการตัดสินใจได้ เพื่อจัดเก็บในฐานข้อมูล

2) ส่วนฐานข้อมูล สามารถจัดเก็บข้อมูลที่รวบรวมจากข้อ 1 เช่น ข้อมูลสภาพอากาศในปัจจุบันและในอนาคตอันใกล้ก่อนปฏิบัติการ ข้อมูลน้ำในเขื่อน เป็นต้น

3) ส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้คะแนนระดับความเร่งด่วนของแต่ละพื้นที่ในระดับอำเภอ

4) ส่วนนำเสนอข้อมูลผู้ใช้ หรือระบบสนับสนุนการตัดสินใจ จะพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้สามารถเข้าถึงได้ง่ายและเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลา โดยแบ่งการนำเสนอข้อมูลออกเป็น (1) ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจปฏิบัติการ (2) ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการก่อนขึ้นบิน (3) รายงานสรุปการปฏิบัติการและผลการปฏิบัติการ

4. ทฤษฎีและแนวคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัย

4.1. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและระบบเตือนภัยพิบัติในประเทศไทย

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและระบบเตือนภัยพิบัติในประเทศไทย ถูกพัฒนาโดยหน่วยงานต่างๆ เพื่อการเฝ้าระวัง และแจ้งเตือนภัยพิบัติแก่บุคคลที่เกี่ยวข้องให้สามารถจัดการและ/หรือหลบภัยได้ทันท่วงที ตารางที่ 1 สรุปการแจ้งเตือนภัยพิบัติโดยหน่วยงานต่างๆ [1] ระบบเหล่านี้มีทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลจากหน่วยงานเดียว และการบูรณาการข้อมูลหลายๆ แหล่ง โดยการแจ้งเตือนมีทั้งรูปแบบอัตโนมัติและการแจ้งเตือนผ่านสื่อต่างๆ

ตารางที่ 1. การแจ้งเตือนภัยพิบัติในประเทศไทย (ที่มา http://www.openbase.in.th/files/zealzone.pdf)

ประเภทของสาธารณภัย	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	ระบบเตือนภัยที่มี
อุทกภัย ดินโคลนถล่ม และภัยแล้ง	กรมอุตุนิยมวิทยา	**1. การพยากรณ์อากาศ** เตือนภัยโดย 1.1. ประกาศแจ้งเตือนภัยทางสื่อสารมวลชน 1.2. ระบบสารสนเทศ 1.3. ระบบข้อความสั้น (SMS) 1.4. แจ้ง ปภ. เพื่อเตือนไปยังจังหวัด อำเภอ ในพื้นที่เสี่ยงภัย **2. สถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติ** เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์ (สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา) **3. ข้อมูลระดับน้ำในเขื่อน** เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์ (ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทยและกรมชลประทาน) **4. ข้อมูลเส้นทางเดินพายุ** เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์ (สำนักพยากรณ์อากาศ)
	กรมชลประทาน	แจ้งเตือนภัย โดยการประชาสัมพันธ์ไปยังจังหวัดที่เกิดสถานการณ์จากศูนย์ประมวลวิเคราะห์สถานการณ์น้ำที่รวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ โดยมีการรวบรวมข้อมูลดังนี้ - การเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์น้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลางทั่วประเทศ (สำนักชลประทาน) - การติดตามสภาพน้ำท่าในแม่น้ำสายหลักทั่วประเทศ (สำนักชลประทาน) - การพยากรณ์อากาศ (กรมอุตุนิยมวิทยา) - ระบบโทรมาตร เพื่อวัดประมาณน้ำฝน - สถานีวัดน้ำฝน (กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา และหน่วยงานอื่นๆ รวม 2,294 สถานี)

ตารางที่ 1. การแจ้งเตือนภัยพิบัติในประเทศไทย (ต่อ 1)

ประเภทของสาธารณภัย	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	ระบบเตือนภัยที่มี
อุทกภัย ดินโคลนถล่ม และภัยแล้ง	กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย	ระบบรับแจ้งข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยแจ้งเตือนภัยไปสู่ระดับพื้นที่ 4 ระดับ คือ ระดับประเทศ ระดับจังหวัด ระดับอำเภอ ระดับตำบลและหมู่บ้าน ใช้วิธีการประกาศแจ้งเตือนผ่านทางสื่อทุกประเภท เช่น วิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์ SMS Internet และหอกระจายข่าว
	กรมทรัพยากรธรณี	แจ้งเตือนภัยไปยังทางสื่อสารมวลชน (ทีวี สถานีวิทยุ หนังสือพิมพ์) ปภ. และส นักงาน ปภ.จังหวัด ในพื้นที่เสี่ยง โดยมีการรวบรวมข้อมูลดังนี้ - เครือข่ายเฝ้าระวังเตือนภัยดินถล่มน้ำท่วม จำนวน 13,857 คน ในพื้นที่เสี่ยงภัย 39 จังหวัด 1,706 หมู่บ้าน - การประสานงานกับเครือข่ายเรื่องพื้นที่ฝนตกหนัก การตรวจวัดปริมาณน้ำฝนข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม
	กรมทรัพยากรน้ำ	เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์ และประสานงานกับเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง โดยรวบรวมข้อมูลจาก **1. ระบบติดตามสถานการณ์น้ำ** โดยสัญญาณภาพ (CCTV) จำนวน 27 สถานี **2. ระบบเตือนภัยล่วงหน้า** (Early warning) จำนวน 1,587 สถานี **3. ระบบตรวจวัดสถานภาพน้ำทางไกลอัตโนมัติในแม่น้ำสายหลัก** จำนวน 114 สถานี
	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลสถานการณ์น้ำผ่านเว็บไซต์และแจ้งให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบ โดยมีระบบดังนี้ **1. ระบบโทรมาตร** (ติดตั้งตามลุ่มน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนปากมูล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนภูมิพล ลุ่มน้ำแม่กลอง เขื่อนบางลาง) **2. สถานีวัดน้ำ**
	กรมการปกครอง	มีศูนย์กระจายข่าวการแจ้งเตือนภัย โดยอาศัยระบบวิทยุสื่อสารและระบบสารสนเทศ เช่น ระบบ VDO conference
	สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)	เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์และประสานงานกับเครือข่ายที่เกี่ยวข้อง โดยรวบรวมข้อมูลจากระบบโทรมาตรขนาดเล็ก
	กรุงเทพมหานคร (สำนักการระบายน้ำ)	เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์ โดยรวบรวมข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศ (BMA Radar)
	กรมฝนหลวงและการบินเกษตร	เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์ โดยรวบรวมข้อมูลจากเรดาร์ตรวจอากาศ (Rainmaking Radar) ณ อ.อมก๋อย อ.ตาคลี อ.พิมาย อ.สัตหีบ อ.พนม อ.ร้องกวาง อ.บ้านผือ อ.ราษีไศล อ.ปะทิว อ.สิงหนคร
	กรมควบคุมมลพิษ	เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์ โดยรวบรวมข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำอัตโนมัติ
	กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช	เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์ โดยรวบรวมข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนจากสถานีวัดตามพื้นที่อนุรักษ์ จำนวน 1,034 แห่ง

ตารางที่ 1. การแจ้งเตือนภัยพิบัติในประเทศไทย (ต่อ 2)

ประเภทของสาธารณภัย	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	ระบบเตือนภัยที่มี
สึนามิและแผ่นดินไหว	ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ	เตือนภัยไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและสื่อสารมวลชน (ทีวี สถานีวิทยุ หนังสือพิมพ์) โดยรวบรวมข้อมูลจาก **1. ระบบทุ่นลอยตรวจจับคลื่นสึนามิ** จำนวน 3 ทุ่น **2. หอเตือนภัยสึนามิ** จำนวน 114 แห่ง
สารเคมีและวัตถุอันตราย	กรมควบคุมมลพิษ	เตือนภัยไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและพื้นที่เสี่ยงภัยโดยตรงซึ่งรวบรวมข้อมูลจากศูนย์ปฏิบัติการฉุกเฉินสารเคมี
	กรมศุลกากร	เตือนภัยไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติทราบ โดยมีเครื่องตรวจจับกัมมันตภาพรังสี
ไฟป่าและหมอกควัน	กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช	เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์โดยรวบรวมข้อมูลจากดาวเทียม hot spot
	กรมควบคุมมลพิษ	เตือนภัยโดยเผยแพร่ข้อมูลผ่านเว็บไซต์และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยรวบรวมข้อมูลจาก **1. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติ** **2. สถานีตรวจวัดมลภาวะหมอกควันภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย**

ตารางที่ 2 เกณฑ์พิจารณาประจำวันของศักยภาพการทำฝนจากเมฆอุ่น

พารามิเตอร์ที่พิจารณา	15 October - 16 May		16 May - 15 October	
	1 คะแนน	-5 คะแนน	1 คะแนน	-5 คะแนน
1. Convective Condensation Level (CCL) Height	< 4,500 ft	5,000 ft	< 4,000 ft	4,500 ft
2. Relative Humidity at CCL	> 80%	< 70%	> 90%	< 80%
3. Average Relative Humidity (0-10,000 ft)	> 75%	< 65%	> 85%	< 75%
4. Average Relative Humidity (10-18,000 ft)	> 70%	< 60%	> 80%	< 70%
5. Average wind speed (5-10,000 ft)	< 10 Kt	> 20 Kt	< 10 Kt	> 20 Kt
6. Showalter Index (SI)	> -0.5	> +2	> -0.5	> +2
7. Lifted Index (LI)	> -1.5	> +1	> -1.5	> +1
8. Convective Temperature Reachabel (Tc)	Yes	No	Yes	No

4.2. การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในปัจจุบัน

การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในปัจจุบัน [2-3] ได้กำหนดกระบวนการวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ ()1 การเตรียมความพร้อมด้านปัจจัยการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน (2) การวิเคราะห์และกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวง และ (3) การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและเกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1) การเตรียมความพร้อมด้านปัจจัยการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน คือ การเตรียมความพร้อมด้านปัจจัยการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวันจะพิจารณาจากปัจจัยที่สำคัญใน 4 ด้าน ได้แก่ (1) สนามบิน (2) เครื่องมืออุปกรณ์และอากาศยาน (3) บุคลากร และ (4) สารฝนหลวง ซึ่งหากขาดความพร้อมอาจส่งผลกระทบต่อการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

2) การวิเคราะห์และกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวง คือ การวิเคราะห์และกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน โดยวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ทั้งเชิงปริมาณและเชิงพื้นที่ เช่น ข้อมูลพื้นฐานทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลอุทกวิทยา ข้อมูลบ่งชี้ความต้องการฝน เป็นต้น โดยพิจารณาดังนี้

2.1) การวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายการช่วยเหลือประจำวัน จะพิจารณาจากเกณฑ์ข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลบ่งชี้ความต้องการฝนต่างๆ แยกตามภารกิจของการปฏิบัติ โดยสามารถแบ่งการปฏิบัติการออกเป็น 4 ภารกิจ ประกอบด้วย

- การปฏิบัติการภารกิจภัยแล้งและฝนทิ้งช่วง
- การปฏิบัติการเติมน้ำต้นทุน
- การปฏิบัติการบรรเทาหมอกควันและไฟป่า
- การปฏิบัติการยับยั้งลูกเห็บ

2.2) การกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน จะพิจารณาจากหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่เป้าหมายตามภารกิจต่างๆ ของการวิเคราะห์พื้นที่เป้าหมายการช่วยเหลือประจำวันของแต่ละภารกิจ ในหัวข้อ 2.1) มาจัดลำดับความสำคัญเร่งด่วนของแต่ละพื้นที่เป้าหมาย เพื่อใช้ในการกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวันต่อไป

3) การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและเกณฑ์ของสภาพอากาศเพื่อการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวง คือ การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศเป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลหรือตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ทิศทางและความเร็วลม ค่าดัชนีสภาพอากาศ ลักษณะภูมิอากาศระดับกว้าง และการพยากรณ์อากาศเพื่อใช้ในการกำหนดหลักเกณฑ์ความเหมาะสมของสภาพอากาศ และโอกาสในการ

เกิดฝนในพื้นที่เป้าหมาย ในการวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับการวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงประจำวัน

ในปัจจุบันกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ได้มีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศประกอบการตัดสินใจในการปฏิบัติการทำฝนหลวงประจำวัน โดยพิจารณาถึงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เป็นปัจจัยของกระบวนการเกิดฝนในเมฆอุ่น (Warm rain process) ดังแสดงในตารางที่ 2 เกณฑ์พิจารณาประจำวันของศักยภาพการทำฝนจากเมฆอุ่น

จากตารางที่ 2 เมื่อผลรวมของการคำนวณมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 แสดงว่ามีศักยภาพของการเกิดฝนในเมฆอุ่นอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Poor) และกรณีได้คะแนนเท่ากับ 8 แสดงว่ามีศักยภาพของการเกิดฝนในเมฆอุ่นอยู่ในเกณฑ์ดี (Good) เหมาะสมในการปฏิบัติการทำฝนหลวงในวันนั้น

4.3. ระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) [4] เป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการหาคำตอบและอธิบายความไม่ชัดเจน ซึ่งปกตินั้นจะใช้ผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาตอบคำถามนั้น ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นส่วนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) โดยอาศัยระบบฐานความรู้ (Knowledge-based System) และกลไกการอนุมาน (Inference Engine) เป็นองค์ประกอบหลักในการทำงาน การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถกระทำได้หลากหลายขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของระบบที่นำมาประยุกต์ใช้ และข้อมูลนำเข้าเพื่อสอนระบบผู้เชี่ยวชาญ ระบบผู้เชี่ยวชาญแบ่งตามการสร้างโมเดล เพื่อแก้ปัญหาออกเป็น 3 หลักๆ คือ

