



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ PSP6405030950

เรื่อง

(ชื่อไทย) การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของฝนหลวงในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ

(ชื่ออังกฤษ) Performance Assessment of Royal Rainmaking for reducing water shortage

โดย

ชื่อหัวหน้าโครงการ รศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์ และคณะวิจัย

หน่วยงานที่รับทุน

คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ภายใต้แผนงานวิจัย การเพิ่มผลสัมฤทธิ์และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำ
ลุ่มน้ำเพชรบุรี ด้วยฝนหลวง (ปี 2)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ต่อเนื่องเป็นปีที่ 2 จนสามารถทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จ ล่วงเป็นผลสำเร็จในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้ตรวจสอบทางวิชาการที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอขอบคุณหน่วยงานราชการ ได้แก่ กรมฝนหลวงและการบินเกษตร สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ และกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษาวิจัย

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับข้อเสนอแนะ และข้อคิดเห็นในการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการทบทวนปรับปรุงข้อมูลที่เหมาะสมสนับสนุนการดำเนินการปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อลดการขาดแคลนน้ำในประเทศไทย ซึ่งเป็นโครงการในช่วงปีที่ 2 โดยใช้ข้อมูลของปีแรกมาปรับปรุงและเพิ่มเติมให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น การศึกษาวิจัย 2 ประเด็นหลักประกอบด้วย 1) การเพิ่มเติมข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ. 2563 เพิ่มข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศหนองพลับเพื่อจัดทำฐานข้อมูลและวิเคราะห์สถิติภูมิอากาศ และการศึกษาการแพร่กระจายเชิงพื้นที่ 2) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการปฏิบัติการฝนหลวง การจัดทำฐานข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ จำนวน 4 สถานี ได้แก่ สถานีตรวจวัดอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ จำนวน 211 วัน ในช่วงปี พ.ศ. 2560 ถึง 2563 สำหรับวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศพร้อมทั้งการวิเคราะห์กระจายเชิงพื้นที่ของข้อมูลภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โอกาสการเกิดฝนจากการปฏิบัติการฝนหลวง พบว่าโอกาสการเกิดฝนจากการปฏิบัติการฝนหลวง ควรมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 71-90 ความเร็วลมอยู่ระหว่าง 11-20 นอต และปริมาณน้ำในบรรยากาศมีค่าระหว่าง 71-90 มม. ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการวิจัยในปีที่ผ่านมา สำหรับการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการดำเนินการปฏิบัติการฝนหลวง ใช้ข้อมูลจากปฏิบัติการฝนหลวงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 - พ.ศ. 2564 ขอบเขตการศึกษา ประกอบด้วย ระบบการขนส่งสารฝนหลวง การเตรียมสารฝนหลวง และปฏิบัติการบินฝนหลวง โดยหน่วยวัดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวงประเมินจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปริมาณฝนที่ประเมินด้วยวิธีการที่ต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวงที่ประเมินปริมาณฝนด้วยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) จากฝนสถานี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2561 - พ.ศ.2564 มีค่าเท่ากับ 1,599.54, 1,505.68, 567.04 และ 2,458.21 kgCO₂ eq/ล้านลบ.ม. ตามลำดับ, ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวงที่ประเมินจากปริมาณฝนเรดาร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2561 - พ.ศ.2564 มีค่าเท่ากับ 550.73, 530.11, 258.05 และ 680.60 kgCO₂ eq/ล้านลบ.ม. ตามลำดับ และค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวงที่ประเมินจากปริมาณฝนดาวเทียม (ดาวเทียม JAXA) ตั้งแต่ปีพ.ศ.2561 - พ.ศ.2564 มีค่าเท่ากับ 819.41, 1,185.75, 410.27 และ 660.51 kgCO₂ eq/ล้านลบ.ม.ตามลำดับ การแปลผลจากข้อมูลในตารางบัญชีรายการพบว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นมลพิษทางตรง (direct emissions) คิดเป็นร้อยละ 60 ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของปฏิบัติการฝนหลวง และเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (indirect emissions) ซึ่งติดตัวมากับทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงร้อยละ 40 โดยสารฝนหลวงที่สำคัญซึ่งส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ สารฝนหลวงสูตรร้อน เช่น แคลเซียมออกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ ใช้ในขั้นตอนการเลี้ยงให้อ้วน และ สารฝนหลวงสูตรเย็น เช่น น้ำแข็งแห้งและยูเรีย ใช้ในขั้นตอนการโจมตี เป็นต้น ข้อมูลการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์นี้สามารถนำไปใช้สนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในปฏิบัติการฝนหลวงต่อไปในอนาคตได้

คำสำคัญ: ปริมาณน้ำในบรรยากาศ, ลุ่มน้ำเพชรบุรี, ก๊าซเรือนกระจก, คาร์บอนฟุตพริ้นท์, ฝนเทียม

Abstract

This study was aimed to investigate the optimized-information supported the Royal Rainmaking Project operation which was established in order to reduce water scarcity in Thailand. This project was the second-year phase set in order to use the first-year data to practical elaboration. The two main parts of the study include 1) the additional climate data for the year 2020 and the addition of the Nong Plub weather station in organizing a database, analyze climate statistics and spatial distribution and 2) the evaluation of carbon footprint (CF) from Royal Rainmaking produced. The climate data base obtained from Hua-Hin, Phetchaburi, Prachuap Khiri Khan and Nong Plub weather stations during the year of 1990-2020 was used to analyze the spatial distribution of climatic profiles and atmospheric water content. Then probability analysis of rainfall from the Royal Rainmaking operations was performed during the 211 days of operation during the year of 2017 to 2020. The result was found that the critical operation condition for Royal Rainmaking achievement was the humidity in the range of 71-90 percent, wind speed 11-20 knots and atmospheric water content 71-90 mm, which is in accordance with previous study results in the first-year project. The CF analysis was performed by using the inventories of Royal Rainmaking Process recorded from the year 2018 - 2021. The scope of the system studied consisted of the Royal Rainmaking substances transport system, preparation of Royal Rainmaking substances, and the performing of Royal Rainmaking. The functional unit was set as unit of rainfall estimated from variation existing methods. The different rainfall estimation revealed different CF values. The CF of Royal Rainmaking determined by Inverse Distance Weighted (IDW) method from rain gauge stations from the year 2018 to 2021 were 1,599.54, 1,505.68, 567.04 and 2,458.21 kgCO₂ eq/million m³, respectively. The CF of Royal Rainmaking estimated from radar rainfall from the year 2018 - 2021, the values were 550.73, 530.11, 258.05 and 680.60 kgCO₂ eq/million m³, respectively. The CF of the Royal Rainmaking estimated from the satellite (JAXA satellite) from the year 2018 - 2021 were 819.41, 1,185.75, 410.27 and 660.51 kg CO₂ eq/million m³, respectively. To explore the contributing inventories of that system, it was found that the 60% of greenhouse gas emissions measured as CO₂ equivalent caused by the engine exhaust (burning of fuel), which is direct emissions. The 40 percent left was contributed from indirect emissions caused by resources used in the process. The major rainmaking substance that affects greenhouse gas emissions is the hot-formulate rainmaking matter, such as calcium oxide and calcium chloride, used in the process of raising the cloud mass (Fattening), and cold-formulate rainmaking substance such as dry ice and urea, used in the process of attacking, etc. These findings may support the further system operation of Royal Rainmaking to achieve more resources consumption efficiency.

Keywords: atmospheric water content; Phetchaburi River basin; greenhouse gases; carbon footprint; artificial rain

สารบัญ

1 บทนำ (Introduction).....	3-11
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	3-11
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3-11
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3-11
1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัย (รวมถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง).....	3-12
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3-21
2 วิธีการศึกษาและผลการศึกษา (Methodology and Results)	3-22
2.1 วิธีดำเนินการวิจัย (Material and Method)	3-22
2.1.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการวิจัย	3-22
2.1.2 ขั้นตอนและวิธีการศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ โดยวิธีการใช้ข้อมูลอุณหภูมิจุด น้ำค้าง (Dew Point Temperature) และ การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	3-22
2.2 ผลการวิจัย (Result).....	3-31
3 ข้อวิจารณ์ (Discussion).....	3-75
4 สรุปและขอเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation).....	3-80
4.1 สรุปผลการศึกษา	3-80
4.2 ขอเสนอแนะ	3-81
5 เอกสารอ้างอิง (References).....	3-82

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1-1 แสดงค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศจากระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ถึงระดับความดันต่าง ๆ ซึ่งไม่เกิน 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ และเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ 1,000 มิลลิบาร์.....	3-15
ตารางที่ 1-2 ก๊าซเรือนกระจก 6 ชนิดที่ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนเมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	3-20
ตารางที่ 2-1 แหล่งที่มาของข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนของปฏิบัติการฝนหลวง	3-29
ตารางที่ 2-2 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า	3-29
ตารางที่ 2-3 ค่าเฉลี่ยรายปี และช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศ ปี พ.ศ.2533-2563.....	3-32
ตารางที่ 2-4 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยของสถานีหัวหิน ปี พ.ศ.2533-2563.....	3-33
ตารางที่ 2-5 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยของสถานีเพชรบุรี ปี พ.ศ.2533-2563.....	3-33
ตารางที่ 2-6 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยสถานีประจวบคีรีขันธ์ปี พ.ศ.2533-2563	3-33
ตารางที่ 2-7 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยจากของสถานีหนองปลับปี พ.ศ.2549-2563	3-33
ตารางที่ 2-8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ยและสูงสุดรายเดือนและรายปีจากค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายวันและสูงสุดรายวัน.....	3-34
ตารางที่ 2-9 ผลการวิเคราะห์ช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน	3-46
ตารางที่ 2-10 ผลการวิเคราะห์ช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี.....	3-47
ตารางที่ 2-11 ผลการวิเคราะห์ช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง สถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจวบคีรีขันธ์	3-48
ตารางที่ 2-12 ผลการวิเคราะห์ช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหนองปลับ	3-49
ตารางที่ 2-13 สรุปปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2564	3-52
ตารางที่ 2-14 รายการตรวจรับสารฝนหลวง ของหน่วยปฏิบัติการฝนหลวงหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	3-53
ตารางที่ 2-15 มูลค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สำหรับปฏิบัติการฝนหลวง.....	3-55
ตารางที่ 2-16 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 โดยพิจารณาแต่ละขั้นตอนของปฏิบัติการ.....	3-56
ตารางที่ 2-17 ค่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 โดยพิจารณาแต่ละทรัพยากรที่ใช้สำหรับปฏิบัติการฝนหลวง.....	3-56
ตารางที่ 2-18 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-65
ตารางที่ 2-19 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2561 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี.....	3-67

ตารางที่ 2-20 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี.....	3-69
ตารางที่ 2-21 ข้อมูลปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงรายปี ประกอบด้วย พ.ศ.2561, 2562, 2563 และ 2564 โดยวิธีการประเมินที่แตกต่างกัน 3 วิธี	3-70
ตารางที่ 2-22 เปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 จากการประเมินฝนเฉลี่ยของปฏิบัติการฝนหลวงด้วยวิธีการต่างๆ.....	3-71
ตารางที่ 2-23 คาร์บอนฟุตพริ้นท์แต่ละขั้นตอนของปฏิบัติการฝนหลวง ทางตรง และทางอ้อม ปี พ.ศ.2561-2564 จากการประเมินฝนเฉลี่ยของปฏิบัติการฝนหลวงด้วยวิธีการต่างๆ.....	3-71
ตารางที่ 2-24 คาร์บอนฟุตพริ้นท์รายทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 จากการประเมินฝนเฉลี่ยของปฏิบัติการฝนหลวงด้วยวิธีการต่างๆ.....	3-73