1) การสร้างโมเดลหรือการเรียนรู้ โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ เช่น การออกแบบเครื่องสถานะจำกัด (Finite State Machine) เป็นการออกแบบโดยการถอดองค์ความรู้ต่างๆ จากผู้เชียวชาญสู่วงจรเชิงลำดับตามสถานะการทำงาน (State) โดยแต่ละสถานะมีลอจิกการทำงานที่ต่างกัน เพื่อกำเนิดค่าเอาต์พุตและค่าสถานะถัดไป มีสัญญาณสถานะที่กำหนดว่าสถานะปัจจุบันเป็นสถานะไหน สัญญาณของสถานะจะถูกเก็บไว้ในเรจิสเตอร์หน่วยความจำ

2) การสร้างโมเดลหรือการเรียนรู้ แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) โมเดลจะถูกสร้างโดยชุดข้อมูลตัวอย่างโดยมีคำตอบในชุดตัวอย่าง เทคนิคและขั้นตอนวิธีในการเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์มีทั้งแบบที่เป็นการแก้ปัญหา Linear และ Non-linear โดยคำตอบของปัญหามีทั้งที่เป็น numerical และ non-numerical ตัวอย่างเทคนิคประเภทนี้ เช่น Classification (Decision Tree, Rule Induction, k-nearest Neighbors, Naïve Bayesian, Hidden Markov Model, Artificial Neural Networks, และ Support Vector Machines) และ Regression เป็นต้น

3) การสร้างโมเดลหรือการเรียนรู้ แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) โมเดลจะถูกสร้างโดยชุดข้อมูลตัวอย่างโดยไม่มีคำตอบในชุดตัวอย่าง ดังนั้นการเรียนรู้นี้จึงจำเป็นที่จะต้องมีผู้เชี่ยวชาญมาอธิบายโมเดลหลักจากที่คอมพิวเตอร์สร้างขึ้น ตัวอย่างเทคนิคประเภทนี้ เช่น Clustering (k-means), Association (Apriori, FPGrowth) และ Sequential analysis เป็นต้น

4.4. ฐานข้อมูลและคลังข้อมูล

ฐานข้อมูล (Database) [5] คือ ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับทำการจัดเก็บข้อมูลในองค์กรทั่วไป โดยมีการออกแบบไว้เฉพาะ ทั้งนี้เพื่อแยกหมวดหมู่หรือแยกประเภทไว้ เพื่อง่ายในการใช้งาน เช่น ฐานข้อมูลสินค้าจะเก็บเฉพาะรายละเอียดของสินค้านั้นๆ ฐานข้อมูลพนักงานจะเก็บเฉพาะข้อมูลทีเกี่ยวข้องกับพนักงาน เป็นต้น ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลจะเป็นข้อมูลในปัจจุบัน การออกแบบฐานข้อมูลต่างๆ จะถูกออกแบบเพื่อให้ง่ายและตอบสนองโดยตรงต่อการดำเนินงานภายในองค์กรต่างๆ โดยจะมุ่งเน้นการจัดการข้อมูลด้วยคำสั่ง Data Manipulation Language (DML) ประกอบด้วย การเพิ่ม การลบ และการแก้ไข ฐานข้อมูลในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

1) ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลดั้งเดิม มีประสิทธิภาพสูง แต่การออกแบบค่อนข้างยากต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบงานแต่ละงานโดยเฉพาะ และการเพิ่มเติมการออกแบบในภายหลังทำได้อยาก

2) ฐานข้อมูล NoSQL [6] เป็นฐานข้อมูลสมัยใหม่ ที่สามารถนำมาปรับใช้ได้ง่ายกว่าฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

2.1) Document Database เป็นฐานข้อมูลที่ข้อมูลถูกบันทึกในรูปแบบ JSON หรือชุดของข้อความ ส่งผลให้มีอิสระในการจัดเก็บข้อมูลทั้งตัวเลขและ/หรือข้อความ โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดประเภทหรือรูปแบบของข้อมูลล่วงหน้า ตัวอย่างของฐานข้อมูลชนิดนี้ เช่น CouchDB, Cosmos DB, ArangoDB และ MongoDB เป็นต้น

2.2) Key-value Store เป็นฐานข้อมูลที่สามารถจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบใดๆ ก็ได้ โดยข้อมูลเหล่านั้นจะสามารถถูกเข้าถึงได้ด้วยการระบุค่า Key ประจำข้อมูลนั้นๆ ตัวอย่างของฐานข้อมูลชนิดนี้ เช่น Redis และ Riak เป็นต้น

2.3) Wide Column Store เป็นฐานข้อมูลที่มีการจัดเก็บข้อมูลในแบบหลัก (Column) ซึ่งแตกต่างจากฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่มักจะเก็บข้อมูลเป็นแถว (Row) ฐานข้อมูลชนิดนี้สามารถจัดเก็บข้อมูลแต่

ละหลักได้หลากหลายรูปแบบ และรองรับการดำเนินการแบบ Group by และ Aggregate ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างของฐานข้อมูลชนิดนี้ เช่น HBase และ Cassandra เป็นต้น

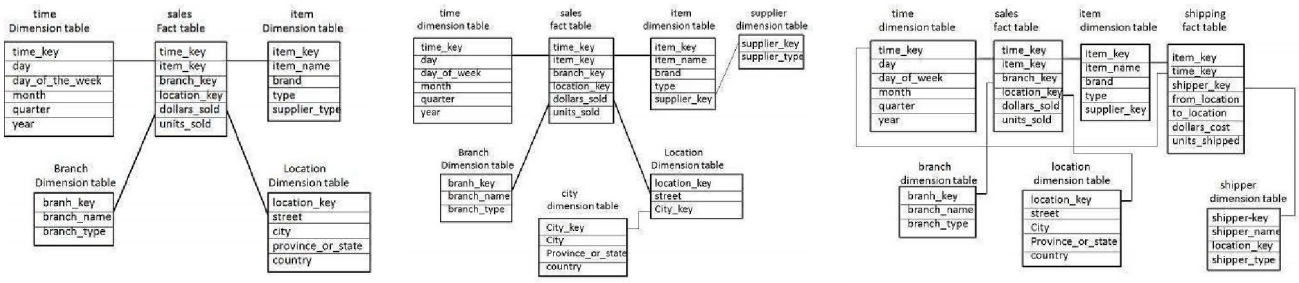
2.4) Graph Database เป็นฐานข้อมูลที่มีการระบุความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละชุดในลักษณะเครือข่าย (Network) หรือกราฟ (Graph) โดยข้อมูลแต่ละโหนด (Node) นั้นจะสามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างอิสระ ตัวอย่างของฐานข้อมูลชนิดนี้ เช่น Neo4j และ OrientDB เป็นต้น

คลังข้อมูล (Data Warehouse) [7] คือ แหล่งรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลจากหลากหลายระบบหรือหลากหลายฐานข้อมูลมารวบรวมไว้ในที่เดียว อาจเรียกที่จัดเก็บนี้ว่า คลังข้อมูลกลาง (Data Center) คลังข้อมูลจัดเก็บข้อมูลที่ผ่านกระบวนการสารสนเทศแล้ว คลังข้อมูลที่ดีควรออกแบบมาเพื่อรองรับการจัดเก็บข้อมูลที่มีปริมาณมากได้ รองรับการสืบค้นที่รวดเร็ว โดยอาจรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งที่สนใจ ทั้งภายในองค์กรทั้งหมดและภายนอกองค์กร โดยคลังข้อมูลจะเก็บข้อมูลที่มีทั้งหมดไว้ เป็นข้อมูลตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อการสร้างสนับสนุนการตัดสินใจต่างๆ ภายในองค์กร การออกแบบคลังข้อมูลแบบดังเดิมถูกแบ่งเป็น 3 ชนิด ดังต่อไปนี้ จากนั้นจัดเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์

1) Star Schema เป็นการออกแบบเพื่อตอบสนองประสิทธิภาพในการสืบค้นอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบด้วยวิธีนี้จะใช้พื้นที่จัดเก็บค่อนข้างมาก รูปที่ 1.(ก) แสดงตัวอย่างการออกแบบในรูปแบบ Star Schema ซึ่งมี Fact Table อยู่ตรงกลาง และมี Dimensional Tables ที่ไม่ได้ถูก Normalization อยู่โดยรอบ

2) Snowflake Schema เป็นการออกแบบเพื่อประหยัดพื้นที่จัดเก็บ แต่การตอบสนองต่อการสืบค้นจะช้ากว่าการออกแบบด้วย Star Schema รูปที่ 1.(ข) แสดงตัวอย่างการออกแบบในรูปแบบ Star Schema ซึ่งมี Fact Table อยู่ตรงกลาง และมี Dimensional Tables ที่ถูก Normalization แล้วอยู่โดยรอบ

3) Galaxy Schema เป็นการออกแบบเพื่อรองรับ Fact Tables มากกว่า 1 ตาราง โดย Dimensional Tables ที่ถูก Normalization หรือไม่ก็ได้ ดังรูปที่ 1.(ค)



(ก) Star Schema (ข) Snowflake Schema (ค) Galaxy Schema

รูปที่ 1 การออกแบบคลังข้อมูล

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัยนี้ คือ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง โดยผู้ที่ได้ประโยชน์จากโครงการ คือ

1) กรมฝนหลวงและการบินเกษตร มีระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนการปฏิบัติการและการจัดทำฝน โดยสามารถลดความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) กรมชลประทานสามารถบริหารจัดการน้ำของเขื่อนแก่งกระจานและพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการร่วมมือกับกรมฝนหลวงและการบินเกษตรในการวางแผนการเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกันในอ่างเก็บน้ำ และการเพิ่มปริมาณน้ำฝนในการช่วยเหลือเกษตรกรในช่วงฝนทิ้งช่วงและฝนแล้ง

3) เกษตรกรและประชาชนที่ได้ใช้ประโยชน์จากการปฏิบัติการณ์ฝนหลวงที่แม่นยำ ส่งผลให้รายได้ครัวเรือนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเสียหายของผลผลิตทางการเกษตรที่ขาดแคลนน้ำจะลดลง และในระยะยาวจะส่งผลให้ภาคการเกษตรมีเกษตรกรเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากรายได้จากการทำเกษตรที่มั่นคง

เนื้อเรื่อง (Main Body)

1. วิธีดำเนินการวิจัย (Material and Method)

โครงการวิจัยนี้มีขั้นตอนวิจัยดังต่อไปนี้

1) ทบทวนเอกสาร รวบรวมข้อมูล และทวนสอบความเข้าใจในหัวข้อต่อไปนี้

1.1) การจัดการน้ำ การใช้น้ำ และความชื้นในดิน ทวนสอบความเข้าใจกับผู้เชียวชาญด้านน้ำ (ที่ปรึกษาโครงการวิจัย และคณะวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย)

1.2) การวางแผนและการตัดสินใจการปฏิบัติการฝนหลวงในปัจจุบัน ทวนสอบความเข้าใจกับตัวแทนจากทีมปฏิบัติการของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

2) ทบทวนเอกสารและรวบรวมข้อมูลด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย

2.1) ศึกษาโครงสร้างข้อมูลและการเขียน API

2.2) ศึกษาการแปลงข้อมูลแบบไม่มีโครงสร้าง (unstructured data) เช่น ข้อมูลกรวยปฏิบัติการณ์ เป็นต้น.ให้สามารถจัดเก็บและนำไปใช้ในระบบได้ โดยใช้พื้นที่เก็บเล็กที่สุด

2.3) ศึกษาการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และการนำเสนอข้อมูลแบบแผนที่ทางภูมิศาสตร์และข้อมูลทางภูมิศาสตร์ รวมทั้งการนำเสนอข้อมูลแบบแผนภูมิต่างๆ

3) พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ฐานข้อมูล และระบบผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้งทดสอบระบบ โดยใช้โมเดลในการพัฒนาซอฟแวร์แบบ prototyping model กล่าวคือ มีการสร้างเว็บแอปพลิเคชันต้นแบบ เพื่อนำเสนอผู้ใช้และปรับแก้ตามผู้ใช้หลายรอบ โดยในโครงการวิจัยนี้มีการพัฒนาและปรับแก้เว็บแอปพลิเคชันต้นแบบดังนี้

3.1) ต้นแบบเวอร์ชันที่ 1 รับความต้องการผู้ใช้จากเอกสารต่างที่เกี่ยวข้อง โดยทีมวิจัย

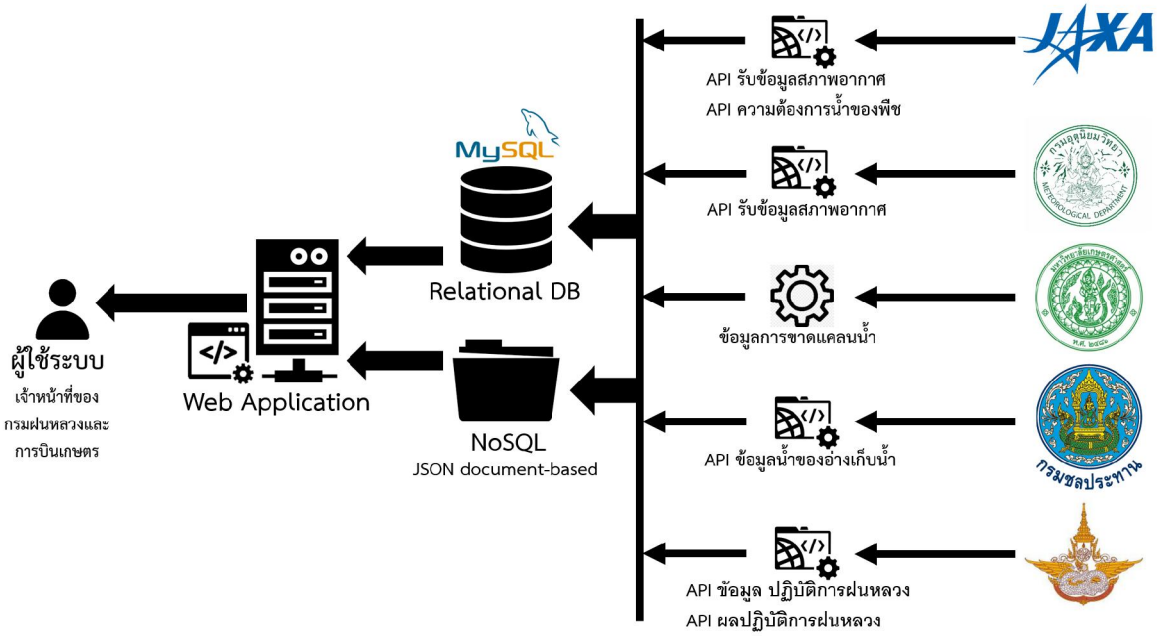
3.2) ต้นแบบเวอร์ชันที่ 2 ปรับแก้ตามความต้องการของ ที่ปรึกษาโครงการวิจัย คณะวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย และตัวแทนจากทีมปฏิบัติการของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

3.3) ต้นแบบเวอร์ชันที่ 3 ปรับแก้ตามความต้องการของทีมผู้บริหารและทีมปฏิบัติการของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิหลังรายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยรอบที่ 1

3.4) ต้นแบบเวอร์ชันที่ 4 ปรับแก้เล็กน้อยตามความต้องการของทีมผู้บริหารและทีมปฏิบัติการของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ปรึกษาโครงการวิจัย และคณะวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย รอบที่ 2

3.5) ต้นแบบเวอร์ชันที่ 5 ปรับแก้เล็กน้อยตามความต้องการของทีมผู้บริหารและทีมปฏิบัติการของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ปรึกษาโครงการวิจัย และคณะวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย รอบที่ 3

4) จัดทำบทความทางวิชการและเขียนรายงานสรุป



รูปที่ 2 ภาพรวมของโครงการวิจัย

2. ผลการวิจัย (Result)

โครงการวิจัยนี้จัดทำฐานข้อมูลและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง รูปที่ 2 แสดงภาพรวมของโครงการวิจัยนี้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ (1) ส่วน API เพื่อการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิบัติการ และสกัดข้อมูลที่เป็นประโยชน์และสามารถสนับสนุนการตัดสินใจได้ เพื่อจัดเก็บในฐานข้อมูล (2) ส่วนฐานข้อมูล เพื่อการจัดเก็บข้อมูลจากส่วนที่ 1 เช่น ข้อมูลสภาพอากาศในอดีต ปัจจุบันและอนาคต ข้อมูลน้ำในเขื่อน เป็นต้น (3) ส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้คะแนนระดับความเร่งด่วนของการปฏิบัติการของแต่ละพื้นที่ในระดับอำเภอ และ (4) ส่วนนำเสนอข้อมูลผู้ใช้ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อการนำเสนอข้อมูลแก่ผู้ใช้ รายละเอียดการจัดทำฐานข้อมูลและพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวงในแต่ละส่วน มีดังนี้

2.1. ส่วน API

โครงการวิจัยนี้ออกแบบและพัฒนา API เพื่อการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับปฏิบัติการ และสกัดข้อมูลที่เป็นประโยชน์และสามารถสนับสนุนการตัดสินใจได้ เพื่อจัดเก็บในฐานข้อมูล ตารางที่ 3 สรุป API ต่างๆ ที่ใช้ในโครงการวิจัย

ตารางที่ 3 API ต่างๆ ที่ใช้ในโครงการวิจัย

ข้อมูล	หน่วยงานที่ให้ข้อมูล	ความถี่ของข้อมูล	API Link
ข้อมูลสภาพอากาศรายวัน ประกอบด้วยข้อมูล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน สภาพอากาศ ของแต่ละอำเภอในลุ่มน้ำเพชรบุรี	กรมอุตุนิยมวิทยา	อัตโนมัติ ทุกวัน วันละ 1 ครั้งเวลา 7.00 น.	https://data.tmd.go.th/nwpapi/v1/forecast/location/daily/at https://data.tmd.go.th/nwpapi/doc/
ข้อมูลการพยากรณ์อากาศรายวัน ประกอบด้วยข้อมูล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน สภาพอากาศ ของแต่ละอำเภอในลุ่มน้ำเพชรบุรี	กรมอุตุนิยมวิทยา	อัตโนมัติ ทุกวัน วันละ 1 ครั้งเวลา 7.00 น.	https://data.tmd.go.th/nwpapi/v1/forecast/location/daily/at https://data.tmd.go.th/nwpapi/doc/
ข้อมูลการบริหารจัดการน้ำย้อนหลัง 1 ปี จากโครงการวิจัยย่อยในปีที่ 1 เช่น ข้อมูลการขาดแคลนน้ำในแต่ละพื้นที่แต่ละช่วงเวลา เป็นต้น	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการวิจัยย่อยในปีที่ 1	รวบรวมครั้งเดียว (ด้วยมือ)	-
ข้อมูลแผนและผลปฏิบัติการฝนหลวง ประกอบด้วยข้อมูลวันที่ปฏิบัติการ และผลการปฏิบัติการ เป็นต้น	กรมฝนหลวงและการบินเกษตร	อัตโนมัติ ทุกวัน วันละ 1 ครั้งเวลา 23.00 น.	http://catalog.royalrain.go.th/dataset/
ข้อมูลสภาพอากาศรายวันและดัชนีพืชพันธุ์ ของแต่ละอำเภอในลุ่มน้ำเพชรบุรี	JAXA	อัตโนมัติ ทุกวัน วันละ 1 ครั้งเวลา 7.30 น.	https://www.jpmap-jaxa.jp/jpmap/en/api_reference/
ข้อมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วย ปริมาตรน้ำในอ่าง หรือเปอร์เซ็นต์น้ำในอ่าง เป็นต้น	**กรมชลประทาน**	อัตโนมัติ ทุกวัน วันละ 1 ครั้งเวลา 8.00 น.	https://app.rid.go.th/reservoir/

หมายเหตุ API ที่ทำการดึงข้อมูลทุกวัน จะปรับเปลี่ยนเป็นดึงทุกๆ ชั่วโมง กรณีที่ไม่สามารถดึงข้อมูลได้

2.2. ส่วนฐานข้อมูล

โครงการวิจัยนี้ออกแบบโดยผสมผสานการจัดเก็บข้อมูลแบบฐานข้อมูลดังเดิม Relational Database เข้ากับคลังข้อมูลรูปแบบสมัยใหม่ NoSQL รูปแบบ Document-based Storage ทั้งนี้เพื่อให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างข้อมูลในอนาคตและสืบค้นที่รวดเร็ว รายละเอียดการเก็บข้อมูลทั้ง 2 ประเภท ดังนี้

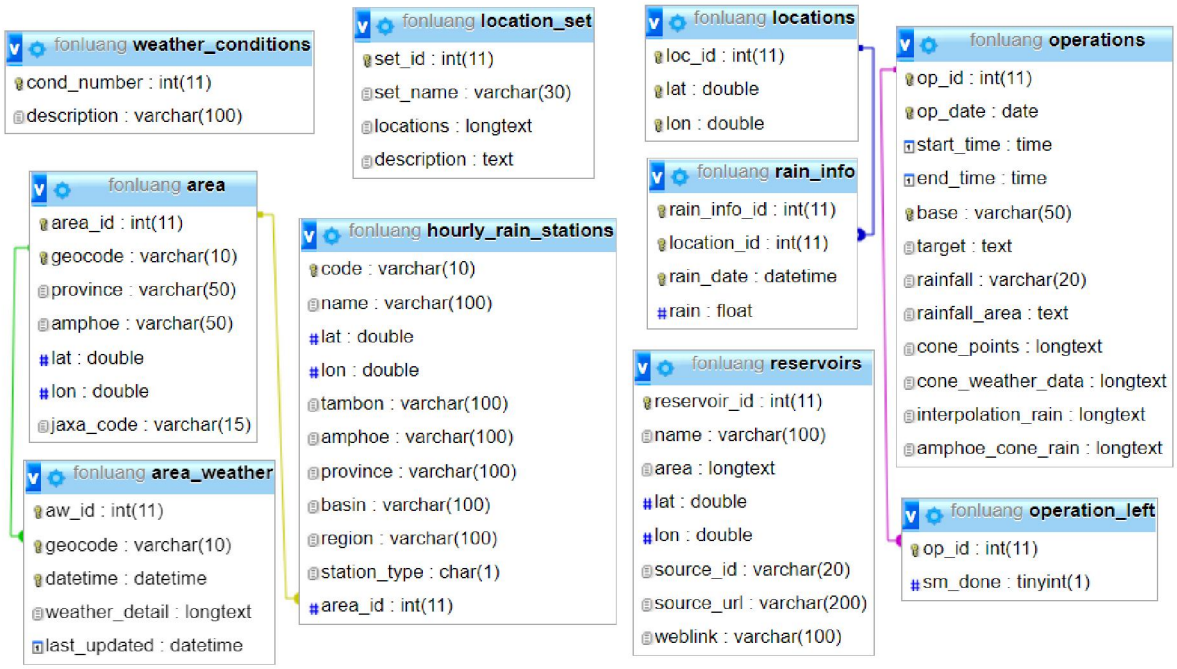
1) Relational Database (ฐานข้อมูล MySQL) ใช้ในการเก็บข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลอื่นและส่วนใหญ่เป็นข้อมูลปฐมภูมิที่มีการเข้าถึงเพื่อนำไปประมวลผลต่อในภายหลัง เช่น ข้อมูลตำแหน่ง (ละติจูด ลองจิจูด) ต่างๆ ของลุ่มน้ำเพชรบุรี ข้อมูลอ่างเก็บน้ำในขอบเขตวิจัยของโครงการ อำเภอในขอบเขตลุ่มน้ำเพชรบุรี เป็นต้น นอกจากนี้ การออกแบบการเก็บข้อมูลยังเน้นการเก็บในรูปแบบของ JSON object แทนการเก็บแบบ entity-attribute-value ซึ่งเป็นแบบดั้งเดิม ส่งผลให้ออกแบบง่ายขึ้นและมีความสัมพันธ์น้อยลง แต่ยอมรับการเก็บข้อมูลซ้ำซ้อนได้

2) NoSQL Document Database โดยเก็บเป็นไฟล์รูปแบบ JSON เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ข้อมูลที่เก็บจะเป็นข้อมูลที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น ข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ และข้อมูลทุติยภูมิที่มีการดาวน์โหลดจากแหล่งข้อมูลอื่น และผ่านการวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิจัย เช่น ข้อมูลพยากรณ์อากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลน้ำฝน ข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวงพร้อมการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ ข้อมูลการแนะนำแผนการปฏิบัติการฝนหลวงรายวัน เป็นต้น

คำอธิบายและรายละเอียดของการออกแบบฐานข้อมูลทั้ง 2 ประเภท แจกแจงได้ดังนี้

1) Relational Database (ฐานข้อมูล MySQL)

ข้อมูลที่เก็บในฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์มักเป็นข้อมูลที่มีชนิดข้อมูล attributes เป็นชนิดพื้นฐาน โดยในโครงการวิจัยนี้จะเก็บข้อมูลปฐมภูมิที่เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่อาจต้องมีการค้นหาบ่อยครั้งเพื่อการประมวลผลต่อไป นอกจากนี้ ยังใช้ในการเก็บข้อมูลที่อาจมีโครงสร้างซับซ้อนแต่อาจมีการอัพเดทข้อมูลหลายครั้ง เช่น ข้อมูลในตาราง operations ดังรายละเอียดที่แสดงอยู่ด้านล่าง แผนภาพการออกแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์แสดงได้ดังรูปที่ 3 และตารางที่ 4 โดยตารางภาคผนวกที่ 1-10 แสดงคำอธิบายโครงสร้างตาราง



รูปที่ 3 ER-diagram ของ Relational Database ในโครงการวิจัย

ตารางที่ 4 รายชื่อตารางในฐานข้อมูล

ชื่อตาราง	คำอธิบาย
Area (ตารางภาคผนวกที่ 1)	เก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ในระดับอำเภอของพื้นที่ที่ศึกษา
area_weather (ตารางภาคผนวกที่ 4)	เก็บข้อมูลพยากรณ์อากาศรายวันของแต่ละพื้นที่ที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา (https://data.tmd.go.th/nwpapi/doc/)
hourly_rain_stations (ตารางภาคผนวกที่ 2)	เก็บข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ
Locations (ตารางภาคผนวกที่ 3)	เก็บพิกัดทางภูมิศาสตร์ในพื้นที่ที่ศึกษา ซึ่งในกรณีนี้ คือ ลุ่มน้ำเพชรบุรี
location_set (ตารางภาคผนวกที่ 5)	เก็บชุดของ locations เพื่อการประมวลผลพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ความละเอียดต่างๆ กัน
Operations (ตารางภาคผนวกที่ 6)	เก็บข้อมูลแผนและผลปฏิบัติการฝนหลวงในพื้นที่ที่ศึกษา ซึ่งข้อมูลถูกดึงมาจาก API ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร (http://catalog.royalrain.go.th/dataset/)
operation_left (ตารางภาคผนวกที่ 7)	เก็บข้อมูลของปฏิบัติการที่ยังประมวลผลไม่เสร็จ และจะถูกลบทิ้งเมื่อไม่มีการประมวลผลใดค้างอยู่แล้ว
rain_info (ตารางภาคผนวกที่ 8)	เก็บปริมาณน้ำฝนเฉพาะในพิกัดที่มีฝนตกในแต่ละวัน
weather_conditions (ตารางภาคผนวกที่ 10)	เก็บข้อมูลการแปรผลรหัสของสภาพอากาศที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา
Reservoirs (ตารางภาคผนวกที่ 9)	เก็บข้อมูลของเขื่อนและอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ที่ศึกษา

2) ฐานข้อมูลเชิงเอกสารในรูปแบบ JSON (JSON document-based)

ข้อมูลที่เก็บในรูปแบบเอกสารนั้นจะเป็นข้อมูล static หรือข้อมูลที่มีการประมวลผลครั้งเดียวแต่อาจมีการเข้าถึงหลายครั้ง และเมื่อใช้งานครั้งหนึ่งจะใช้งานทั้งเอกสาร โดยแบ่งออกได้เป็นหลายส่วน โดยจะเรียกส่วนที่เก็บว่า collections และภายใน collections สามารถมีเอกสาร (documents) ได้หลายเอกสาร โดย collections สามารถเทียบเท่าได้กับตาราง และ documents อาจเทียบเท่าได้กับ records ในฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ แต่ documents มักจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่า record มาก จึงไม่เหมาะที่จะเก็บในฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ดังแสดงในตารางที่ 5 รายละเอียดของโครงสร้างข้อมูลของ collections บางรายการถูกแจกแจงในรูปภาคผนวกที่ 1-7 และตารางภาคผนวกที่ 11-17