สารบัญภาพ

รูปที่ 1-1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย	3-13
รูปที่ 1-2 ปริมาณน้ำในบรรยากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศจากระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ถึงระดับความดันต่าง ๆ ซึ่งไม่เกิน 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ	3-14
รูปที่ 1-3 ตัวอย่างเส้นชั้นปริมาณน้ำในบรรยากาศ (Isoline of Precipitable Water)	3-18
รูปที่ 1-4 กรอบแนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิตตามหลัก ISO 14040	3-19
รูปที่ 2-1 กรอบแนวคิดการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวง	3-24
รูปที่ 2-2 ขอบเขตการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	3-25
รูปที่ 2-3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการวิจัย แสดงในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นทึบ	3-25
รูปที่ 2-4 ระบบการขนส่งเชื้อเพลิงและสารฝนหลวง	3-26
รูปที่ 2-5 ระบบการเตรียมสารฝนหลวง	3-26
รูปที่ 2-6 ระบบปฏิบัติการบินฝนหลวง	3-27
รูปที่ 2-7 ภาพรวมของปฏิบัติการฝนหลวงสำหรับการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	3-28
รูปที่ 2-8 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์รายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-36
รูปที่ 2-9 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์รายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-37
รูปที่ 2-10 ผลการวิเคราะห์หอดูหมิรายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-37
รูปที่ 2-11 ผลการวิเคราะห์หอดูหมิรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-38
รูปที่ 2-12 ผลการวิเคราะห์หอดูหมิจุดน้ำค้างรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-39
รูปที่ 2-13 ผลการวิเคราะห์หอดูหมิจุดน้ำค้างรายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-40
รูปที่ 2-14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการระเหยจากผิวดินรายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-40
รูปที่ 2-15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการระเหยจากผิวดินรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-41
รูปที่ 2-16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-42
รูปที่ 2-17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-43
รูปที่ 2-18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุดรายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-43
รูปที่ 2-19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุดรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี	3-44
รูปที่ 2-20 ขั้นตอนของระบบปฏิบัติการฝนหลวงที่พิจารณาในการศึกษานี้	3-51
รูปที่ 2-21 ICON ของโปรแกรม SimaPro	3-53
รูปที่ 2-22 หน้าต่างของโปรแกรม SimaPro	3-54
รูปที่ 2-23 การเข้าถึงฐานข้อมูลแสดงค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) จากฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือ	3-54
รูปที่ 2-24 เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 โดยพิจารณารายขั้นตอนของปฏิบัติการ	3-57
รูปที่ 2-25 เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 โดยพิจารณารายทรัพยากรที่ใช้สำหรับปฏิบัติการฝนหลวง	3-57
รูปที่ 2-26 สัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561 (ก) ทางตรงและทางอ้อมรายทรัพยากร (ข) ทางตรงและทางอ้อมทั้งหมด (ค) ทางตรงปฏิบัติการบินฝนหลวง (ง) ทางอ้อมรายทรัพยากร	3-59

รูปที่ 2-27 สัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2562 (ก) ทางตรงและทางอ้อมรายทรัพยากร (ข) ทางตรงและทางอ้อมทั้งหมด (ค) ทางตรงปฏิบัติการบินฝนหลวง (ง) ทางอ้อมรายทรัพยากร.....	3-60
รูปที่ 2-28 สัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2563 (ก) ทางตรงและทางอ้อมรายทรัพยากร (ข) ทางตรงและทางอ้อมทั้งหมด (ค) ทางตรงปฏิบัติการบินฝนหลวง (ง) ทางอ้อมรายทรัพยากร.....	3-61
รูปที่ 2-29 สัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2564 (ก) ทางตรงและทางอ้อมรายทรัพยากร (ข) ทางตรงและทางอ้อมทั้งหมด (ค) ทางตรงปฏิบัติการบินฝนหลวง (ง) ทางอ้อมรายทรัพยากร.....	3-62
รูปที่ 2-30 ตัวอย่างกรวยฝนหลวงจากรายงานผลการปฏิบัติการฝนหลวง	3-64
รูปที่ 2-31 ตัวอย่างผลการแปลงข้อมูลพิกัดและปริมาณฝนของฝนเรดาร์ลงในโปรแกรม ArcGIS (จากโครงการวิจัยย่อยที่ 2).....	3-66
รูปที่ 2-32 ตัวอย่างผลการแปลงข้อมูลปริมาณน้ำฝนของฝนดาวเทียมลงในโปรแกรม ArcGIS (จากโครงการวิจัยที่ 2).....	3-68
รูปที่ 2-33 เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมปฏิบัติการฝนหลวงของปี พ.ศ. 2561-2564.....	3-74

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

คำย่อ	ความหมาย	
	ไทย	อังกฤษ
CO ₂ -eq	คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า	Carbon dioxide equivalent
GWP	ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน	Global Warming Potential
IDW		Inverse Distance Weighted
LCI	การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม	Life Cycle Inventory Analysis
LCA	การประเมินวัฏจักรชีวิต	Life Cycle Assessment
TPW	มวลของไอน้ำทั้งหมดในบรรยากาศ	Total Precipitable Water

1 บทนำ (Introduction)

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลผลิตมวลรวมมาจากภาคเกษตรกรรมสูง ดังนั้น ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อ การเกษตรจึงส่งผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะปัญหาภัยแล้ง ซึ่งอาจจะเกิดจาก สภาวะฝนแล้ง โดยมีปริมาณฝนน้อยกว่าปกติ หรือฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล ทำให้เกิดสภาพการขาดแคลนน้ำ และจากการประมาณการความต้องการใช้น้ำทั้งประเทศพบว่า ความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมในพื้นที่ ชลประทานมีมากกว่า 50% แต่ในขณะเดียวกัน ปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติที่สามารถควบคุมหรือเก็บกักโดย เชื่อนขนาดใหญ่และขนาดกลางทั่วประเทศที่สามารถนำไปใช้ได้มีเพียงประมาณ 20 % ของปริมาณน้ำท่าผิวดินตามธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้ปัญหาการขาดแคลนน้ำจึงเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่ง ดังนั้นกรมฝนหลวงและการบิน เกษตร จึงได้ถูกจัดตั้งขึ้น โดยมีภารกิจหลักในเรื่องของการบริหารจัดการน้ำในชั้นบรรยากาศให้เกิดฝนใน ปริมาณและการกระจายที่เหมาะสม การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการทำฝนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหาร จัดการน้ำในชั้นบรรยากาศ และการตัดแปรสภาพอากาศแก้ไขปัญหากลุ่มภัยพิบัติอันเนื่องมาจากความผันแปรของ ภูมิอากาศและสภาวะโลกร้อน

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการย่อยที่ 3 ในจำนวน 4 โครงการภายใต้ชุดโครงการ การเพิ่มผลสัมฤทธิ์ และการลดความเสี่ยงในการบริหารจัดการน้ำลุ่มน้ำเพชรบุรีด้วยฝนหลวง (ปี 2) พื้นที่ศึกษายังคงต่อเนื่องมาจากปี ที่ 1 คือพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมจังหวัดเพชรบุรีทั้งจังหวัด คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 6,160 ตร.กม. โดยแม่น้ำเพชรบุรีมีต้นกำเนิดที่เทือกเขาตะนาวศรีทางด้านตะวันตกของลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นเขตแดนระหว่าง ประเทศไทยกับประเทศพม่า โดยโครงการย่อยที่ 3 ต่อเนื่องปีที่ 2 นี้ ส่วนของการจัดทำฐานข้อมูลและ วิเคราะห์สถิติภูมิอากาศเพื่อหาปริมาณน้ำในบรรยากาศและวิเคราะห์สถิติภูมิอากาศเชิงพื้นที่เพื่อนำเสนอ ปริมาณน้ำในบรรยากาศเพื่อใช้ในการจัดทำฝนหลวงมีการเพิ่มสถานีตรวจอากาศหนองพลับ และเพิ่มเติม ข้อมูลภูมิอากาศจากเดิมสิ้นสุดปี พ.ศ.2562 เป็นปี พ.ศ.2563 และมุ่งศึกษาการจัดทำฐานข้อมูลและประเมิน การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปฏิบัติการฝนหลวงเพื่อสนับสนุนปฏิบัติการฝนหลวงในแง่มุมมองการใช้ ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1 ศึกษาจัดทำฐานข้อมูลและวิเคราะห์สถิติภูมิอากาศเพื่อหาปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสม สำหรับการจัดทำฝนหลวง

2 ประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ ปฏิบัติการฝนหลวง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้มีการกำหนดขอบเขตการวิจัย ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำใน บรรยากาศ โดยวิธีการใช้ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) จากสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ จำนวน 4 สถานี ในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำเพชรบุรีและพื้นที่ข้างเคียง ได้แก่ สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี

ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ ช่วงเวลาข้อมูล 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533-2563 และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment, LCA โดยใช้ข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวงย้อนหลัง 4 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2561-2564

1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัย (รวมถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)

1) การวิเคราะห์สถิติข้อมูลภูมิอากาศ และการประเมินปริมาณน้ำในบรรยากาศ

แนวคิดของการจัดทำฐานข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการจัดทำฝนหลวง ดังแสดงในรูปที่ 1-1 ประกอบด้วย การศึกษาปริมาณน้ำในบรรยากาศ (Precipitable Water) จากข้อมูลภูมิอากาศในอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้แก่ ความชื้นจำเพาะ ความดันอากาศ และอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งปริมาณน้ำในบรรยากาศถึงว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเกิดฝน ดังนั้น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในบรรยากาศและปริมาณฝน และฝนหลวงที่เคยเกิดขึ้นในอดีต สามารถทำให้ทราบถึงปริมาณฝน และโอกาสของการเกิดฝนที่ร้อยละต่าง ๆ ของปริมาณน้ำในบรรยากาศ

ปริมาณน้ำในบรรยากาศ (Precipitable Water) หมายถึง มวลของไอน้ำในบรรยากาศ และปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้ (Probable Precipitable Water) หมายถึง มวลของไอน้ำทั้งหมดในบรรยากาศ โดยแสดงมวลของไอน้ำเป็นความลึกในแนวดิ่ง คิดเทียบเท่าความลึกของน้ำหน่วยเป็นเซนติเมตร หรือนิ้ว นิยมใช้อักษรย่อ TPW = Total Precipitable Water

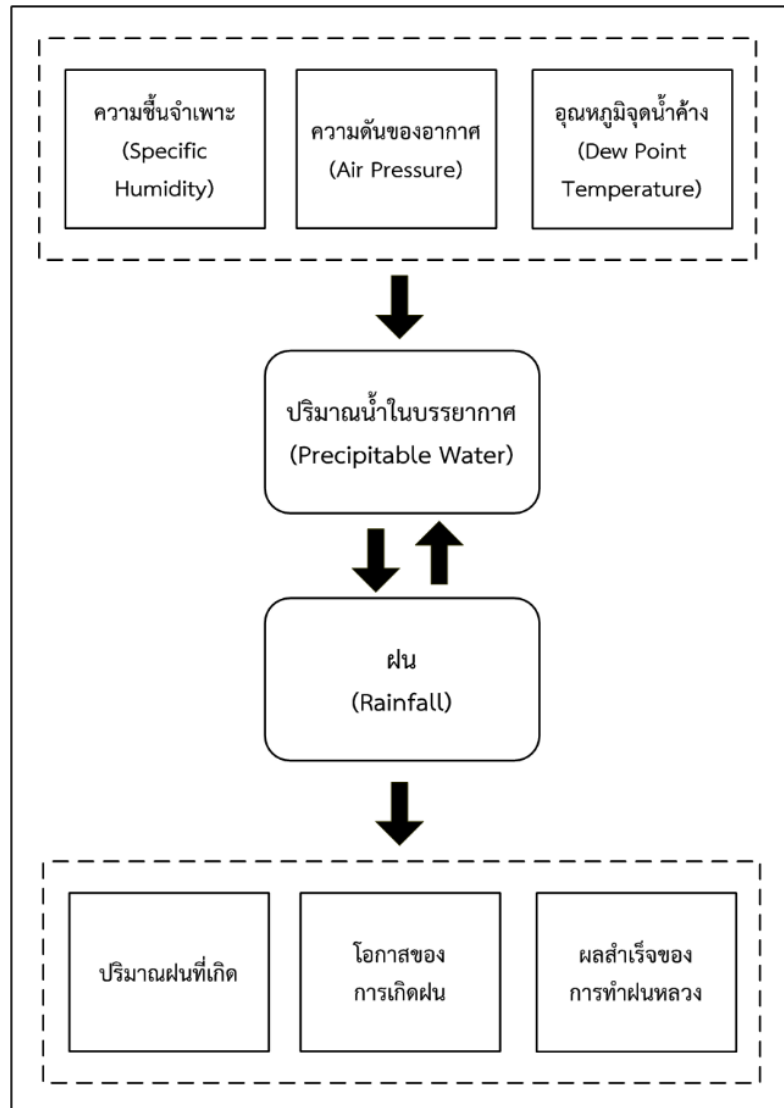
ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้ในช่วงความลึกต่าง ๆ นิยมคำนวณเป็นช่วงชั้นความลึกย่อยของความดันหรือความสูงจากพื้นโลก ซึ่งในแต่ละชั้นย่อยของบรรยากาศดังกล่าว ดังแสดงในสมการที่ 1

$$w = \frac{\bar{q}\Delta p}{\rho g} \quad (1)$$

- เมื่อ w = ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้, เซนติเมตร
 \bar{q} = ค่าเฉลี่ยของความชื้นจำเพาะที่จุดบนและล่างของแต่ละชั้นย่อย, กรัม/กิโลกรัม
 Δp = ผลต่างของความดันของอากาศ, มิลลิบาร์
 g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, เซนติเมตร/วินาที²
 ρ = ความหนาแน่นของน้ำ, กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้ สามารถคำนวณได้โดยการใช้โมโนกราฟในรูปที่ 1-2 หรือตารางที่ 1-1 และใช้อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) ณ ระดับซึ่งมีความดันของอากาศ (Air Pressure) ตามที่กำหนด ค่าประมาณอาจคำนวณได้จากการใช้อุณหภูมิจุดน้ำค้างหรือความดันไอน้ำที่ผิวโลก และสมมติว่า จำนวนไอน้ำในบรรยากาศเท่ากับมวลอากาศซึ่งอิ่มด้วยไอน้ำ พร้อมกับมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามแนวตั้งแบบมวลอากาศที่อิ่มตัว และมีความร้อนแฝงเกิดขึ้น (Saturation Pseudo-Adiabatic Lapse Rate) โดยที่

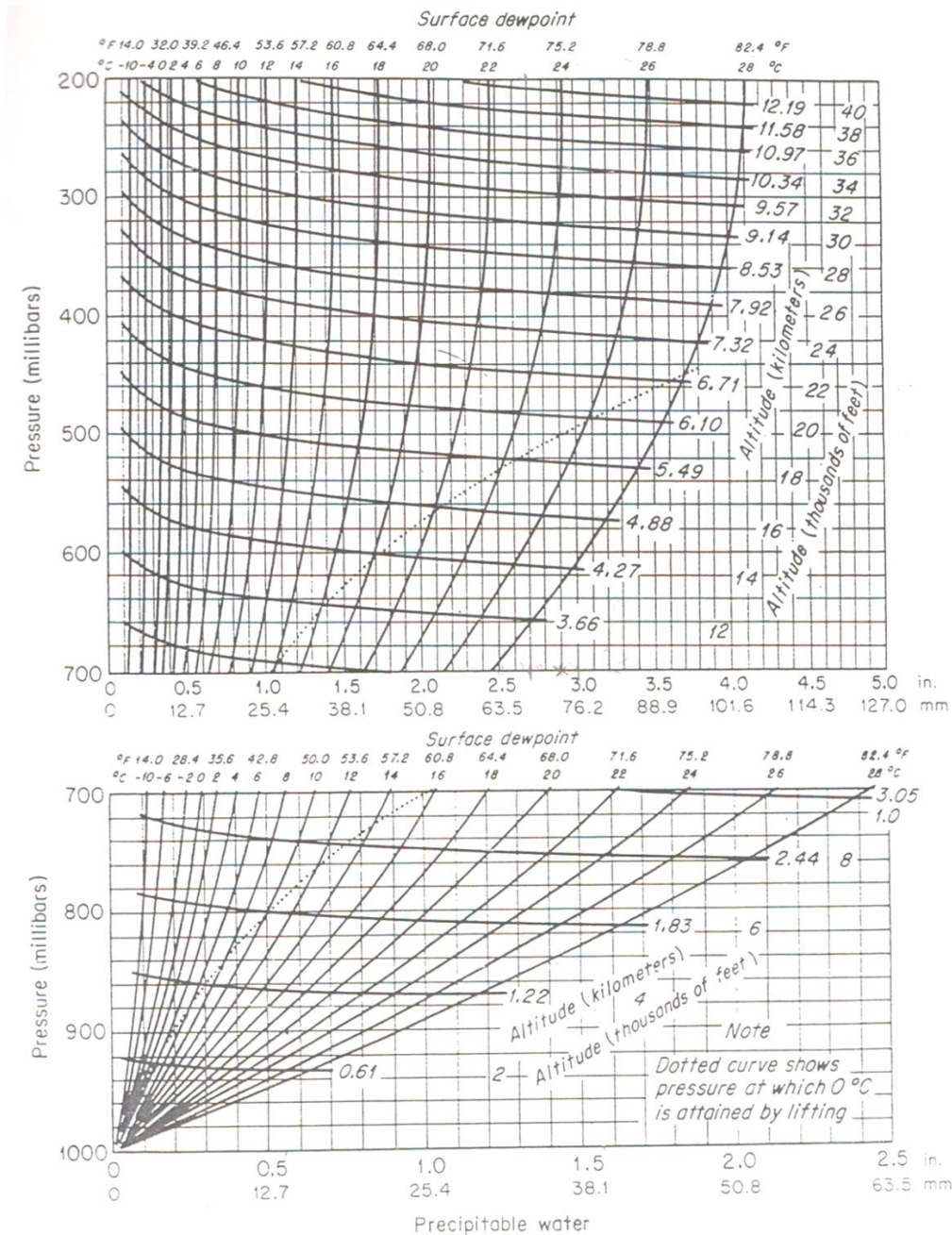
(1) ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) หรืออัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) คือ มวลของน้ำที่อยู่ในอากาศแห้ง (Dry Air) 1 กิโลกรัม มีหน่วยเป็น กิโลกรัมของน้ำ/กิโลกรัมของอากาศแห้ง หรือ กรัมของน้ำ/กิโลกรัมของอากาศแห้ง



รูปที่ 1-1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย

(2) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) หมายถึง อุณหภูมิ ณ จุดที่ความดันของไอน้ำขณะที่มีอยู่นั้นเท่ากับความดันไอน้ำเมื่ออิ่มตัว หรือ อุณหภูมิที่เมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลงขณะที่ปริมาณไอน้ำยังคงที่ การลดอุณหภูมิถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไอน้ำเกิดการอิ่มตัว และกลั่นตัวควบแน่นเป็นหยดน้ำ (Condensate) ที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) คงที่ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นไปถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นสภาวะที่อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มได้อีก อุณหภูมิอากาศไม่จำเป็นต้องลดลง เพื่อให้เกิดการกลั่นตัว อุณหภูมิจุดน้ำค้างจะเท่ากับอุณหภูมิที่วัดได้จากอากาศ เกิดภาวะที่เรียกว่า หมอก (Fog)

อุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่องสำหรับช่วงเวลาที่กำหนดเฉพาะใด ๆ คือ ค่าคงที่เท่ากับหรือมากกว่าค่าทุกค่าที่ทำการวัดตลอดช่วงเวลาที่เกี่ยวข้อง โดยทั่วไปใช้ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง และทำการลดระดับอยู่ที่ 1,000 มิลลิบาร์หรือที่ระดับผิวโลก ซึ่งจากการทดสอบของ Miller (1963) และ US Weather Bureau (1963) พบว่า พายุฝนและปริมาณน้ำในบรรยากาศที่อาจเป็นไปได้นั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ระดับผิวโลก



รูปที่ 1-2 ปริมาณน้ำในบรรยากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศจากระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ถึงระดับความดันต่าง ๆ ซึ่งไม่เกิน 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ

ตารางที่ 1-1 แสดงค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศจากระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ถึงระดับความดันต่าง ๆ ซึ่งไม่เกิน 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ และเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ 1,000 มิลลิบาร์

mb	Surface wet-bulb temperature °C																													
	0	2	4	6	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
990	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3				
980	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5				
970	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	7	7	8					
960	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10					
950	2	2	2	3	3	4	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	12	13					
940	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	7	7	7	8	9	9	10	10	11	12	12	13	14	15					
930	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	11	11	12	13	14	14	15	16	17					
920	3	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	12	13	14	14	15	16	17	19	20					
910	3	3	4	5	5	6	7	7	8	8	9	10	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	20	21	23					
900	3	4	4	5	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	23	26					
890	4	4	5	6	7	8	8	9	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	24	25	28					
880	4	4	5	6	7	8	9	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	19	20	21	23	24	26	27	31					
870	4	5	6	7	8	9	9	10	11	12	13	13	14	15	16	18	19	20	21	23	24	26	28	29	33					
860	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	16	18	19	20	21	23	24	26	28	30	32	36					
850	5	5	6	7	9	10	11	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21	23	24	26	28	30	32	34	38					
840	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19	20	21	23	24	26	28	30	32	34	36	40					
830	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22	24	26	27	29	31	33	35	38	43					
820	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	17	18	19	20	22	24	25	27	29	31	33	35	37	40	45					
810	5	6	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	20	21	23	25	26	28	30	32	34	37	39	42	47					
800	6	7	8	9	11	12	13	15	16	17	18	19	21	22	24	26	28	29	32	34	36	38	41	44	49					
790	6	7	8	9	11	13	14	15	16	17	19	20	22	23	25	27	29	31	33	35	38	40	43	46	52					
780	6	7	8	10	11	13	14	16	17	18	19	21	23	24	26	28	30	32	34	37	39	42	45	48	54					
770	6	7	9	10	12	14	15	16	17	19	20	22	23	25	27	29	31	33	35	38	41	43	46	49	56					
760	6	7	9	10	12	14	15	17	18	19	21	22	24	26	28	30	32	34	37	39	42	45	48	51	58					
750	6	8	9	10	13	15	16	17	18	20	21	23	25	27	29	31	33	35	38	41	44	47	50	53	60					
740	7	8	9	11	13	15	16	18	19	20	22	24	26	28	30	32	34	37	39	42	45	48	51	55	62					
730	7	8	9	11	13	15	17	18	20	21	23	24	26	28	30	33	35	38	40	43	46	50	53	57	64					
720	7	8	10	11	13	16	17	18	20	22	23	25	27	29	31	34	36	39	42	45	48	51	55	58	66					
710	7	8	10	12	14	16	17	19	20	22	24	26	28	30	32	35	37	40	43	46	49	53	56	60	68					
700	7	8	10	12	14	16	18	19	21	23	24	26	28	31	33	35	38	41	44	47	50	54	58	62	70					
690	7	9	10	12	14	17	18	20	21	23	25	27	29	31	34	36	39	42	45	48	52	55	59	63	72					
680	7	9	10	12	15	17	19	20	22	24	25	27	30	32	34	37	40	43	46	49	53	57	61	65	74					
670	7	9	11	12	15	17	19	20	22	24	26	28	30	33	35	38	41	44	47	51	54	58	62	67	76					
660	8	9	11	13	15	18	19	21	23	24	26	29	31	33	36	39	42	45	48	52	55	60	64	68	78					
650	8	9	11	13	15	18	19	21	23	25	27	29	31	34	37	39	42	46	49	53	57	61	65	70	80					