ตารางที่ 5 รายชื่อ collections ที่เก็บในฐานข้อมูลเชิงเอกสาร

ชื่อ collection	**คำอธิบาย**
Area	เก็บข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ ในรูปแบบของ polygon สำหรับพื้นที่ทั้งหมดที่ศึกษาเพื่อใช้ในการแสดงผลแผนที่ภูมิศาสตร์ โดยฟอร์แมตที่เก็บเป็นไปตามโครงสร้างของ source attribute ใน Arcgis
cone	เก็บข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ ในรูปแบบของ polygon สำหรับกรวยปฏิบัติการทั้งหมดเพื่อใช้ในการแสดงผลแผนที่ภูมิศาสตร์ โดยฟอร์แมตที่เก็บเป็นไปตามโครงสร้างของ source attribute ใน Arcgis
Distance (รูปภาคผนวกที่ 1 และตารางภาคผนวกที่ 11)	เก็บข้อมูลระยะห่างของพิกัดใน location_set แต่ละเซ็ตเทียบกับสถานีตรวจวัดน้ำฝนสำหรับการคำนวณ IDW interpolation โดยเก็บ 1 เอกสารต่อ 1 location_set
fonluang_request_history (รูปภาคผนวกที่ 2 และตารางภาคผนวกที่ 12)	เก็บข้อมูลของการร้องขอการทำปฏิบัติการฝนหลวงแยกรายปี (รายเอกสาร) และรายพื้นที่ในพื้นที่ที่ศึกษาเพื่อความรวดเร็วในการดึงข้อมูล
operation_cone	เก็บข้อมูลน้ำฝนที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธี IDW interpolation โดยมีฟอร์แมตดังเช่นตาราง operations.cone_weather_data
operation_hourly_rain (รูปภาคผนวกที่ 3 และตารางภาคผนวกที่ 13)	เก็บข้อมูลฝนรายชั่วโมงที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดน้ำฝนเฉพาะวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวง (รายเอกสาร) โดยแยกตามพื้นที่ในและนอกกรวยปฏิบัติการและตามชั่วโมงปฏิบัติการ
operation_sm (รูปภาคผนวกที่ 4 และตารางภาคผนวกที่ 14)	เก็บข้อมูลของความชื้นในดินที่ดึงมาจาก JAXA API โดยเอกสารแยกตามวันปฏิบัติการฝนหลวง (รายเอกสาร) และภายในเอกสารแยกเฉพาะตามพื้นที่ในกรวย และตามวันที่รายงานความชื้น โดยจะดึงค่าระหว่างวันที่ T-1 ถึง T+3 ตามผลจากโครงการวิจัยที่ 2
Reservoir (รูปภาคผนวกที่ 5 และตารางภาคผนวกที่ 15)	เก็บข้อมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา โดยแยกข้อมูลเป็นรายวัน (รายเอกสาร)
Summary (รูปภาคผนวกที่ 6 และตารางภาคผนวกที่ 16)	เก็บข้อมูลสรุปการประมวลผลเพื่อแนะนำการวางแผนการปฏิบัติการฝนหลวงรายวัน (รายเอกสาร) โดยแยกเป็นรายพื้นที่ (อำเภอ)
Weather (รูปภาคผนวกที่ 7 และตารางภาคผนวกที่ 17)	เก็บข้อมูลการพยากรณ์อากาศรายวัน (รายเอกสาร) ของกรมอุตุนิยมวิทยาตามพิกัดที่มีทั้งหมดในฐานข้อมูล (ตาราง locations)

2.3. ส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญ

ส่วนระบบผู้เชี่ยวชาญในโครงการวิจัยนี้ ถูกออกแบบและพัฒนาเพื่อให้คะแนน 3 ประเภท คือ (1) คะแนนระดับความเร่งด่วนในการปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขภัยแล้งของแต่ละพื้นที่ในระดับอำเภอ (2) คะแนนระดับความเร่งด่วนในการปฏิบัติการเติมน้ำให้เขื่อน และ (3) คะแนนสภาพอากาศชั้นบน ณ วันปฏิบัติการ รายละเอียดของการระบบผู้เชี่ยวชาญแต่ละแบบดังนี้

1) **ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้คะแนนระดับความเร่งด่วนในการปฏิบัติการป้องกันและแก้ไขภัยแล้งของแต่ละพื้นที่ในระดับอำเภอ** ถูกออกแบบและพัฒนาเพื่อให้คะแนนระดับความเร่งด่วนในการปฏิบัติการของแต่ละพื้นที่ในระดับอำเภอ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในอดีต ปริมาณน้ำพยากรณ์ในอนาคต ความต้องการน้ำของพืช และจำนวนการร้องขอของภาคประชาชน มาพิจารณาให้ระดับคะแนนจากค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักดังสมการที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 6

$$priority = \left\lceil 5\left(\sum_{i=1}^{6} w_i * s_i\right)\right\rceil \quad (1)$$

โดย w_i คือ ค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ตัวที่ i และ s_i คือ คะแนนที่ได้จากพารามิเตอร์ตัวที่ i โดยยิ่งมาค่ามากยิ่งดี หมายถึง เร่งด่วนน้อย ซึ่งมีรายละเอียดการถ่วงน้ำหนักซึ่งถอดองค์ความรู้จากที่ปรึกษาโครงการวิจัย สรุปดังตารางภาคผนวกที่ 6

2) **ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้คะแนนระดับความเร่งด่วนในการปฏิบัติการเติมน้ำให้เขื่อน** ถูกออกแบบและพัฒนาเพื่อให้คะแนนระดับความเร่งด่วนในการปฏิบัติการของเขื่อนและอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเพชรบุรี ประกอบด้วย เขื่อนแก่งกระจาน อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ อ่างเก็บน้ำห้วยผาก ระดับคะแนนอ้างอิงจากปริมาณน้ำในอ่างปัจจุบันหักและปริมาณน้ำไหลออกสะสมย้อนหลัง 7 วัน โดยระดับคะแนนคำนวณจากสมการที่ 2 โดย v_{out} คือ ปริมาณน้ำไหลออกสะสมย้อนหลัง 7 วัน และ v_{use} คือ ปริมาณน้ำในอ่างที่ใช้การได้

$$rate = \left\lceil \frac{1}{2 \times v_{out} \times v_{use}} \right\rceil \quad (2)$$

3) **ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้คะแนนสภาพอากาศชั้นบน ณ วันปฏิบัติการ** ถูกออกแบบและพัฒนาเพื่อให้คะแนนระดับสภาพอากาศชั้นบนตอนเช้าก่อนการปฏิบัติการณ์ โดยคำนวณคะแนนจากผลรวมระดับคะแนนสภาพอากาศชั้นบนตามความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมของระดับต่างๆ โดยรายละเอียดคะแนนสภาพอากาศชั้นบนพิจารณาจาก ตามเอกสาร “สรุปถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง 2564” ที่มา https://www.royalrain.go.th/UploadFile/05163325640208.pdf

อย่างไรก็ตามโครงการวิจัยนี้ยังไม่มีการคอมพิวเตอร์สร้างโมเดลในการทำนายหรือให้ระดับคะแนนโดยใช้เทคนิค supervised learning และ unsupervised learning เนื่องจากยังมีจำนวนข้อมูลในการปฏิบัติการณ์ค่อยข้างน้อยและยังไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 6 ตารางแสดงรายละเอียดการคำนวณความเร่งด่วนของการทำปฏิบัติการฝนหลวง

i	คำอธิบาย พารามิเตอร์ตัวที่ i	w_i	สูตร s_i	คำอธิบาย s_i
1	ปริมาณน้ำฝนสะสม 7 วันที่ผ่านมา (val หรือ rain1)	0.15	$\min(1,\frac{val}{10})$	เทียบสัดส่วนปริมาณฝน 7 วันกับ 10 มม. ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจจากถอดบทเรียนปฏิบัติการฝนหลวง 2563
2	ปริมาณน้ำฝนคาดการณ์ 3 วันล่วงหน้า (val หรือ rain2)	0.1	$\min(1,\frac{val}{5})$	เทียบสัดส่วนปริมาณฝน 7 วันกับ 5 มม. โดยลดทอนจาก 7 วัน
3	ปริมาณน้ำฝนคาดการณ์ 7 วันล่วงหน้า (val)	0.05	$\min(1,\frac{val}{10})$	เทียบสัดส่วนปริมาณฝน 7 วันกับ 10 มม. ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจจากถอดบทเรียนปฏิบัติการฝนหลวง 2563
4	ความชื้นในดินล่าสุดที่คำนวณได้ (val)	0.2	$\min(1,\frac{val}{40})$	เทียบสัดส่วนกับความชื้นกับ 40 ซึ่งเป็นค่าความชื้นในเกณฑ์ปกติ*
5	จำนวนการขอรับบริการ (val)	0.3	$\min(1,1-\frac{val}{reqest_num_{max}})$	เทียบสัดส่วนที่ร้องขอในพื้นที่กับจำนวนการร้องขอสูงสุดของทุกพื้นที่ และต้องกลับค่าคะแนนโดยนำไปลบออกจาก 1 เพื่อให้คะแนนยิ่งมากยิ่งดี
6	ปริมาณการใช้น้ำของพืช (val)	0.2	$\min(1,\frac{\frac{rain1+rain2}{10}}{val})$	เทียบสัดส่วนของปริมาณน้ำฝนรายวันตามธรรมชาติ (7 วันย้อนหลังและ 3 วันล่วงหน้า) กับปริมาณการใช้น้ำ เพื่อตรวจสอบว่ายังขาดน้ำอีกเท่าไร

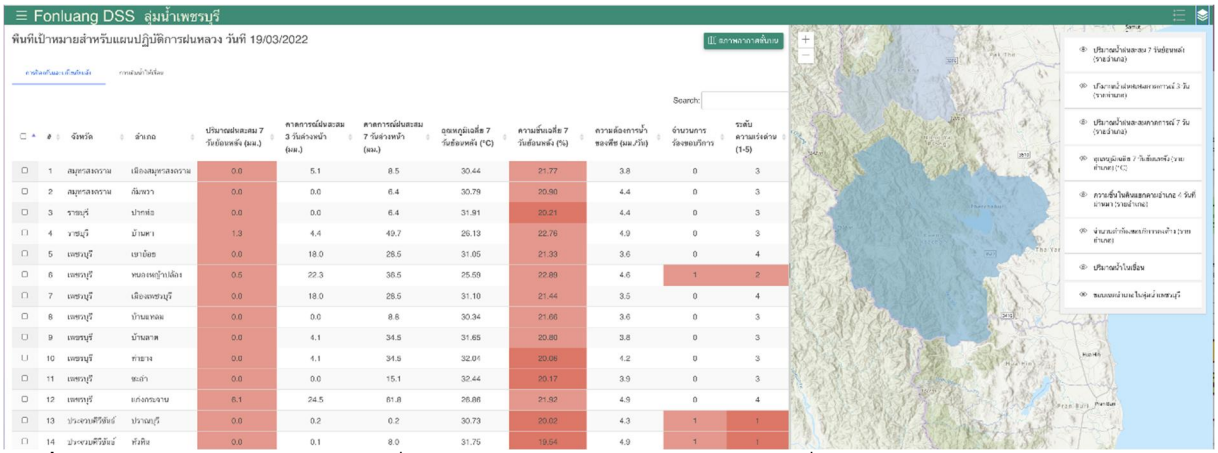
2.4. ส่วนนำเสนอข้อมูลผู้ใช้

ส่วนนำเสนอข้อมูลผู้ใช้ หรือ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการของเจ้าหน้าที่ในกรมฝนหลวงและการบินเกษตรให้ได้ประสิทธิผลที่สูงขึ้น ในโครงการวิจัยนี้ถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน (https://cpeserver.eng.kps.ku.ac.th/fonluang/) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเข้าถึงได้ง่ายและเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลา โดยแบ่งการนำเสนอข้อมูลออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ

1) ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจปฏิบัติการ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

1.1) ส่วนข้อมูลพื้นที่เป้าหมาย เพื่อการป้องกันภัยแล้ง จะแสดงข้อมูลพื้นฐานของแต่ละอำเภอในจังหวัดเพชรบุรี เพื่อประกอบการตัดสินใจกำหนดพื้นที่เป้าหมายตามความเร่งด่วน (รูปที่ 4) ประกอบด้วยข้อมูล ดังรายการด้านล่าง โดยข้อมูลข้างต้น จะแสดงการแจ้งเตือนเป็นสีแดงกรณีที่ข้อมูลอยู่ในระดับที่ควรเฝ้าระวังและเชื่อมโยงไปยังแผนที่ที่อยู่ทางด้านขวามือ

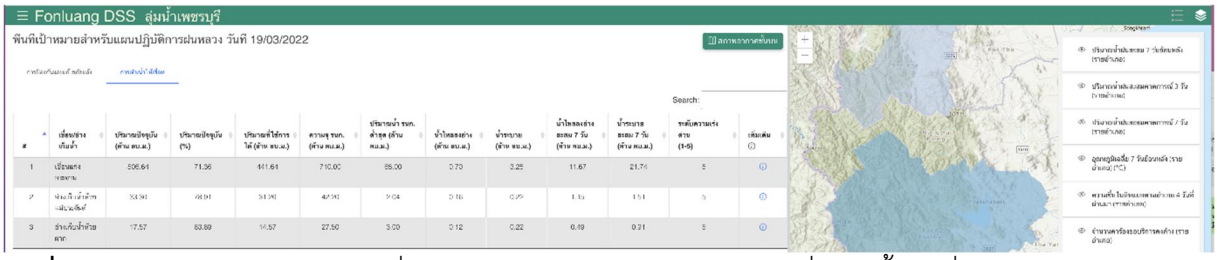
- ข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมย้อนหลัง 7 วัน
- ข้อมูลคาดการณ์น้ำฝนสะสมล่วงหน้า 3 วัน
- ข้อมูลคาดการณ์น้ำฝนสะสมล่วงหน้า 7 วัน
- ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยย้อนหลัง 7 วัน
- ข้อมูลความชื้นดินเฉลี่ยย้อนหลัง 7 วัน
- ข้อมูลความต้องการน้ำของพืชล่าสุด
- จำนวนการร้องขอบริการ
- ระดับความเร่งด่วนในการปฏิบัติการณ์ โดยทำนายจากระบบผู้เชี่ยวชาญ