ตารางที่ 1-1 แสดงค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศจากระดับ 1,000 มิลลิบาร์ ถึงระดับความดันต่าง ๆ ซึ่งไม่เกิน 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ และเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ 1,000 มิลลิบาร์ (ต่อ)

mb	Surface wet-bulb temperature °C																													
	0	2	4	6	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
640	8	9	11	13	15	18	20	21	23	25	27	29	32	35	37	40	43	46	50	54	58	62	67	71	76	81				
630	8	9	11	13	16	18	20	22	24	26	28	30	32	35	38	41	44	47	51	55	59	63	68	73	78	83				
620	8	9	11	13	16	19	20	22	24	26	28	30	33	36	38	42	45	48	52	56	60	65	69	74	79	85				
610	8	9	11	13	16	19	20	22	24	26	28	31	33	36	39	42	45	49	53	57	61	66	71	76	81	87				
600	8	9	11	13	16	19	21	23	25	27	29	31	34	37	40	43	46	50	54	58	62	67	72	77	82	88				
590	8	10	11	14	16	19	21	23	25	27	29	32	34	37	40	43	47	51	55	59	63	68	73	78	84	90				
580	8	10	11	14	16	19	21	23	25	27	30	32	35	38	41	44	48	51	55	60	64	69	74	80	85	91				
570	8	10	12	14	16	20	21	23	25	27	30	32	35	38	41	45	48	52	56	61	65	70	75	81	87	93				
560	8	10	12	14	17	20	21	23	26	28	30	33	36	39	42	45	49	53	57	61	66	71	77	82	88	94				
550	8	10	12	14	17	20	22	24	26	28	30	33	36	39	42	46	49	53	58	62	67	72	78	83	90	96				
540	8	10	12	14	17	20	22	24	26	28	31	33	36	39	43	46	50	54	58	63	68	73	79	85	91	97				
530	8	10	12	14	17	20	22	24	26	28	31	34	37	40	43	47	50	55	59	64	69	74	80	86	92	99				
520	8	10	12	14	17	20	22	24	26	29	31	34	37	40	43	47	51	55	60	67	70	75	81	87	93	100				
510	8	10	12	14	17	20	22	24	26	29	31	34	37	40	44	48	51	56	60	65	70	76	82	88	95	102				
500	8	10	12	14	17	20	22	24	27	29	32	34	37	41	44	48	52	56	61	66	71	77	83	89	96	103				
490	8	10	12	14	17	21	22	25	27	29	32	35	38	41	45	48	52	57	61	66	72	78	84	90	97	104				
480	8	10	12	14	17	21	23	25	27	29	32	35	38	41	45	49	53	57	62	67	73	78	85	91	98	105				
470	8	10	12	14	17	21	23	25	27	29	32	35	38	42	45	49	53	58	62	68	73	79	85	92	99	106				
460	8	10	12	14	17	21	23	25	27	30	32	35	38	42	45	49	54	58	63	68	74	80	86	93	100	108				
450	8	10	12	14	17	21	23	25	27	30	32	35	39	42	46	50	54	58	63	69	74	81	87	94	101	109				
440	8	10	12	15	17	21	23	25	27	30	33	35	39	42	46	50	54	59	64	69	75	81	88	95	101	110				
430	8	10	12	15	17	21	23	25	27	30	33	36	39	42	46	50	55	59	64	70	76	82	88	96	103	111				
420	8	10	12	15	18	21	23	25	27	30	33	36	39	43	46	50	55	60	65	70	76	82	89	96	104	112				
410	8	10	12	15	18	21	23	25	27	30	33	36	39	43	47	51	55	60	65	71	77	83	90	97	105	113				
400	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	39	43	47	51	55	60	65	71	77	84	90	98	105	114				
390	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	39	43	47	51	56	60	66	71	77	84	91	98	106	115				
380	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	39	43	47	51	56	61	66	72	78	85	92	99	107	115				
370	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	43	47	51	56	61	66	72	78	85	92	100	108	116				
360	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	43	47	51	56	61	66	72	79	85	93	100	108	117				
350	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	43	47	51	56	61	67	73	79	86	93	101	109	118				
340	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	43	47	52	56	61	67	73	79	86	93	101	109	118				
330	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	43	47	52	56	61	67	73	79	86	94	102	110	119				
320	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	67	73	80	87	94	102	111	120				
310	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	67	73	80	87	94	102	111	120				
300	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	67	74	80	87	95	103	111	121				

ตารางที่ 1-1 (ต่อ)

mb	Surface wet-bulb temperature °C																													
	0	2	4	6	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
290	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	80	87	95	103	112	121				
280	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	80	88	95	103	112	121				
270	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	95	104	112	122				
260	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	104	113	122				
250	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	104	113	122				
240	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	104	113	123				
230	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	104	113	123				
220	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	104	113	123				
210	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	105	114	123				
200	8	10	12	15	18	21	23	25	28	30	33	36	40	44	48	52	57	62	68	74	81	88	96	105	114	123				

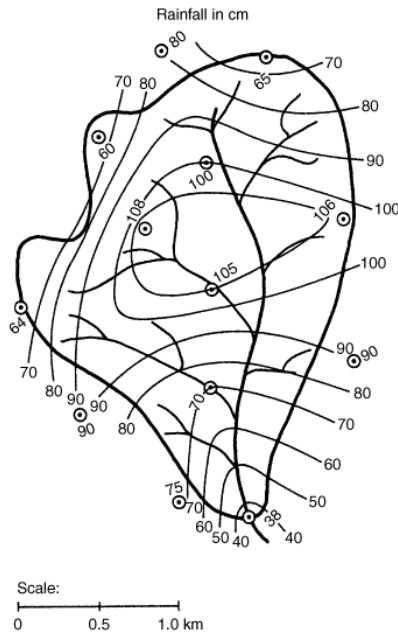
2) การศึกษาแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศ

การศึกษาข้อมูลแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำในบรรยากาศของกลุ่มน้ำเพชรบุรี (Areal Precipitation) เป็นการพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศที่ได้จากการวิเคราะห์ของสถานีหลักในกลุ่มน้ำเพชรบุรีและข้างเคียง เพื่อกำหนดเป็นเส้นชั้นปริมาณน้ำในบรรยากาศ (Isoline of Precipitable Water) โดยเส้นชั้นน้ำฝนจะเป็นเส้นที่ลากผ่านบริเวณที่มีความเข้มของปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เท่ากัน โดยจะมีการนำข้อมูลลักษณะภูมิประเทศและทิศทางของพายุฝนเข้ามาร่วมการพิจารณา เมื่อทำการสร้างเส้นชั้นปริมาณน้ำในบรรยากาศที่มีค่าความเข้มที่เท่ากันได้ทั้งพื้นที่แล้ว จะสามารถคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศเชิงพื้นที่ได้โดยการพิจารณาพื้นที่ที่อยู่ระหว่างเส้นชั้นปริมาณน้ำในบรรยากาศ 2 เส้น ตัวอย่างรูปเส้นชั้นน้ำปริมาณน้ำในบรรยากาศแสดงได้ในรูปที่ 1-3 และสมการที่ 2 แสดงวิธีการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศเชิงพื้นที่

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n P_i A_i \quad (2)$$

โดยที่ \bar{P} คือปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ยในพื้นที่ที่ศึกษา A คือพื้นที่ศึกษาทั้งหมด P_i คือค่าความเข้มชั้นของปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ยระหว่างเส้นชั้นปริมาณน้ำในบรรยากาศ 2 เส้น และ A_i คือพื้นที่ระหว่างเส้นชั้นปริมาณน้ำในบรรยากาศ 2 เส้นที่อยู่ใกล้กัน

เมื่อกระบวนการวิเคราะห์แล้วเสร็จ สามารถแสดงผลได้ใน 3 รูปแบบหลัก ได้แก่ (1) การแสดงผลในรูปแบบของแผนที่เส้นชั้นปริมาณน้ำในบรรยากาศเป็นจุดสีทั่วพื้นที่ศึกษา (2) การแสดงผลในรูปแบบของค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในบรรยากาศในพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลาที่ระบุ และ (3) การแสดงผลค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำในบรรยากาศในรูปแบบของอนุกรมเวลา (Time series)



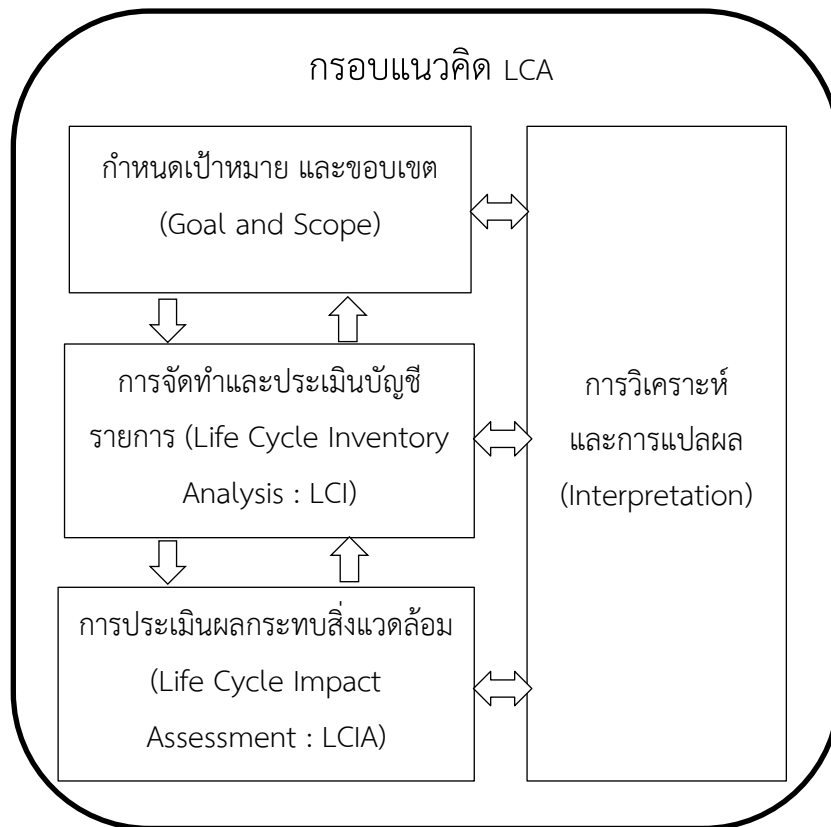
ที่มา: Lehr and Keeley (2005)