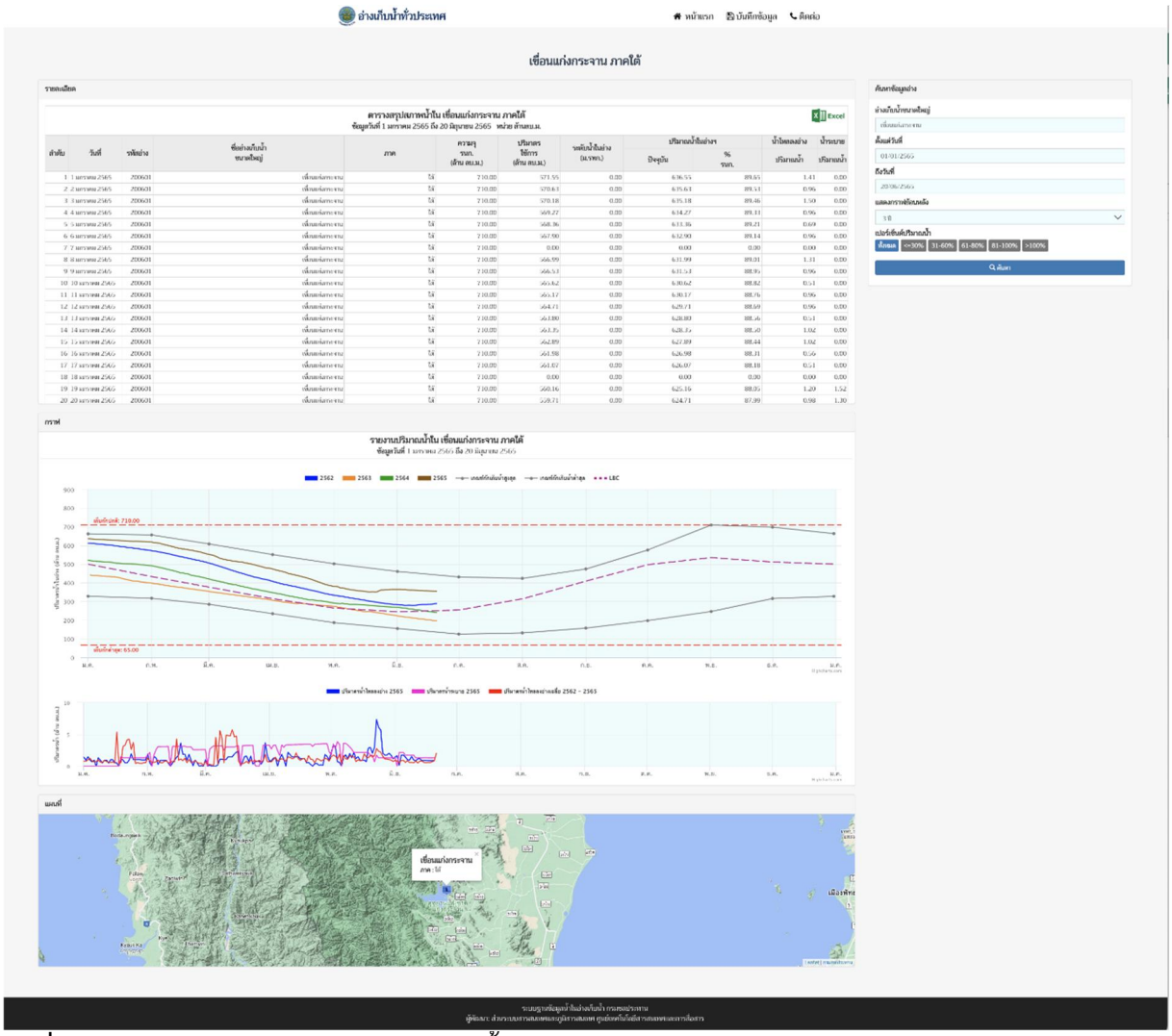
รูปที่ 4 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจปฏิบัติการ เพื่อป้องกันและแก้ไขภัยแล้ง

1.2) ส่วนข้อมูลพื้นที่เป้าหมาย เพื่อเติมน้ำให้เขื่อน (รูปที่ 5) จะแสดงข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับน้ำในอ่างเก็บน้ำหลัก 3 อ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี คือ (1) เขื่อนแก่งกระจาน (2) อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ และ (3) อ่างเก็บน้ำห้วยผาก โดยจะเชื่อมโยงข้อมูลไปยังรายละเอียดข้อมูลการเก็บกักน้ำในอ่างของกรมชลประทาน (รูปที่ 6) (https://app.rid.go.th/reservoir/rsvmiddle/dam_detail/...) ข้อมูลที่แสดงในส่วนนี้ประกอบด้วย

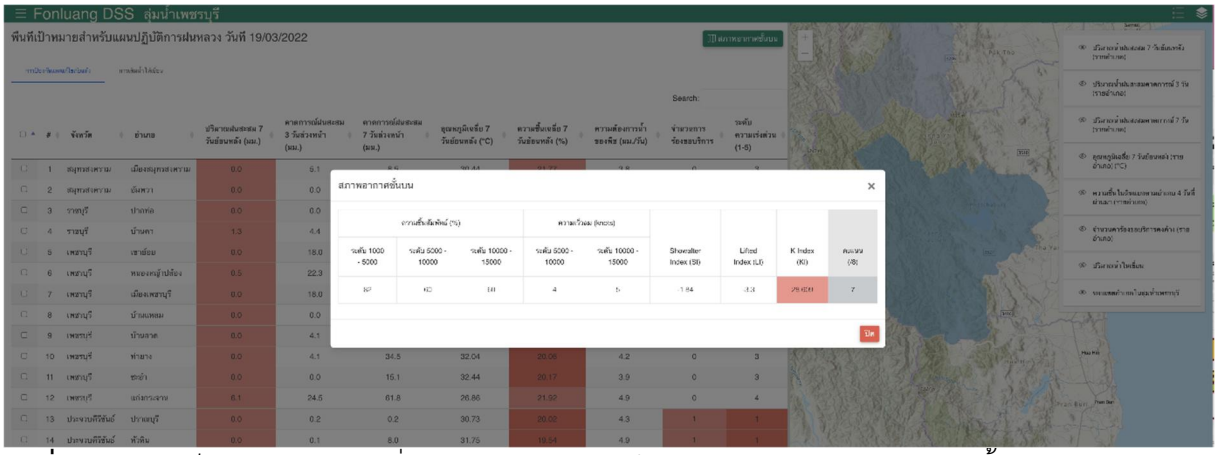
- ปริมาณปัจจุบัน และ ปริมาณน้ำที่ใช้ได้
- ความจุ รนก. และ ปริมาณน้ำ รนก. ต่ำสุด
- น้ำไหลลงอ่าง และ น้ำไหลลงอ่างสะสม
- น้ำระบาย และ น้ำระบายสะสม
- ระดับความเร่งด่วนในการปฏิบัติการณ์ โดยทำนายจากระบบผู้เชียวชาญ



รูปที่ 5 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจปฏิบัติการ เพื่อเติมน้ำให้เขื่อน



รูปที่ 6 ตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลการเก็บกักน้ำในอ่างของกรมชลประทาน



รูปที่ 7 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจปฏิบัติการ ส่วนสภาพอากาศชั้นบน

2) ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการก่อนขึ้นบิน

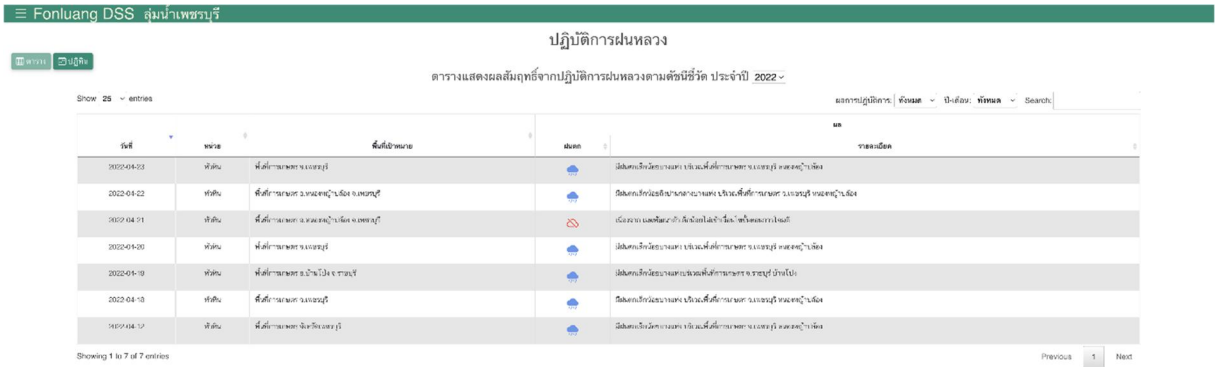
ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการก่อนขึ้นบินจะแสดงสภาพอากาศชั้นบน (รูปที่ 5) ประกอบด้วยความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมของระดับต่างๆ รวมทั้งระดับคะแนนสภาพอากาศชั้นบนที่ทำนายจากระบบผู้เชียวชาญ

3) รายงานผลการปฏิบัติการ

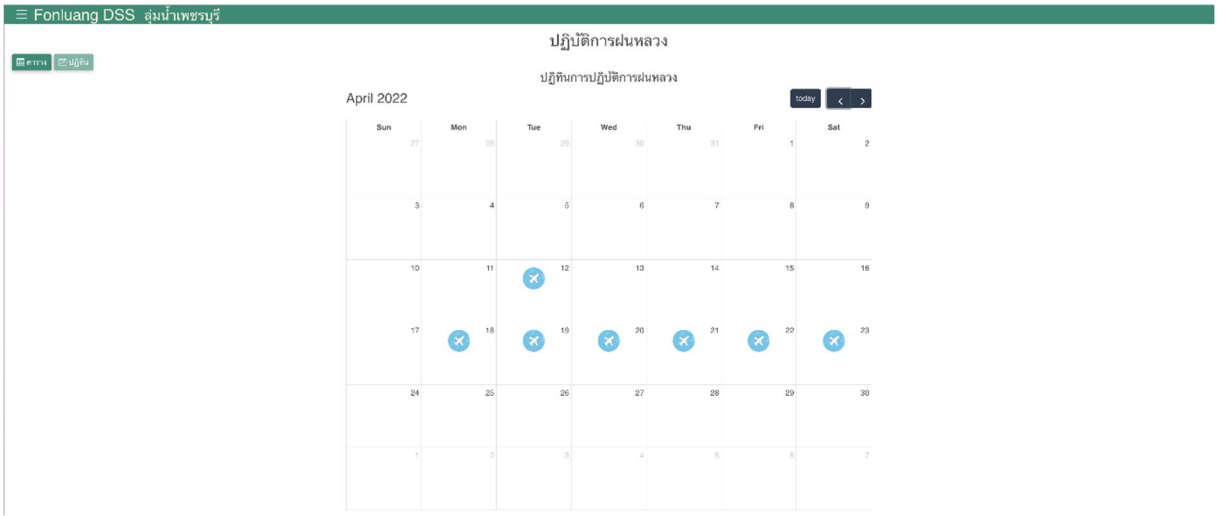
รายงานผลการปฏิบัติการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

3.1) ตารางสรุปปฏิบัติการฝนหลวง (ภาพที่ 8) แสดงตารางของข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวงโดยสรุป ประกอบด้วยข้อมูล วันที่ปฏิบัติการ หน่วยปฏิบัติการ พื้นที่เป้าหมาย ผลสัมฤทธิ์

3.2) ปฏิทินสรุปปฏิบัติการฝนหลวง (ภาพที่ 9) แสดงตารางของข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวง



รูปที่ 8 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน ตารางสรุปปฏิบัติการฝนหลวง



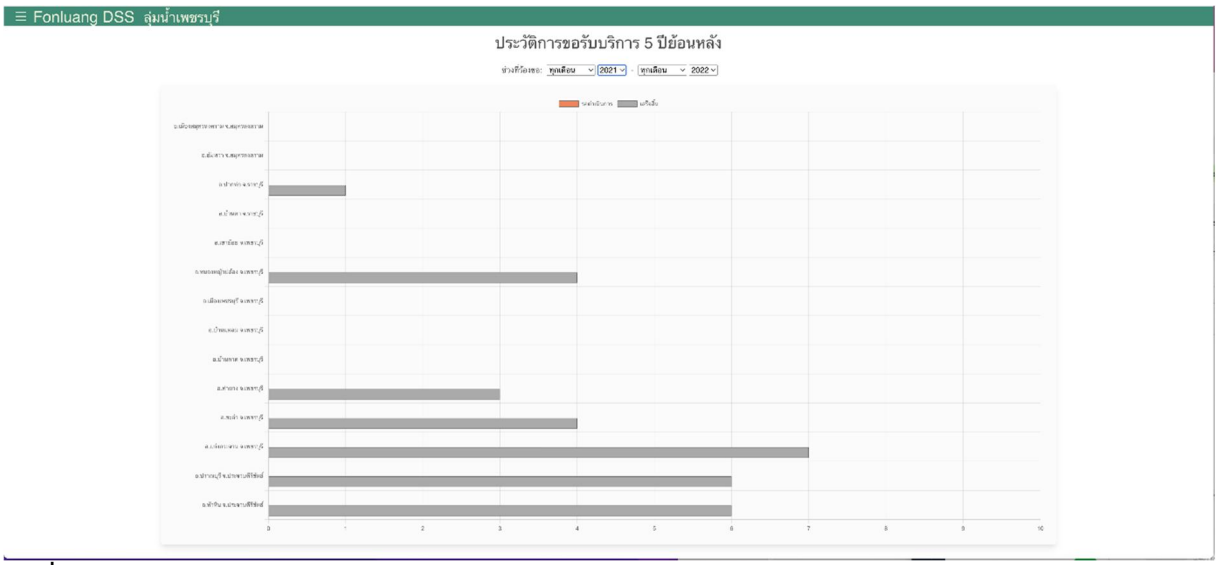
รูปที่ 9 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน ปฏิทินสรุปปฏิบัติการฝนหลวง