รูปที่ 1-3 ตัวอย่างเส้นชั้นปริมาณน้ำในบรรยากาศ (Isoline of Precipitable Water)

3) หลักคิดการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ซ้ำ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดระบุไว้ในมาตรฐาน ISO 14040 :2006 (ISO, 2006a) ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1-4

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition)
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis; LCI)
3. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment)
4. การวิเคราะห์และการแปลผล เพื่อการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม (Interpretation and Improvement Analysis)



รูปที่ 1-4 กรอบแนวคิดการประเมินวัฏจักรชีวิตตามหลัก ISO 14040

ที่มา : อ้างอิงจาก ISO 14040 (2006)

หลักคิดของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นี้ จะถูกนำไปใช้เป็นแนวทางในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตในการประเมิน การจัดทำและวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์และการแปลผล ซึ่งจะช่วยให้สามารถเข้าใจการใช้ทรัพยากร และผลกระทบจากการใช้ทรัพยากร เพื่อนำไปสู่การหาแนวทางในการปรับปรุงหรือลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

4) การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon emission and carbon footprint assessment)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละขั้นตอนของกิจกรรมในระบบที่พิจารณา ตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle) ของผลิตภัณฑ์นั้น ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน โดยคำนวณออกมาอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ -equivalent หรือ CO₂-eq) โดยเหตุผลที่ใช้หน่วยเทียบเท่ากับคาร์บอนไดออกไซด์นั้น เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกมีหลายชนิดและแต่ละชนิดมีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ไม่เท่ากัน จึงใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกอ้างอิง โดยในตารางที่ 1-2 แสดงก๊าซเรือนกระจก 6 ชนิด (ตามที่ควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโต) ซึ่งใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2561)

ตารางที่ 1-2 ก๊าซเรือนกระจก 6 ชนิดที่ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนเมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	สูตรเคมี	เทียบเท่ากับคาร์บอนไดออกไซด์
คาร์บอนไดออกไซด์	CO ₂	1
มีเทน	CH ₄	25
ไนตรัสออกไซด์	N ₂ O	298
ไฮโดรฟลูออไรด์คาร์บอน	HFCs	12-14,800
เพอร์ฟลูออไรด์คาร์บอน	PFCs	7,390-12,200
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์	SF ₆	22,800

ที่มา : The Working Group I contribution to the IPCC Fourth Assessment Report. Table2. 14. (Errata, June 2012)

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ 1) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (direct emission) คือ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆในพื้นที่หรือบริเวณที่มีกิจกรรมต่างๆนั้นเกิดขึ้น เช่น การเผาไหม้ น้ำมันดีเซลในเครื่องบินที่โดยสารผ่านหลวง ซึ่งก๊าซเรือนกระจกจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยตรงจากเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านั้น และ 2) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (indirect emission) คือ ก๊าซเรือนกระจกที่ไม่ได้ถูกปลดปล่อยโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ แต่เกิดขึ้นในพื้นที่หรือบริเวณอื่นที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมนั้นๆ เช่น การใช้ไฟฟ้าในการผลิตสารผ่านหลวง ก๊าซเรือนกระจกไม่ได้ถูกปลดปล่อยออกมาระหว่างที่มีการใช้ไฟฟ้า แต่ก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นจากผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้า โดยทั้งนี้รวมถึงก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตวัตถุดิบต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตสารผ่านหลวงด้วย เช่น กระบวนการผลิตแอมโมเนีย และก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการผลิตสารต่างๆเหล่านี้จะติดตัวมากับสารแต่ละชนิด ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการผ่านหลวงด้วย

การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปจะรายงานผลการประเมินโดยใช้หน่วยของผลิตภัณฑ์ (Functional unit) เช่น คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของน้ำยาสด 1 ตันน้ำยาสด คือปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ของการได้มาซึ่งน้ำยาสด 1 ตัน ในระบบที่พิจารณา โดยการคำนวณใช้หลักการดังสมการที่ 3

$$\text{คาร์บอนฟุตพริ้นท์} = \frac{\text{ปริมาณทรัพยากรที่ใช้} \times \text{ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซ (emission factor)}}{\text{ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์}} \quad (3)$$

5) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิตยา ศิริวัน (2559) ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเสื้อผ้าบาติก ของร้านสมบูรณ์สิ่งทอ จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีการกำหนดหน่วยการทำงานของระบบคือ เสื้อคอเชิ้ตผ้าบาติกลายดอกกุหลาบ ผลิตจากผ้าทอฝ้าย ขนาดดอก 42 นิ้ว จำนวน 1 ตัว ผลการวิจัยพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากวัฏจักรชีวิตของเสื้อผ้าบาติก มีค่าเท่ากับ 3.59 kgCO₂ eq กระบวนการที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือกระบวนการผลิตวัตถุดิบ คิดเป็นร้อยละ 74.8 การวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการเลือกใช้ผ้าทอจากเส้นฝ้ายที่ผลิตแบบออร์แกนิกส์ และเลือกสีที่ใช้ในการย้อมลายผ้าบาติกเป็นสีจากธรรมชาติ

น้ำทิพย์ แจกภู (2561) ศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรจากภาคการขนส่งทางบก บริษัทกราวน์ บิสซิเนส จำกัด ใช้ข้อมูลของปี พ.ศ. 2559 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมด 518.63 ตัน คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี แบ่งเป็นขอบเขตกิจกรรมที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 465.89, 26.90 และ 25.84 ตันคาร์บอน ไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ เมื่อพิจารณาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อจำนวนพนักงานพบว่า มีค่าเท่ากับ 11.78 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อพนักงานหนึ่งคน สำหรับแนวทางในการลดการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด คือเปลี่ยนจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไปเป็น ก๊าซ NGV ซึ่งลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเดิมได้ถึง 15% ต่อปี และลดค่าน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 2.424 ล้านบาทต่อปี

พรรณทิพย์ แต่งอ่อน (2557) ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน ของสหกรณ์ กองทุนสวนยางจำนวน 9 โรงงาน ในจังหวัดสงขลา โดยนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) มาช่วยในการประเมิน จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยาง แผ่นรมควัน ของสหกรณ์กองทุนสวนยางจำนวน 9 โรงงาน ในจังหวัดสงขลา มีค่า 2.078 kgCO₂e ต่อ กิโลกรัมยางแผ่นรมควัน ซึ่ง 87% ของค่าเฉลี่ยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เกิดจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบและขนส่ง งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการใช้เทคโนโลยีสะอาด และ การปรับเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง เพื่อช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รัตนารวรรณ มั่งคั่ง (2554) ศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ในงานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาผลิตภัณฑ์ข้าว 3 ชนิด คือ ข้าวสารหอมมะลิ เส้นหมี่ และเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง โดยดำเนินการวิเคราะห์คาร์บอนฟุต พริ้นท์แบบ บางส่วน ครอบคลุมขอบเขตการศึกษากิจกรรมการผลิตต้นน้ำไปจนถึงการขนส่งไปยังต่างประเทศ ด้วยวิธีการ ตามมาตรฐาน PAS 2050 พบว่า ในผลิตภัณฑ์ข้าวสารหอมมะลิการปลูกข้าว เป็นขั้นตอนที่มีสัดส่วนการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกสูงสุด ส่วนในผลิตภัณฑ์เส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งนั้น ขั้นตอนกระบวนการผลิต มี สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด จะเห็นได้ว่าข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการปลูกข้าว มีความอ่อนไหวต่อขนาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในขณะที่การรวบรวมข้อมูลจากผู้จำหน่ายวัตถุดิบข้าวเปลือก ที่มี จำนวนมาก ทำให้เป็นอุปสรรคในการรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว ที่มี ระบบการปลูกและการจัดการที่แตกต่างกัน

จะเห็นได้ว่า การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ตาม แนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ สามารถสะท้อนให้เห็นสถานการณ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากขั้นตอนหรือกิจกรรมการผลิตหรือบริการที่กำลังพิจารณา สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อนำไปหาแนวทางใน การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เป็นผลทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนได้ นอกจากนี้ผลการประเมินยังทำให้เกิดแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยลดต้นทุนและสร้าง ภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร เป็นต้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) การเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจในการจัดทำแผนหลวง
- 2) สะท้อนให้เห็นสถานการณ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการแผนหลวง
- 3) เสนอแนะแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยลดต้นทุนและสร้างภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร
- 4) สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่

2 วิธีการศึกษาและผลการศึกษา (Methodology and Results)

2.1 วิธีดำเนินการวิจัย (Material and Method)

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

2.1.1 การรวบรวมข้อมูลและทบทวนข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการวิจัย

วิธีการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

การดำเนินการวิจัยต้องดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งดำเนินการทบทวนและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับรวบรวมได้ ทุกข้อมูลก่อนนำมาใช้งานสำหรับงานวิจัยในขั้นตอนต่อไป โดยมีข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวิจัย ดังนี้

- (1) รวบรวมข้อมูลรายละเอียดทางกายภาพของกลุ่มน้ำและสถานีวัดน้ำท่า
- (2) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน
- (3) รวบรวมข้อมูลภูมิอากาศโดยทั่วไปของกลุ่มน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์กระแสลม เมฆปกคลุม อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ปริมาณการระเหยจากผิวน้ำ ที่ตั้งสถานีตรวจอากาศ และระดับความสูงของที่ตั้งสถานีตรวจอากาศในพื้นที่รับน้ำฝนและใกล้เคียงจากกรมอุตุนิยมวิทยา

- (4) รวบรวม ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และระดับความสูงของที่ตั้งสถานีภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่ศึกษา จากกรมอุตุนิยมวิทยา

วิธีการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

การดำเนินการวิจัยต้องดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งดำเนินการทบทวนและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับรวบรวมได้ ทุกข้อมูลก่อนนำมาใช้งานสำหรับงานวิจัยในขั้นตอนต่อไป โดยมีข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวิจัย ดังนี้

- (1) รวบรวมข้อมูลทฤษฎีการปฏิบัติการฝนหลวง
- (2) รวบรวมข้อมูลรายงานการปฏิบัติการฝนหลวง ประกอบด้วย ปริมาณการใช้สารฝนหลวง ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ชั่วโมงบิน จำนวนเที่ยวบิน
- (3) รวบรวมข้อมูลรายงานการตรวจรับสารฝนหลวง
- (4) รวบรวมข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
- (5) รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนที่เกิดจากปฏิบัติการฝนหลวง

2.1.2 ขั้นตอนและวิธีการศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ โดยวิธีการใช้ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) และ การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วิธีการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

1) การวิเคราะห์สถิติข้อมูลภูมิอากาศ และการประเมินปริมาณน้ำในบรรยากาศ

ใช้ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) ณ ระดับซึ่งมีความดันของอากาศ (Air Pressure) ของที่ตั้งสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ (Precipitable Water) โดยการใช้ไมโนกราฟในรูปที่ 1-2 หรือตารางที่ 1-1 ซึ่งมีที่มาจากสมการที่ 1 ค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศคำนวณได้จากการใช้อุณหภูมิจุดน้ำค้างหรือความดันไอน้ำที่ผิว

โลกและสมมุติว่า จำนวนไอน้ำในบรรยากาศเท่ากับมวลอากาศซึ่งอ้อมด้วยไอน้ำ พร้อมกับมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งแบบมวลอากาศที่อ้อมตัว และมีความร้อนแฝงเกิดขึ้น (Saturation Pseudo-Adiabatic Lapse Rate)

จากการรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างราย 3 ชั่วโมง ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ ที่รวบรวมได้ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2524-2563 นำมาหาค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ย ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง และค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาหาค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศที่ระดับความสูง 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ

2) การศึกษาแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศ

จากการรวบรวมข้อมูลระยะยาว 31 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2533 ถึง 2563 ของสถานีตรวจวัดอากาศหัวหิน สถานีตรวจวัดอากาศเพชรบุรี สถานีตรวจวัดอากาศประจวบคีรีขันธ์ และสถานีตรวจวัดอากาศหนองพลับ นำมาวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศเชิงพื้นที่ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลรายเดือนเฉลี่ย และรายปีเฉลี่ย เชิงพื้นที่ของพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำเพชรบุรี ได้แก่ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลอุณหภูมิ ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ข้อมูลผลการวิเคราะห์ปริมาณการระเหยจากผิวดิน ข้อมูลผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย และผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด โดยการคำนวณปริมาณน้ำในบรรยากาศเชิงพื้นที่ที่สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2

3) การจัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมนิยามวิทยาสสนับสนุนการทำฝนหลวง

การจัดทำฐานข้อมูลอุตุนิยมนิยามวิทยา ได้วางแผนดำเนินการร่วมกับโครงการวิจัยย่อยที่ 4 โดยทำการส่งมอบข้อมูลทางด้านอุตุนิยมนิยามวิทยา ประกอบด้วยข้อมูล พิกัด ที่อยู่ในรูปแบบของ พิกัดละติจูด และลองจิจูด ข้อมูล วัน เดือน ปี สถานีที่ทำการบันทึกข้อมูล ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลความเร็วลม ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ย และผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย และข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด

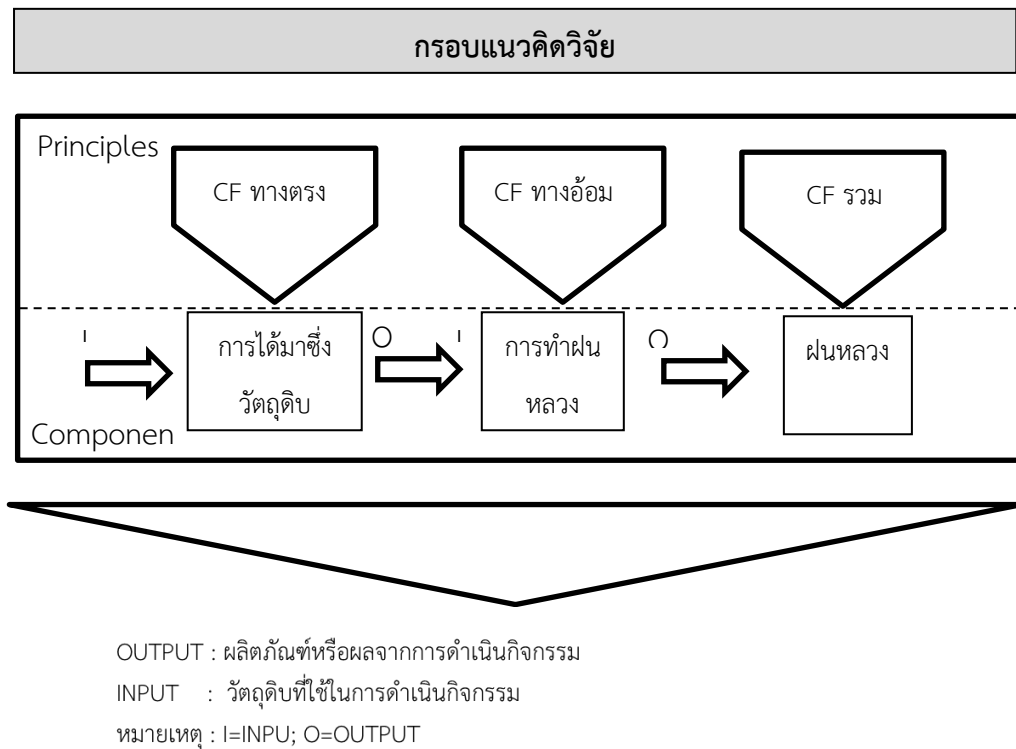
วิธีการตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง

การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง มีกรอบแนวคิดแสดงได้ดังรูปที่ 2-1 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำบัญชีรายการตามแนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต ของปฏิบัติการฝนหลวง โดยจะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการปลดปล่อยการเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง และใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวงต่อไป

โดยมีกิจกรรมภายใต้กรอบการประเมินวัฏจักรชีวิต ประกอบด้วย

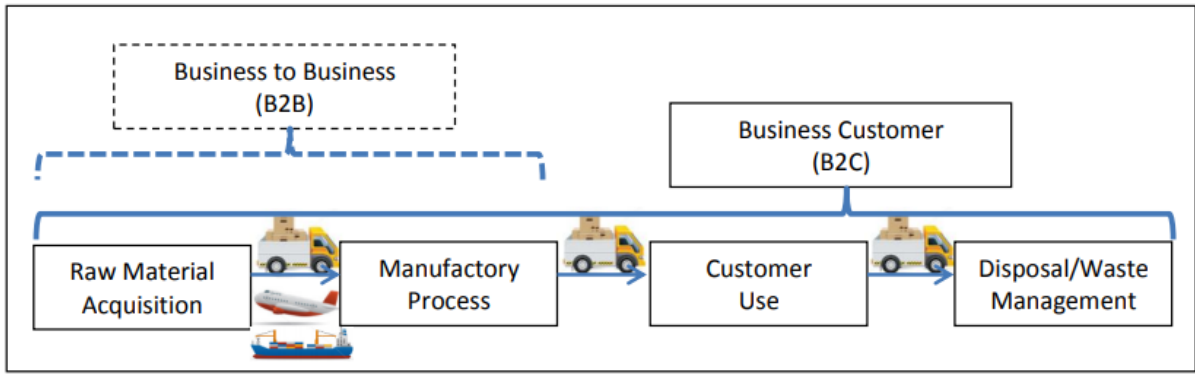
- 1) การวิเคราะห์หน่วยการทำงานของปฏิบัติการฝนหลวง (functional unit analysis) ในขอบเขตที่กำหนด
- 2) การวิเคราะห์บัญชีรายการของปฏิบัติการฝนหลวง (Inventories analysis)
- 3) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวง (Carbon footprint assessment)
- 4) การแปลผลและขอเสนอแนะ (Interpretation and recommendation)



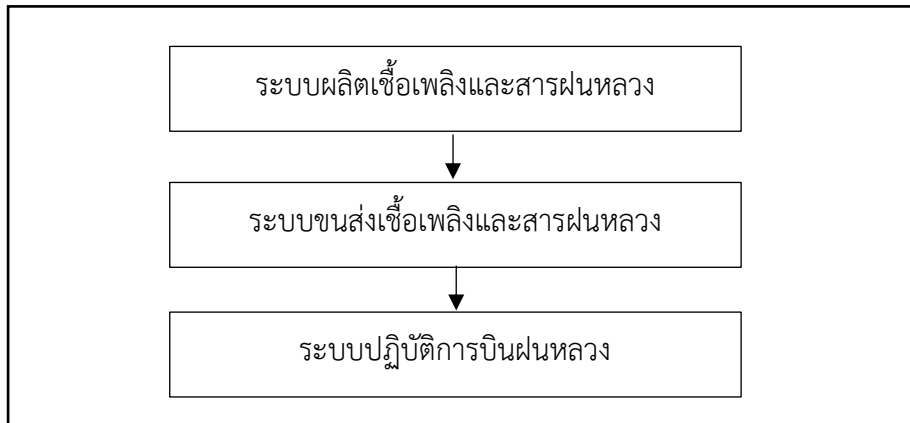
รูปที่ 2-1 กรอบแนวคิดการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวง

1) การวิเคราะห์หน่วยการทำงานของการทำงานของการทำฝนหลวง (functional unit analysis)

เป้าหมาย คือ การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของปฏิบัติการฝนหลวงในระยะเวลา 4 ปี ย้อนหลัง
ขอบเขต คือ เลือกพิจารณาแบบ Business to Business เป็นการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
 ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการปฏิบัติการฝนหลวง จนกระทั่งได้เป็นน้ำฝนลงสู่พื้นดินดังแสดง
 ในรูปที่ 2-2 และ 2-3



รูปที่ 2-2 ขอบเขตการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

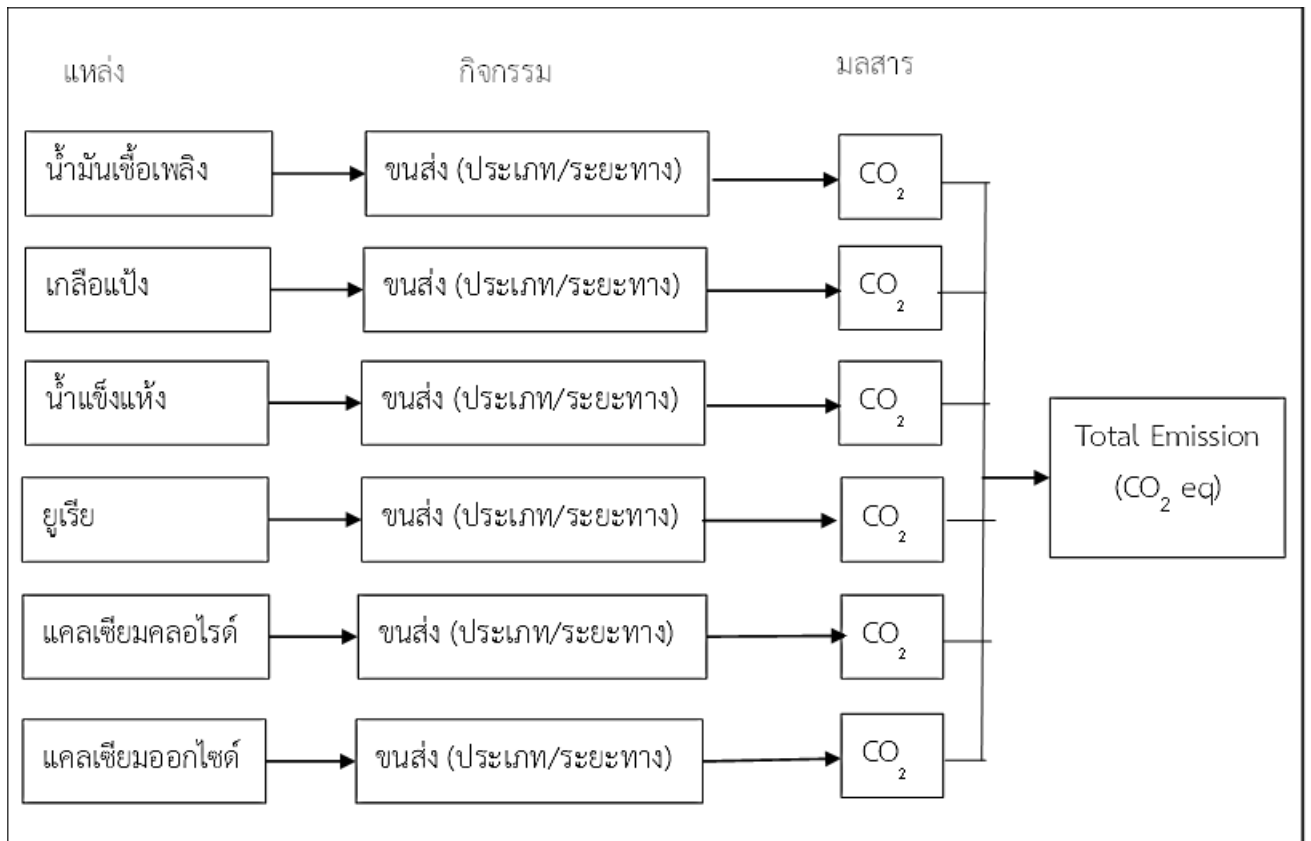


รูปที่ 2-3 ขอบเขตการศึกษาของโครงการวิจัย แสดงในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นทึบ