3.3) รายละเอียดการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้ง (ภาพที่ 11) แสดงสัมฤทธิ์ของการปฏิบัติการฝนหลวง โดยอ้างอิงจากกรวยปฏิบัติการ แบ่งผลสัมฤทธิ์ออกเป็น

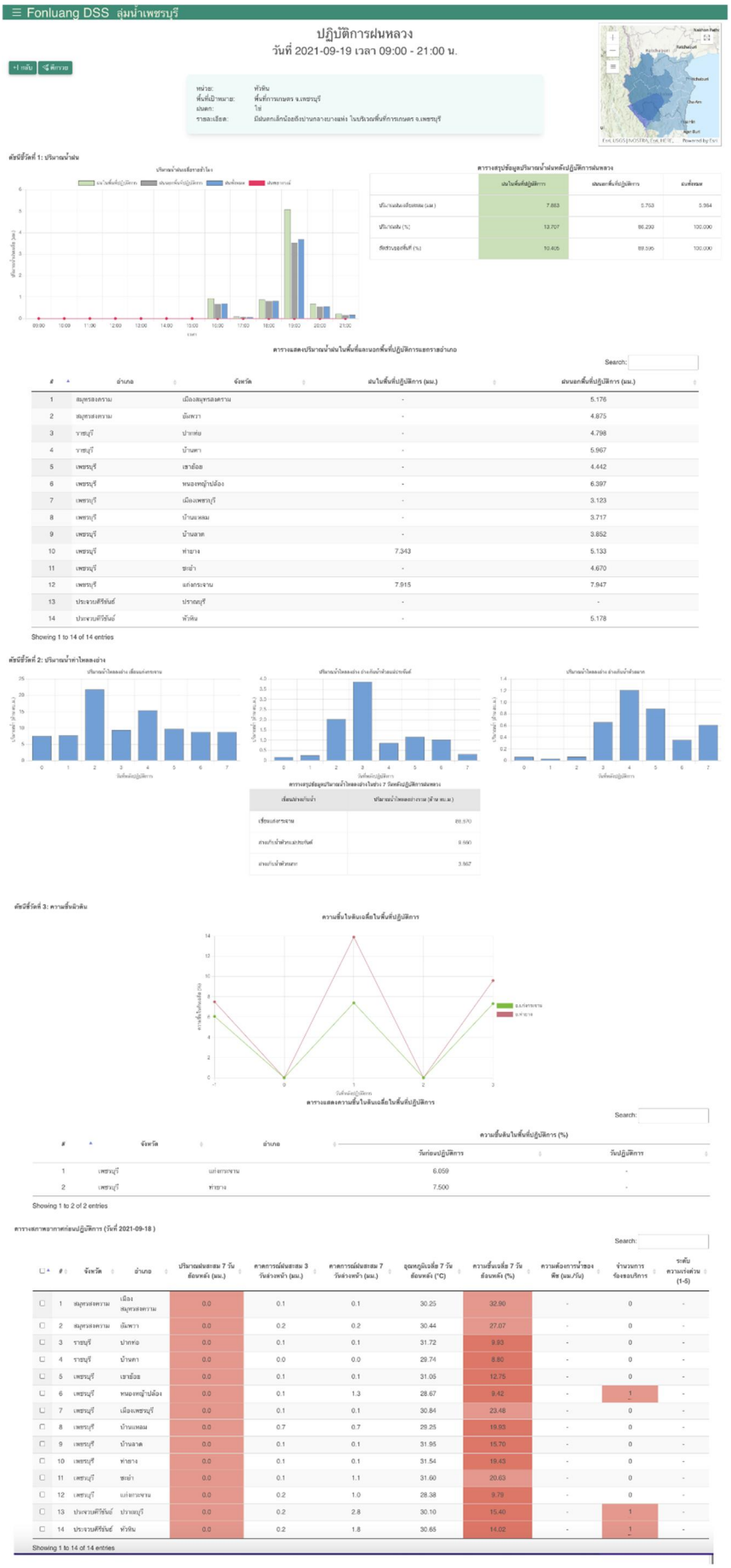
- ปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง (9.00-21.00 น.) และปริมาณน้ำฝนสะสม จำแนกเป็น (1) ฝนในพื้นที่ปฏิบัติการ (2) ฝนนอกพื้นที่ปฏิบัติการ (3) ฝนทั้งหมด และ (4) ฝนพยากรณ์กรณีที่ไม่ปฏิบัติการ
- ปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงและปริมาณน้ำฝนสะสม จำแนกตามพื้นที่
- ปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างรายวัน 7 วันหลังปฏิบัติการ และปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างสะสมจำแนกตามอ่างเก็บน้ำในบริเวณลุ่มแม่น้ำเพชรบุรี คือ (1) เขื่อนแก่งกระจาน (2) อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ และ (3) อ่างเก็บน้ำห้วยผาก
- ความชื้นผิวดินรายวัน ประกอบด้วย วันก่อนปฏิบัติการ วันปฏิบัติการ และวันหลังปฏิบัติการ 3 วัน ตามพื้นที่เป้าหมาย
- ข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในวันที่ปฏิบัติการ

4) รายงานสรุปการขอรับบริการ

ประวัติการขอรับบริการ 5 ปีย้อนหลังจะถูกสรุปในรูปแบบแผนภูมิแท่งแสดงจำนวนการขอรับบริการตามพื้นที่ระดับอำเภอ แบ่งรายเดือนและรายปี (ภาพที่ 10)



รูปที่ 10 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน รายงานสรุปประวัติการขอรับบริการ 5 ปีย้อนหลัง



รูปที่ 11 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน รายละเอียดการปฏิบัติการฝนหลวงแต่ละครั้ง

ข้อวิจารณ์ (Discussion)

การดำเนินโครงการวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์โดยรวม คือ ได้ฐานข้อมูลและระบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดทำฝนหลวง อย่างไรข้อตามมีข้อสังเกตดังนี้ คือ

1) โครงการวิจัยนี้อยู่ภายใต้แผนการวิจัย การเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยฝนหลวง (ปี 2) และต้องใช้ข้อมูลนำเข้าจากโครงการอื่นๆ ภายใต้แผนเดียวกัน ดังนั้นการดำเนินงานค่อนข้างยาก เนื่องจากโครงการอื่นๆ ไม่สามารถให้ข้อมูลได้หรือให้ข้อมูลล่าช้าอันเกิดจากอยู่ระหว่างดำเนินโครงการเช่นกัน ดังนั้นหากโครงการนี้จัดทำหลังจากโครงการอื่นเสร็จสิ้น หรือเหลื่อมระยะเวลาอาจจะได้ประสิทธิพลที่ดีขึ้น

2) การจัดเก็บข้อมูลจากผู้ใช้บริการต่างๆ เช่น ข้อมูลสภาพอากาศจาก JAXA และกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น มีปัญหาในเชิงเทคนิคค่อนข้างมาก เนื่องจากการเชื่อมต่อที่ไม่เสถียร การบริการข้อมูลมีปัญหาในส่วนผู้ให้บริการในบางครั้ง รวมทั้งพิกัดภูมิศาสตร์ของ 2 แหล่งข้อมูลไม่ตรงกัน โครงการวิจัยได้จัดการปัญหาเหล่านั้นโดยใช้ระบบจัดเก็บอัตโนมัติ เพื่อตรวจสอบผลการจัดเก็บข้อมูลและทำซ้ำหากไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ แต่อย่างไรก็ตามบางข้อมูลก็ไม่สามารถจัดเก็บได้เป็นระยะยาวนานเป็นสัปดาห์ หรือในอนาคตอาจจะปรับเปลี่ยนไปใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากหน่วยงานที่มีความร่วมมือกับกรมฝนหลวงและการบินเกษตรโดยตรง

3) การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันต้องทำหลายรอบ เนื่องจากทีมวิจัยมีความรู้และความเข้าใจเรื่องปฏิบัติการฝนหลวงและการจัดการน้ำค่อนข้างน้อยในช่วงแรกส่งผลให้การออกแบบต้นแบบเว็บแอปพลิเคชันไม่ตอบสนองผู้ใช้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการประชุมและนำเสนอแก่ผู้ใช้ และปรับแก้ไขตามผู้ทรงคุณวุฒิเสนอในการนำเสนอความก้าวหน้างานวิจัย ก็ส่งให้ให้การดำเนินการต่างๆ เร็วขึ้น

4) การออกแบบระบบผู้เชียวชาญ ยังคงใช้การออกแบบโดยการถอดองค์ความรู้โดยตรงจากผู้เชียวชาญและตามเอกสารของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ซึ่งคล้ายการออกแบบ State Machine เพื่อให้ระดับคะแนนความเร่งด่วนในการบรรเทาภับแล้งและการเติมน้ำเข้าเขื่อน และคะแนนสภาพอากาศชั้นบน โดยยังไม่มีการคอมพิวเตอร์สร้างโมเดลในการทำนายหรือให้ระดับคะแนนโดยใช้เทคนิค Supervised Learning และ Unsupervised Learning เนื่องจากยังมีจำนวนข้อมูลในการปฏิบัติการค่อยข้างน้อยและยังไม่สมบูรณ์ หากมีการใช้ระบบนี้ไปเรื่อยๆ มีข้อมูลนำเข้าเรื่อยๆ จะสามารถสร้างโมเดลในการทำนายหรือให้ระดับคะแนนโดยใช้เทคนิค Supervised Learning และ Unsupervised Learning ได้

5) ในการประชุมความต้องการของทีมผู้บริหารและทีมปฏิบัติการของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ปรึกษาโครงการวิจัย และคณะวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย รอบที่สุดท้าย พบว่าทางกรมฝนหลวงและการบินเกษตรต้องการนำแอปพลิเคชันเวอร์ชันสุดท้ายไปทดลองใช้งานจริง ณ ศูนย์ปฏิบัติการภาคใต้ ส่วนเพชรบุรี

อย่างไรก็ตามทางกรมฝนหลวงและการบินเกษตรขอปรับเพิ่มเติมระบบ ดังตารางที่ 7 โดยทางทีมวิจัยไม่สามารถแก้ไขแอปพลิเคชันได้ทันในเวอร์ชั่นสุดท้าย เนื่องจากข้อจำกัดของเวลา

ตารางที่ 7 สรุปความต้องการเพิ่มเติม

เวอร์ชันที่ 4 (ก่อนสุดท้าย)	ความต้องการเพิ่มเติม	คำอธิบายของทีมวิจัย
การจัดเก็บข้อมูลต่างๆ เช่น สภาพอากาศ ดัชนีพืชพันธุ์ เป็นต้น ซึ่งจัดเก็บข้อมูลแบบรายอำเภอ	เปลี่ยนเป็นการจัดเก็บข้อมูลจากแบบรายอำเภอ เป็นแบบจุดทุกๆ 6 กิโลเมตร เนื่องจากกรมฝนหลวงและการบินเกษตรต้องการปรับเปลี่ยน API ของหน่วยงานจากการร้องขอแบบรายอำเภอและพิกัดภูมิศาสตร์	ไม่สามารถทำได้ทันที เนื่องจากต้องเปลี่ยนโครงสร้างฐานข้อมูลทั้งหมด และไม่มีสภาพอากาศแบบจุดย้อยหลัง มีความจำเป็นควรดำเนินการในเวอร์ชันถัดไป เพื่อระบุเป้าหมายการปฏิบัติการให้ชัดเจนยิ่งขึ้น
ไม่มีการระบุวันเวลาในการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ แก่ผู้ใช้	ระบุวันเวลาในการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ แก่ผู้ใช้	ดำเนินการระบุแล้วในเวอร์ชันสุดท้าย
ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบการถอดองค์ความรู้โดยตรงจากผู้เชียวชาญและตามเอกสารของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร	ระบบผู้เชี่ยวชาญสร้างโมเดลในการทำนายหรือให้ระดับคะแนนโดยใช้เทคนิค Supervised Learning และ Unsupervised Learning และควรนำข้อมูลพื้นที่การเกษตรมาใช้ด้วย (Land use) มาใช้ในการให้คะแนนด้วย	จำนวนปฏิบัติการยังน้อยและไม่มีข้อมูลสภาพอากาศและข้อมูลที่จำเป็นในช่วงปฏิบัติการที่ผ่านมา มีความจำเป็นควรดำเนินการในเวอร์ชันถัดไป เพื่อระบุเป้าหมายการปฏิบัติการตามความสำคัญ
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลวิจัยจากโครงการต่างๆ ไม่มีการระบุความคาดเคลื่อน	ระบุความคาดเคลื่อนของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลวิจัยจากโครงการต่างๆ เช่น ความถูกต้องของโมเดล ที่ใช้ในการทำนาย ความแห้งแล้ง และปริมาณน้ำไหลลงอ่าง เป็นต้น	ดำเนินการระบุแล้วในเวอร์ชันสุดท้าย

สรุปและข้อเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)

โครงการวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวง เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาภัยแล้งหรือการขาดแคลนน้ำอยู่เสมอในช่วงต้นปีบริเวณลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยระบบสนับสนุนนี้อยู่ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ที่นำเสนอข้อมูล (1) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจปฏิบัติการฝนหลวง เพื่อการป้องกันภัยแล้ง และเติมน้ำให้เขื่อน (2) เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติการก่อนขึ้นบิน (3) เพื่อรายงานผลการปฏิบัติการ รวมทั้ง (4) เพื่อรายงานสรุปการขอรับบริการ

เพื่อให้ผลการวิจัยแพร่หลายและสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิผลแก่การปฏิบัติการฝนหลวงได้ ระบบควรมีการนำไปใช้จริงและมีการติดตามปัญหาเพื่อปรับปรุงและเพิ่มความฉลาดให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยทั้งหมดนี้ เพื่อประโยชน์แก่ประชาชนและเกษตรกรบริเวณลุ่มน้ำเพชรบุรี และควรขยายผลสู่ภูมิภาคอื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง (References)

[1] สำนักมาตรการป้องกันสาธารณภัยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, **ระบบการแจ้งเตือนภัยล่วงหน้าของประเทศไทย**, สืบค้นวันที่ 19 มิถุนายน 2565, ที่มา http://www.openbase.in.th/files/zealzone.pdf

[2] กองปฏิบัติการฝนหลวง, **สรุปถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง 2564**, สืบค้นวันที่ 19 มิถุนายน 2565, ที่มา https://www.royalrain.go.th/UploadFile/08311825630202.pdf

[3] กองปฏิบัติการฝนหลวง, **สรุปถอดบทเรียนจากการปฏิบัติการฝนหลวง 2564**, สืบค้นวันที่ 19 มิถุนายน 2565, ที่มา https://www.royalrain.go.th/UploadFile/05163325640208.pdf

[4] Joseph C. Giarratano, **Expert Systems**, Brooks/Cole (January 1, 1989), ISBN13: 978-0878353354

[5] Ramez Elmasri and Shamkant Navathe, **Fundamentals of Database Systems** (7th edition), Global Edition, Pearson Education Limited (20 Mar 2017), ISBN13: 9781292097619)

[6] D. S. Sullivan. **NoSQL for Mere Mortals**, Addison-Wesley Professional, 2015.