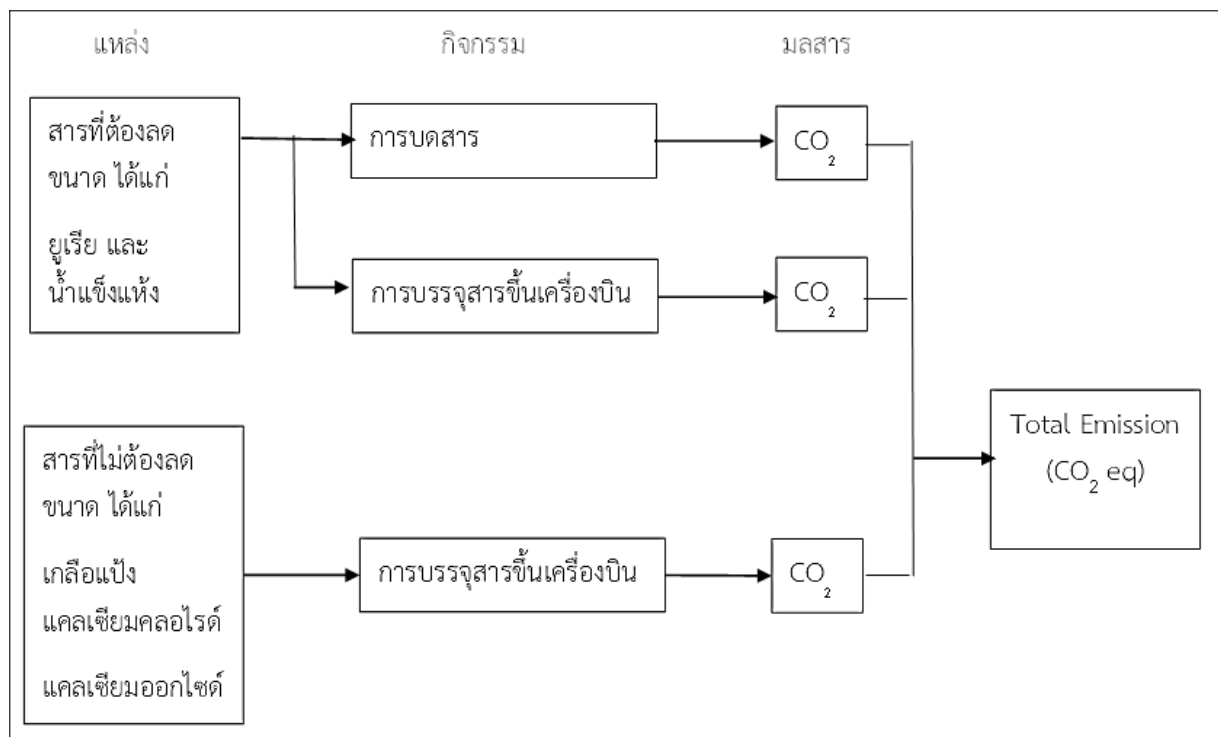
หน่วยการประเมิน เลือกใช้ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อ 1 ล้านลูกบาศก์เมตรน้ำฝนที่ประเมินว่าเกิดจากปฏิบัติการปนหลวง เป็นหน่วยอ้างอิงสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

2) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis : LCI)

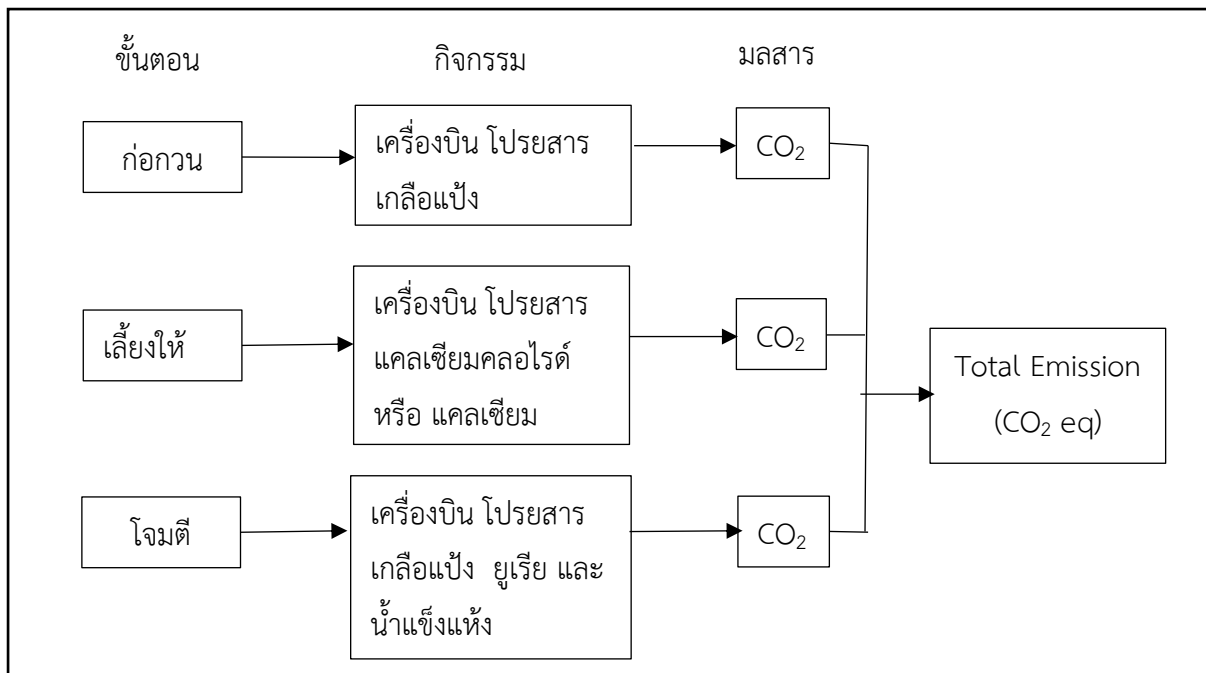
จากการกำหนดขอบเขตที่นำมาพิจารณา สามารถแบ่งระบบย่อยที่จะพิจารณา ออกได้เป็น 3 ระบบ ได้แก่ 1.ระบบขนส่งเชื้อเพลิงและสารปนหลวง 2.ระบบเตรียมสารปนหลวง 3.ระบบปฏิบัติการบินปนหลวง ผู้วิจัยได้พิจารณาบัญชีรายการสารขาเข้า สารขาออกของกิจกรรม ดังแสดงในรูปที่ 2-4, 2-5, 2-6 และ 2-7



รูปที่ 2-4 ระบบการขนส่งเชื้อเพลิงและสารปนหลวง

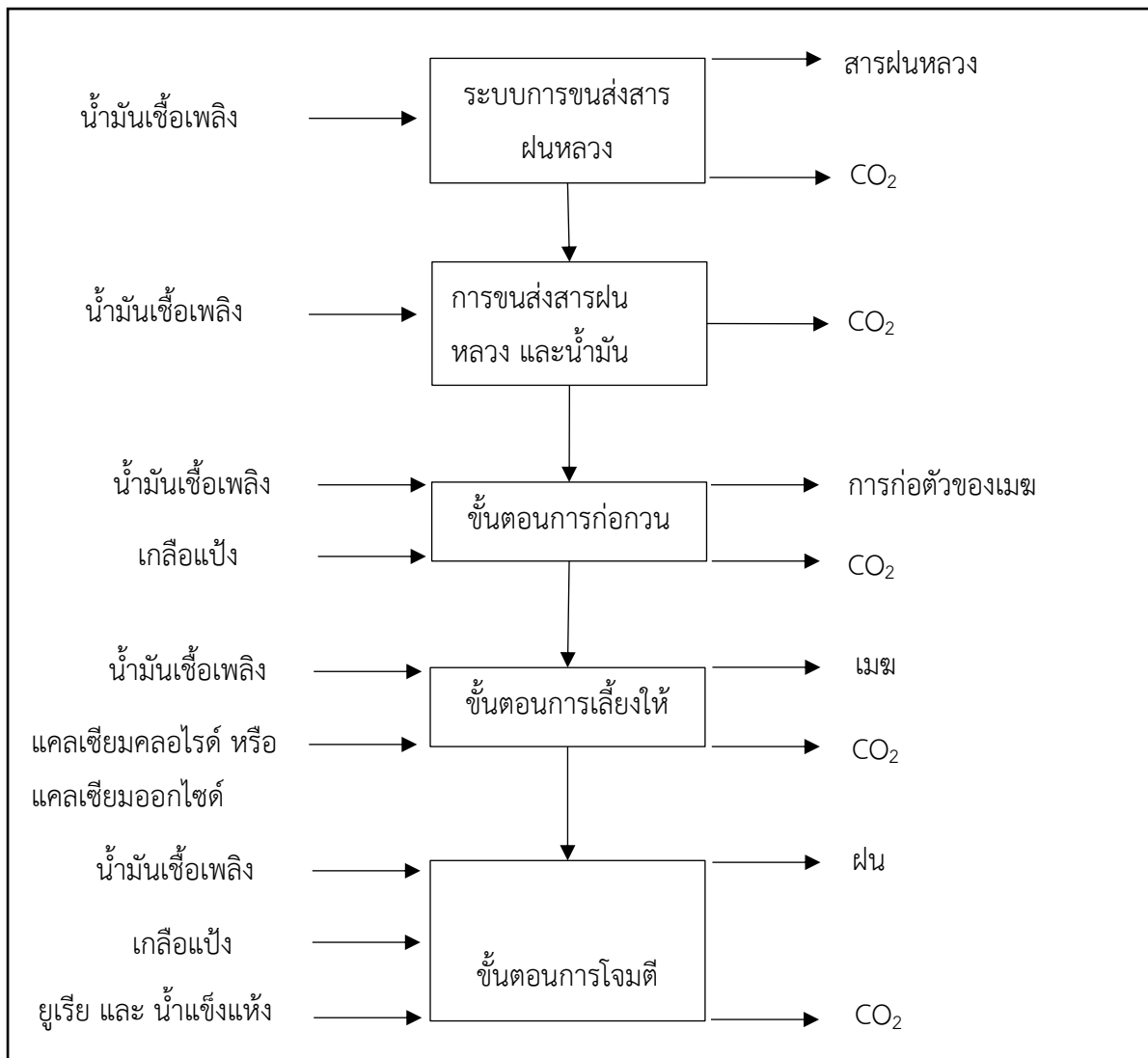


รูปที่ 2-5 ระบบการเตรียมสารปนหลวง



รูปที่ 2-6 ระบบปฏิบัติการบินฝนหลวง

หมายเหตุ: ขั้นตอนการโจมตีของระบบปฏิบัติการบินฝนหลวง พิจารณาเฉพาะการโจมตีแบบ Sandwich สำหรับเมฆอุ่น ซึ่งถูกใช้ในพื้นที่ศึกษาเป็นหลักเนื่องจากชนิดของเมฆที่เกิดบริเวณลุ่มน้ำเพชรบุรี คือเมฆอุ่น