[7] M. Golfarelli, S. Rizzi. **Data Warehouse Design: Modern Principles and Methodologies**. McGraw-Hill, 2009.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1
รายละเอียดฐานข้อมูล

1. รายละเอียดฐานข้อมูลที่จัดเก็บใน Relational Database (ฐานข้อมูล MySQL)

ตารางภาคผนวกที่ 1 คำอธิบายตาราง areas

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
area_id	int (PK,AI)	รหัสของพื้นที่
geocode	varchar (UNIQ)	รหัสของพื้นที่ที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา รหัสนี้จะใช้ในการอ้างอิงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่
province	varchar	จังหวัด
amphoe	varchar	อำเภอ
lat	double	ละติจูด
lon	double	ลองจิจูด
jaxa_code	varchar	รหัสของพื้นที่ที่ใช้อ้างอิงในการร้องขอข้อมูลจาก JAXA (https://www.jpmap-jaxa.jp/jpmap/en/api_reference/)

ตารางภาคผนวกที่ 2 คำอธิบายตาราง hourly_rain_stations

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
code	varchar (PK)	รหัสสถานีของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ
name	varchar	ชื่อสถานี
lat	double	ละติจูดของสถานี
lon	double	ลองจิจูดของสถานี
tambon	varchar	ตำบลที่ตั้งของสถานี
amphoe	varchar	อำเภอที่ตั้งของสถานี
province	varchar	จังหวัดที่ตั้งของสถานี
basin	varchar	ชื่อลุ่มน้ำ
region	varchar	ภาค
station_type	char	ประเภทสถานี
area_id	int (FK)	รหัสของพื้นที่ในตาราง areas ที่สถานีตั้งอยู่

ตารางภาคผนวกที่ 3 คำอธิบายตาราง locations

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
loc_id	int (PK,AI)	รหัสของพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ใช้อ้างอิงในฐานข้อมูล
lat	double	ละติจูด
lon	double	ลองจิจูด โดยละติจูดและลองจิจูดเป็น UNIQUE

ตารางภาคผนวกที่ 4 คำอธิบายตาราง area_weather

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
aw_id	int (PK,AI)	รหัสของข้อมูลสภาพอากาศเชิงพื้นที่
geocode	varchar (FK)	รหัสอ้างอิงของพื้นที่
datetime	datetime	วันเวลาของข้อมูลสภาพอากาศที่เก็บได้
weather_detail	longtext	ข้อมูลสภาพอากาศในฟอร์แมต JSON โดยมีตัวอย่างโครงสร้าง ดังนี้ *{* *"location": {* *"province": "สมุทรสงคราม",* *"geocode": "7501",* *"amphoe": "เมืองสมุทรสงคราม",* *"lat": 13.413943,* *"lon": 100.003115* *},* *"data": {* *"cond": 2,* *"psfc": 100556.01,* *"rain": 13.3,* *"rh": 77.23,* *"slp": 1005.8,* *"tc": 29.78,* *"tc_max": 31.33,* *"tc_min": 28.46,* *"wd850": 256.33,* *"wd925": 243.96,* *"ws850": 15.47,* *"ws925": 17.52,* *"datetime": "2022-06-23T00:00:00"* *}* *}*

ตารางภาคผนวกที่ 5 คำอธิบายตาราง location_set

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
set_id	int (PK,AI)	รหัสของชุดพิกัด
set_name	varchar	ชื่อของชุดพิกัด

locations	longtext	ข้อมูลอาเรย์ของพิกัดในฟอร์แมต JSON โดยมีตัวอย่างโครงสร้างดังนี้
		[
		{
		"loc_id": 162,
		"lat": 12.5326,
		"lon": 99.9422,
		"area": {
		"geocode": "7707",
		"amphoe": "หัวหิน",
		"province": "ประจวบคีรีขันธ์"
		}
		},
		...
		]

ตารางภาคผนวกที่ 6 คำอธิบายตาราง operations

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
op_id	int (PK,AI)	รหัสของปฏิบัติการฝนหลวง
op_date	date	วันที่มีปฏิบัติการฝนหลวง
start_time	time	เวลาที่ทำปฏิบัติการ โดยมีค่าตั้งต้นที่ 9.00 น.
end_time	time	เวลาสิ้นสุดปฏิบัติการ โดยมีค่าตั้งต้นที่ 21.00 น.
base	varchar	หน่วยปฏิบัติการ
target	text	คำอธิบายพื้นที่เป้าหมายที่ได้จาก API ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร
rainfall	varchar	ผลลัพธ์ของปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งมีค่าเป็น ‘Y’ (ฝนตก) หรือ ‘N’ (ฝนไม่ตก)
rainfall_area	text	คำอธิบายหรือรายละเอียดของผลลัพธ์ของปฏิบัติการฝนหลวง

ตารางภาคผนวกที่ 6 คำอธิบายตาราง operations (ต่อ 1)

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
cone_points	longtext	*พิกัดของกรวยปฏิบัติการ โดยแยกพิกัดทั้งหมดใน location_set ที่ใช้งาน และแบ่งเป็นพิกัดที่อยู่ในกรวย (in_cone) และพิกัดที่อยู่นอกกรวย (out_cone) โดยเก็บข้อมูลเป็น JSON โดยมีตัวอย่างโครงสร้างดังนี้* *{* *"in_cone": [* *{* *"loc_id": 128,* *"lat": 12.6953,* *"lon": 99.6088,* *"area": {* *"geocode": "7608",* *"amphoe": "แก่งกระจาน",* *"province": "เพชรบุรี"* *}* *},* *...* *],* *"out_cone": [* *{* *"loc_id": 162,* *"lat": 12.5326,* *"lon": 99.9422,* *"area": {* *"geocode": "7707",* *"amphoe": "หัวหิน",* *"province": "ประจวบคีรีขันธ์"* *}* *},* *...* *]* *}*

ตารางภาคผนวกที่ 6 คำอธิบายตาราง operations (ต่อ 2)

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย

cone_weather_data	longtext	ข้อมูลฝนจากตำแหน่งทั้งในและนอกกรวยปฏิบัติการที่ดึงมาจาก JAXA ซึ่งเก็บไว้ประมวลผลเปรียบเทียบกับฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดน้ำฝนจากสถาบันทรัพยากรน้ำในอนาคต โดยเก็บเป็น JSON เช่นกัน โดยตัวอย่างของโครงสร้างเป็นดังนี้
		{
		"in_cone": {
		"points": 101,
		"rain_sum": 42.68950000000001,
		"rain_avg": 0.42266831683168327,
		"data": [
		{
		"rain": 0.8884,
		"lat": 12.6953,
		"lon": 99.6088
		},
		...
		]
		},
		"out_cone": {
		"points": 72,
		"rain_sum": 59.26169999999998,
		"rain_avg": 0.8230791666666665,
		"data": [
		{
		"rain": 2.5848,
		"lat": 12.5326,
		"lon": 99.9422
		},
		...
		]
		}
		}

ตารางภาคผนวกที่ 6 คำอธิบายตาราง operations (ต่อ 3)

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
interpolation_rain	longtext	ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่มีการเฉลี่ยด้วยวิธี Inverse distance weighted (IDW) interpolation กับทุกพิกัดใน location_set ที่ใช้ โดยมีรูปแบบเป็น JSON ที่มีตัวอย่างโครงสร้างดังนี้ *{* *"interpolation_rain": [* *{* *"loc_id": 162,* *"lat": 12.5326,* *"lon": 99.9422,* *"rain": 0.6985009124532112,* *"hourly_rain": [* *{* *"time": "09:00",* *"rain": 0* *},* *...* *]* *},* *...* *]* *}*

ตารางภาคผนวกที่ 6 คำอธิบายตาราง operations (ต่อ 4)

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย

amphoe_cone_rain	longtext	ข้อมูลน้ำฝนที่ผ่านกระบวนการ interpolation ที่ที่การแยกรายพื้นที่และตามพื้นที่กรวย โดยมีการเก็บในรูปแบบ JSON และมีตัวอย่างโครงสร้างดังนี้
		{
		"amphoe_cone_rain": [
		{
		"area": {
		"geocode": 7501,
		"amphoe": "เมืองสมุทรสงคราม",
		"province": "สมุทรสงคราม"
		},
		"in_cone": {
		"points": 7,
		"rain_sum": 4.241646747191918,
		"data": [
		{
		"rain": 0.659037183154892,
		"lat": 13.2367,
		"lon": 99.5533
		},
		...
		]
		},
		"out_cone": {
		"points": 2,
		"rain_sum": 0.9037223245519377,
		"data": [
		{
		"rain": 0.4149109261794699,
		"lat": 13.3449,
		"lon": 99.9422
		},
		...
		]
		}
		},
		...
		]
		}

ตารางภาคผนวกที่ 7 คำอธิบายตาราง operation_left

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
op_id	int (PK)	รหัสของปฏิบัติการฝนหลวง
sm_done	tinyint	สถานะของการดาวน์โหลดข้อมูลความชื้นในดินจาก JAXA ซึ่งจะต้องดาวน์โหลดหลังวันปฏิบัติการ 3 วัน และข้อมูลอาจมาช้ากว่าเวลาจริงประมาณ 3 วัน ข้อมูลจะอยู่ในตารางก็ต่อเมื่อ sm_done มีค่าเป็น 0 ซึ่งหมายความว่าในปฏิบัติการนั้นยังประมวลผลเรื่องความชื้นในดินไม่เสร็จสมบูรณ์ หากเป็น 1 ระบบจะทำการลบข้อมูลทิ้งไป

ตารางภาคผนวกที่ 8 คำอธิบายตาราง rain_info

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
rain_info_id	int (PK,AI)	รหัสของข้อมูลปริมาณน้ำฝน
location_id	int (FK)	รหัสของพิกัดทางภูมิศาสตร์ในตาราง locations
rain_date	datetime	วันเวลาของที่ฝนตก
rain	float	ปริมาณน้ำฝน (มม.)

ตารางภาคผนวกที่ 9 คำอธิบายตาราง reservoirs

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
reservoir_id	int (PK,AI)	รหัสอ่างเก็บน้ำ/เขื่อน
name	varchar	ชื่ออ่างเก็บน้ำ/เขื่อน
area	longtext	พื้นที่ของอ่างเก็บน้ำที่ได้จาก API ของกรมชลประทาน (https://app.rid.go.th/reservoir/)
lat	double	ละติจูดของอ่างเก็บน้ำ
lon	double	ลองจิจูดของอ่างเก็บน้ำ
source_id	varchar	ID ของอ่างเก็บน้ำที่ได้จาก API ของกรมชลประทาน
source_url	varchar	ส่วนของ URL ที่ใช้สำหรับประกอบเพื่อเรียกใช้ API ของกรมชลประทานเพื่อดึงข้อมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำ
weblink	varchar	URL ของหน้าแสดงผลข้อมูลอ่างเก็บน้ำของระบบฐานข้อมูลน้ำในอ่างเก็บน้ำ กรมชลประทาน

ตารางภาคผนวกที่ 10 คำอธิบายตาราง weather_conditions

ชื่อ attribute	ชนิด	คำอธิบาย
cond_number	int (PK)	รหัสของสภาพอากาศโดยอ้างอิงจาก TMD Weather Forecast API
description	varchar	คำอธิบายสภาพอากาศโดยอ้างอิงจาก TMD Weather Forecast API

2. **รายละเอียดฐานข้อมูลที่จัดเก็บในฐานข้อมูลเชิงเอกสารในรูปแบบ JSON (JSON document-based)**


```
{
    "idw_distance": [
        {
            "loc_id": 162,
            "lat": 12.5326,
            "lon": 99.9422,
            "distances": [
                {
                    "code": "BCAP",
                    "lat": 13.1699664,
                    "lon": 99.6877824,
                    "distance": 76.05
                },
                {"code": "BLAT"...}
            ]
        },
        {
            "loc_id": 130,
            "lat": 12.5869,
            "lon": 99.9422,
            "distances": [...]
        }
    ]
}
```


รูปภาคผนวกที่ 1 โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection ***distance***

ตารางภาคผนวกที่ 11 คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection ***distance***

ชื่อ key	คำอธิบาย
idw_distance	อาเรย์ของระยะห่างที่แยกตามพิกัดใน location_set หนึ่งๆ
■ loc_id	รหัสของพิกัดสำหรับอ้างอิงในตาราง locations
■ lat	ละติจูด
■ lon	ลองจิจูด
■ distances	อาเรย์ระยะห่างของพิกัด (lat,lon) กับตำแหน่งของสถานีตรวจวัดน้ำฝน
▪ code	รหัสสถานีตรวจวัดน้ำฝนในตาราง ***hourly_rain_stations***
▪ lat	ละติจูดของสถานีตรวจวัดน้ำฝน
▪ lon	ลองจิจูดของสถานีตรวจวัดน้ำฝน
▪ distance	ระยะห่างของจุด 2 จุด ดังอธิบายข้างต้น (กิโลเมตร)

```
{
    "7008": {
        "area": {
            "geocode": "7008",
            "amphoe": "ปากท่อ",
            "province": "ราชบุรี",
            "lat": 13.367951,
            "lon": 99.830592
        },
        "requests": [
            {
                "date": "2021-03-12 00:00:00",
                "status_id": 8,
                "status_title": "เสร็จสิ้น"
            }
        ]
    },
    "7010": {
        "area": {"geocode": "7010"...},
        "requests": []
    }
}
```


รูปภาคผนวกที่ 2 โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection ***fonluang_request_history***

ตารางภาคผนวกที่ 12 คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection ***fonluang_request_history***

ชื่อ key	คำอธิบาย
<geocode>	วัตถุที่ประกอบด้วยข้อมูลของพื้นที่ของ <geocode> และข้อมูลการร้องขอของพื้นที่นั้น
■ area	วัตถุแสดงข้อมูลของพื้นที่
▪ geocode	รหัสเชิงพื้นที่
▪ amphoe	อำเภอ
▪ province	จังหวัด
▪ lat	ละติจูดของพื้นที่
▪ lon	ลองจิจูดของพื้นที่
■ requests	อาเรย์ของการร้องขอ
▪ date	วันที่มีการร้องขอ
▪ status_id	รหัสของสถานะที่ได้มาจาก API ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร
▪ status_title	ชื่อของสถานะที่ได้มาจาก API ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร

```
{
    "inTarget": {
        "09:00": [
            {
                "rain": 0.01725314704228665,
                "lat": 12.6953,
                "lon": 99.6088,
                "loc_id": 128
            },
            {
                "rain": 0.018701674991170644,
                "lat": 12.6953,
                "lon": 99.6644,
                "loc_id": 169
            }
        ],
        "10:00": [...]
    },
    "outTarget": {
        "09:00": [...]
    }
}
```


รูปภาคผนวกที่ 3 โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection ***operation_hourly_rain***

ตารางภาคผนวกที่ 13 คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection operation_hourly_rain

ชื่อ key	คำอธิบาย
inTarget	วัตถุที่ประกอบด้วยข้อมูลฝนรายชั่วโมงในพื้นที่ในกรวย
■ <เวลา>	เวลารายชั่วโมงโดยนับจากเวลาเริ่มต้นปฏิบัติการถึงเวลาสิ้นสุดปฏิบัติการ ซึ่งค่าของมันเป็นอาเรย์ของฝนตามพิกัดของ location_set ที่อยู่ในพื้นที่กรวย
■ rain	ปริมาณฝน ณ ตำแหน่งตามพิกัด (lat,lon)
■ lat	ละติจูด
■ lon	ลองจิจูด
■ loc_id	รหัสของพิกัดสำหรับอ้างอิงในตาราง locations
outTarget	วัตถุที่ประกอบด้วยข้อมูลฝนรายชั่วโมงในพื้นที่นอกกรวย ซึ่งมีโครงสร้างแบบเดียวกับโครงสร้างของวัตถุใน inTarget

```
{
    "in_cone_points": 21,
    "in_cone_sm": [
        {
            "date": "2021-09-20",
            "data": [
                {
                    "area": {
                        "geocode": "7608",
                        "amphoe": "แก่งกระจาน",
                        "province": "เพชรบุรี"
                    },
                    "avg_sm": 14.358333333333336,
                    "points": 12,
                    "in_cone": [
                        {
                            "lat": 12.6953,
                            "lon": 99.6088,
                            "sm": 13.9
                        },
                        {
                            "lat": 12.8037,
                            "lon": 99.5533,
                            "sm": 14.4
                        }
                    ]
                },
                {"avg_sm": -999...}
            ]
        },
        {"date": "2021-09-22"...}
    ]
}
```


รูปภาคผนวกที่ 4 โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection ***operation_sm***

ตารางภาคผนวกที่ 14 คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection ***operation_sm***

ชื่อ key	คำอธิบาย
in_cone_points	จำนวนพิกัดที่อยู่ในกรวย
in_cone_sm	อาเรย์ของวัตถุที่เก็บค่าความชื้นของดินของแต่ละวัน
■ date	วันที่มีการเก็บค่าความชื้น โดยจะเก็บทั้งหมด 5 วัน คือ วันที่ T-1 ถึง T+3
■ data	อาเรย์ของข้อมูลค่าความชื้นแยกตามพื้นที่ (ในตาราง area) โดยเอาเฉพาะพื้นที่ในกรวยเท่านั้น
▪ area	วัตถุแสดงข้อมูลของพื้นที่ ประกอบด้วย geocode, amphoe,province
▪ avg_sm	ค่าเฉลี่ยความชื้นในดินของพื้นที่นั้นๆ
▪ points	จำนวนพิกัดของพื้นที่นั้นๆ ที่อยู่ในกรวยปฏิบัติการ
▪ in_cone	อาเรย์ที่เก็บวัตถุค่าความชื้นในพิกัดต่างๆ
● lat	ละติจูดของพิกัด
● lon	ลองจิจูดของพิกัด
● sm	ค่าความชื้น (%)

```
[
    {
        "reservoir": {
            "reservoir_id": 1,
            "name": "เขื่อนแก่งกระจาน",
            "area": {
                "geocode": "760801",
                "province": "เพชรบุรี",
                "amphoe": "แก่งกระจาน"
            },
            "lat": 12.93162,
            "lon": 99.62814,
            "source_id": "200601",
            "weblink": "https://app.rid.go.th/reservoir/rsvmiddle/dam_detail/200601/"
        },
        "date": "2022-03-20",
        "max_vol": 710,
        "min_vol": 65,
        "current_vol": 504.55,
        "current_vol_percent": 71.06,
        "usable_vol": 439.55,
        "inflow": 1.54,
        "outflow": 3.25,
        "acc_7d_inflow": 11.72,
        "acc_7d_outflow": 21.97,
        "priority": 5
    },
    {"date": "2022-03-20"...}
]
```


รูปภาคผนวกที่ 5 โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection ***reservoir***

ตารางภาคผนวกที่ 15 คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection ***reservoir***

ชื่อ key	คำอธิบาย
[...]	อาเรย์ของข้อมูลน้ำของแต่ละอ่างเก็บน้ำ/เขื่อน
reservoir	วัตถุที่เก็บข้อมูลของอ่างเก็บน้ำ โดยประกอบด้วย attributes ที่มีในตาราง reservoirs
date	วันที่ของข้อมูล
max_vol	ความจุ รนก. (ล้าน ลบ.ม.)
min_vol	ปริมาณน้ำ รนก. ต่ำสุด (ล้าน ลบ.ม.)
current_vol	ปริมาณปัจจุบัน (ล้าน ลบ.ม.)
current_vol_percent	ปริมาณปัจจุบัน (%)
usable_vol	ปริมาณที่ใช้การได้ (ล้าน ลบ.ม.)
inflow	น้ำไหลลงอ่าง (ล้าน ลบ.ม.)
outflow	น้ำระบาย (ล้าน ลบ.ม.)
acc_7d_inflow	น้ำไหลลงอ่างสะสม 7 วัน (ล้าน ลบ.ม.)
acc_7d_outflow	น้ำระบายสะสม 7 วัน (ล้าน ลบ.ม.)
priority	ระดับความเร่งด่วน ซึ่งมีค่า 0 – 5 โดย 0 หมายถึงเร่งด่วนมาก โดยคำนวณจากสูตร $\left\lceil 5 * \left(1 - \frac{acc_7d_outflow}{usable_vol}\right)\right\rceil$ สูตรนี้จะนำสถิติของน้ำระบายสะสมในรอบ 7 วันที่ผ่านมา มาเทียบกับปริมาณที่ใช้การได้ ยิ่งสัดส่วนสูงเท่าไร (ไม่ควรเกิน 1) ก็จะยิ่งเร่งด่วนที่ต้องเติมน้ำในอ่างเก็บน้ำ

```
{
    "forDate": "2022-03-15",
    "FonluangIndices": [
        {
            "location": {
                "province": "สมุทรสงคราม",
                "geocode": "7501",
                "amphoe": "เมืองสมุทรสงคราม",
                "lat": 13.413943,
                "lon": 100.003115
            },
            "avg_sm": 36.166666666666664,
            "lst": 31.5833,
            "past_7d_rain": 0.6,
            "ndvi": 0.41725331209407257,
            "ndvi_date": "2022-03-06",
            "past_sm": 21.156094542648354,
            "etc": 3.8026561934197023,
            "forecasts": [
                {
                    "cond": 1,
                    "psfc": 100742.46,
                    "rain": 0,
                    "rh": 86.08,
                    "slp": 1007.63,
                    "tc": 28.3,
                    "tc_max": 29.2,
                    "tc_min": 27.43,
                    "wd850": 69.74,
                    "wd925": 166.58,
                    "ws850": 3.76,
                    "ws925": 3.45,
                    "datetime": "2022-03-18T00:00:00",
                    "acc_rain": 0
                },
                {"cond": 1...}
            ],
            "activeRequests": [],
            "priority": 3
        },
        {"past_sm": 26.9333...}
    ]
}
```


รูปภาคผนวกที่ 6 โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection ***summary***

ตารางภาคผนวกที่ 16 คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection ***summary***

ชื่อ key	คำอธิบาย
forDate	วันที่ที่ระบบแนะนำในการวางแผนปฏิบัติการฝนหลวง
FonluangIndices	อาเรย์ของวัตถุที่แสดงถึงดัชนีชี้วัดการปฏิบัติการฝนหลวงโดยแยกเป็นรายพื้นที่ (ตาราง areas)
■ location	วัตถุที่แสดงข้อมูลของพื้นที่ ประกอบด้วย geocode, amphoe, province, lat, lon
■ avg_sm	ความชื้นในดินเฉลี่ย 7 วันที่ผ่านมา (%) โดยค่าที่ได้มาจาก JAXA API
■ lst	อุณหภูมิพื้นผิว (land surface temperature) เฉลี่ย 7 วันที่ผ่านมา (องศาเซลเซียส) โดยค่าที่ได้มาจาก JAXA API
■ past_7d_rain	ปริมาณน้ำฝนสะสมที่เกิดจากการพยากรณ์โดยกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วง 7 วันที่ผ่านมา (มิลลิเมตร)
■ ndvi	ค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณล่าสุดที่ได้จาก JAXA API
■ ndvi_date	วันที่ของค่า ndvi ล่าสุด
■ past_sm	ความชื้นในดินล่าสุดที่คำนวณได้จาก ndvi ล่าสุด (%) โดยสูตรการคำนวณมาจากผลของงานวิจัยในโครงการที่ 2
■ etc	ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มิลลิเมตร/วัน) โดยคำนวณจากผลของงานวิจัยในโครงการที่ 2
■ forecasts	อาเรย์ของการพยากรณ์อากาศ ซึ่งมีข้อมูลเพียง 2 วัน คือ ข้อมูลพยากรณ์ ณ 3 วันล่วงหน้า และ ณ 7 วันล่วงหน้า โดย attributes สำหรับการพยากรณ์เป็นไปตามที่ปรากฏใน API ของกรมอุตุนิยมวิทยา (https://data.tmd.go.th/nwpapi/doc/apidoc/location/forecast_daily.html) นอกจากนี้ จะมี acc_rain ซึ่งหมายถึงฝนตกสะสมจากการพยากรณ์ 3 หรือ 7 วันล่วงหน้านับจากวันที่พยากรณ์ (forDate)
■ activeRequests	อาเรย์ของการขอรับบริการฝนหลวงที่อยู่ในสถานะ active โดยข้อมูลการขอรับบริการอยู่ในรูปแบบเดียวกับ requests ใน collection ***fonluang_request_history*** ซึ่งประกอบด้วย date, status_id, status_title
■ priority	ระดับความเร่งด่วน ซึ่งมีค่า 1 – 5 โดย 1 หมายถึงเร่งด่วนมากที่สุด และ 5 น้อยที่สุด โดยระดับความเร่งด่วนคำนวณจากสมการที่ (1)

```
{
    "WeatherForecasts": [
        {
            "lat": 12.8579,
            "lon": 99.3866,
            "time": "2022-03-22T00:00:00",
            "cloudhigh": 16.33,
            "cloudlow": 38.88,
            "cloudmed": 12.08,
            "cond": 1,
            "rain": 1.5,
            "rh": 86.96,
            "tc": 23.13,
            "wd10m": 112.78,
            "ws10m": 3.95,
            "loc_id": 52
        },
        {"lat": 12.8579...}
    ]
}
```


รูปภาคผนวกที่ 7 โครงสร้างและตัวอย่างข้อมูลของเอกสารใน collection ***weather***

ตารางภาคผนวกที่ 17 คำอธิบายโครงสร้างข้อมูลสภาพอากาศของเอกสารใน collection ***weather***

ชื่อ key	คำอธิบาย
WeatherForecasts	อาเรย์ของสภาพอากาศแยกตามพิกัดในตาราง locations
■ lat	ละติจูด
■ lon	ลองจิจูด
■ time	วันเวลาของข้อมูลสภาพอากาศ
■ cloudhigh	ปริมาณเมฆที่ความสูงระดับสูง (%)
■ cloudlow	ปริมาณเมฆที่ความสูงระดับต่ำ (%)
■ cloudmed	ปริมาณเมฆที่ความสูงระดับกลาง (%)
■ cond	การแปรผลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา
■ rain	ปริมาณรวมน้ำฝน 24 ชั่วโมง (มิลลิเมตร)
■ rh	ความชื้นสัมพัทธเฉลี่ยที่ระดับพื้นผิว (%)
■ tc	อุณหภูมิที่ระดับพื้นผิว (องศาเซลเซียส)
■ wd10m	ทิศทางลมที่ระดับความสูง 10 เมตร (องศา)
■ ws10m	ความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 เมตร (เมตร/วินาที)
■ loc_id	รหัสของพิกัดสำหรับอ้างอิงในตาราง locations