รูปที่ 2-7 ภาพรวมของปฏิบัติการฝังหลุมสำหรับการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากขอบเขตของระบบสำหรับประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝังหลุมตามที่แสดงในรูปที่ 2-4, 2-5, 2-6 และ 2-7 จะถูกนำมาใช้ในการสร้างตารางบัญชีรายการ ดังแสดงในภาคผนวก ก โดยจำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูล รายละเอียดข้อมูลการใช้ทรัพยากรทั้งหมดในปฏิบัติการฝังหลุมรวมถึงการขนส่ง กำหนดแหล่งที่มาของข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม วิธีการรวบรวมและการตรวจสอบคุณภาพข้อมูล ดังตารางที่ 2-1 และมีรายละเอียดของกิจกรรมที่ศึกษาดังตารางที่ 2-2 เพื่อใช้ในการคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของทรัพยากรและกิจกรรมที่เกิดขึ้นในปฏิบัติการฝังหลุมต่อไป

ตารางที่ 2-1 แหล่งที่มาของข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนของปฏิบัติการฝนหลวง

ขั้นตอน	แหล่งที่มาของข้อมูล	วิธีการรวบรวมข้อมูล	การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล
การได้มาของวัตถุดิบ	ข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ	การสัมภาษณ์จากเจ้าหน้าที่กรมฝนหลวงและข้อมูลจากการรวบรวมของกรมฝนหลวง -จำนวนครั้งของการขนส่งทรัพยากร -ระยะทางในการขนส่งทรัพยากร -ประเภทของรถที่ใช้ในการขนส่ง	เทียบกับรายงานของกรมฝนหลวง
การปฏิบัติการบินฝนหลวง	ข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ	การสัมภาษณ์จากเจ้าหน้าที่กรมฝนหลวงและข้อมูลจากการรวบรวมของกรมฝนหลวง -จำนวนครั้งในการขึ้นบิน -ระยะทางที่ใช้ในการขึ้นบิน -ระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นบิน -ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง -ประเภทของเครื่องบินที่ใช้ในปฏิบัติการ	เทียบกับรายงานของกรมฝนหลวง

ตารางที่ 2-2 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ระบบ	ข้อมูลกิจกรรมที่ศึกษา	มลสารที่เกี่ยวข้อง	รายการ	หน่วย	ค่า Emission Factor (kgCO2 eq./หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
การได้มาของวัตถุดิบ	-จำนวนครั้งของการขนส่ง ทรัพยากร -ระยะทางในการขนส่ง ทรัพยากร -ประเภทของรถที่ใช้ในการขนส่ง	CO2	พลังงาน (เผาไหม้อยู่กับที่)	ลิตร	2.7080	IPCC Vol.2 table 2.2
			รถกระบะ4ล้อ(บรรทุกเต็ม)	ตัน-กม.	0.1472	TH database, TGO
			รถกระบะ4ล้อ(บรรทุกเปล่า)	กม.	0.3270	TH database, TGO
			รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุก75%)	ตัน-กม.	0.0691	TH database, TGO
			รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุก50%)	ตัน-กม.	0.0972	TH database, TGO
			รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุกเต็ม)	ตัน-กม.	0.0533	TH database, TGO
			รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุกเปล่า)	กม.	0.5900	TH database, TGO
การปฏิบัติการบินฝนหลวง	-จำนวนครั้งในการขึ้นบิน -ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง -ประเภทของเครื่องบินที่ใช้ในปฏิบัติการ	CO2	เครื่องบิน Caravan	LTO/ชม.	0.1365/0.5933	EPA 2015
			เครื่องบิน Casa	LTO/ชม.	0.2953/0.6592	EPA 2015
			น้ำมันเครื่องบิน (JetA1)	ตัน	0.3284	TH database, TGO
			เกลือแป้ง	ตัน	0.0056	TH database, TGO
			ยูเรีย	ตัน	3.2826	Ecoinvent 2.2
			น้ำแข็งแห้ง	ตัน	1	TH database, TGO
			แคลเซียมคลอไรด์	ตัน	0.8729	Ecoinvent 2.2
			แคลเซียมออกไซด์	ตัน	1.0215	Ecoinvent 2.2

3) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวง (Carbon footprint evaluation)

การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ Emission) จากการรวบรวมรายละเอียดปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง และ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สามารถใช้สำหรับคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂ Emission) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละปี โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4 และรายละเอียดการคำนวณจะถูกอธิบายเพิ่มเติมใน ภาคผนวก ข

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \text{Activity data} \times \text{Emission Factor} \quad (4)$$

โดย CO₂ Emission คือ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Activity data คือ ข้อมูลกิจกรรม หรือปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในกิจกรรม ซึ่งก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Emission Factor คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint)

นำผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂ Emission) มาใช้คำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) ของฝนหลวงโดยใช้ค่าปริมาณฝนที่ประเมินได้จากปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งอ้างอิงจากโครงการวิจัยย่อยที่ 1 และ 2 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 และรายละเอียดการคำนวณจะถูกอธิบายเพิ่มเติมใน ภาคผนวก ข

$$\text{Carbon Footprint} = \frac{\text{CO}_2 \text{ Emission}}{\text{Rainfall Data}} \quad (5)$$

โดย Carbon Footprint คือ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อ หน่วยของผลผลิต

CO₂ Emission คือ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Rainfall Data คือ ปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง

4) การแปลผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง และข้อเสนอแนะจากการศึกษา (Interpretation and recommendation)

2.2 ผลการวิจัย (Result)

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1

1) ผลการรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศ

ผลการรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ จำนวน 4 สถานี ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ ในช่วงเวลา 31 ปี (2533-2563) แสดงค่าเฉลี่ย และช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศ ได้ตั้ง **ตารางที่ 2-3** และแสดงการผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ ไว้ใน **ตารางที่ 2-4** ถึง 2-7

ตารางที่ 2-3 ค่าเฉลี่ยรายปี และช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศ ปี 2533-2563

สถานีตรวจวัด ภูมิอากาศ	ตัวแปรภูมิอากาศ	ค่าเฉลี่ย รายปี	ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ย รายเดือน
หัวหิน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.14	26.31 (ม.ค.) - 29.63 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	73.49	67.65 (ธ.ค.) - 77.75 (ต.ค.)
	ความเร็วลม (นอต)	2.30	1.60 (ก.ย.) - 2.90 (มี.ค.)
	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	24.18	21.56 (ธ.ค.) - 25.54 (พ.ค.)
	ปริมาณการระเหยจากผิวดิน (มม.)	1,692.60	118.3 (ต.ค.) - 174.2 (เม.ย.)
เพชรบุรี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.22	25.99 (ธ.ค.) - 29.87 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	76.49	71.98 (ธ.ค.) - 81.61 (ต.ค.)
	ความเร็วลม (นอต)	3.40	2.10 (ก.ย.) - 5.60 (มี.ค.)
	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	23.50	20.27 (ธ.ค.) - 25.06 (เม.ย.)
	ปริมาณการระเหยจากผิวดิน (มม.)	1,520.50	102.6 (พ.ย.) - 164.3 (เม.ย.)
ประจวบคีรีขันธ์	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.71	25.86 (ม.ค.) - 29.45 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	76.52	70.78 (ธ.ค.) - 81.86 (ต.ค.)
	ความเร็วลม (นอต)	2.70	1.80 (ต.ค.) - 3.60 (ธ.ค.)
	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	22.96	19.94 (ธ.ค.) - 24.64 (เม.ย.)
	ปริมาณการระเหยจากผิวดิน (มม.)	1,619.60	112.5 (ต.ค.) - 159.3 (เม.ย.)
หนองพลับ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.98	24.86 (ธ.ค.) - 28.90 (เม.ย.)
	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	77.04	70.42 (มี.ค.) - 85.37 (ต.ค.)
	ความเร็วลม (นอต)	1.70	1.10 (ก.ย.) - 2.30 (ธ.ค.)
	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	22.10	18.93 (ม.ค.) - 23.84 (พ.ค.)
	ปริมาณการระเหยจากผิวดิน (มม.)	1,554.60	97.7 (ต.ค.) - 184.9 (มี.ค.)

ตารางที่ 2-4 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยของสถานีหัวหิน ปี พ.ศ.2533-2563

ตัวแปรภูมิอากาศ	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.31	27.32	28.51	29.63	29.55	29.20	28.78	28.65	28.20	27.64	27.45	26.41
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	71.41	73.08	73.96	73.21	74.13	73.32	73.47	73.71	77.03	77.75	73.11	67.65
ความเร็วลม (นอต)	2.30	2.60	2.90	2.60	2.10	2.10	2.00	2.00	1.60	1.70	2.50	2.80
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	22.38	23.47	24.63	25.48	25.54	25.02	24.61	24.48	24.75	24.83	23.39	21.56
ปริมาณการระเหยจากผิวดิน (มม.)	130.90	133.10	166.20	174.20	162.40	142.60	138.90	136.50	126.60	118.30	124.20	138.70

ตารางที่ 2-5 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยของสถานีเพชรบุรี ปี พ.ศ.2533-2563

ตัวแปรภูมิอากาศ	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.16	27.48	28.76	29.87	29.75	29.32	28.89	28.77	28.38	27.93	27.38	25.99
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	74.49	76.26	77.47	76.12	76.09	75.61	76.15	76.48	79.66	81.61	75.96	71.98
ความเร็วลม (นอต)	3.10	4.30	5.60	4.90	3.50	3.00	2.80	2.60	2.10	2.30	3.00	3.30
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	21.02	22.74	24.29	25.06	24.91	24.39	24.09	24.06	24.36	24.31	22.52	20.27
ปริมาณการระเหยจากผิวดิน (มม.)	111.20	122.20	154.90	164.30	154.80	129.10	128.40	123.80	115.30	104.50	102.60	109.40

ตารางที่ 2-6 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยสถานีประจวบคีรีขันธ์ปี พ.ศ.2533-2563

ตัวแปรภูมิอากาศ	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25.86	26.89	28.19	29.45	29.23	28.64	28.08	27.95	27.93	27.31	27.00	25.98
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	75.37	76.80	77.26	76.49	76.51	75.96	76.95	77.20	77.31	81.86	75.79	70.78
ความเร็วลม (นอต)	2.40	2.50	2.80	2.70	2.50	2.70	2.80	2.80	2.40	1.80	3.20	3.60
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	20.84	22.19	23.60	24.64	24.44	23.77	23.45	23.39	23.37	23.74	22.10	19.94
ปริมาณการระเหยจากผิวดิน (มม.)	129.60	125.00	157.20	159.30	156.20	137.70	129.00	127.10	123.50	112.50	123.40	139.10

ตารางที่ 2-7 การผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศหลักเฉลี่ยจากของสถานีหนองพลับปี พ.ศ. 2549-2563

ตัวแปรภูมิอากาศ	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	24.98	26.40	28.07	28.90	28.39	27.89	27.48	27.44	27.04	26.46	25.90	24.86
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	71.95	71.76	70.42	72.53	78.62	79.55	79.31	79.18	82.05	85.37	80.05	73.68
ความเร็วลม (นอต)	2.10	2.20	2.20	1.90	1.30	1.40	1.30	1.30	1.10	1.20	2.00	2.30
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)	18.93	20.24	21.47	22.77	23.84	23.65	23.24	23.15	23.40	23.54	21.80	19.20
ปริมาณการระเหยจากผิวดิน (มม.)	131.80	144.60	184.90	173.20	140.60	119.50	118.00	115.80	107.30	97.70	99.30	121.90

2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ

จากข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) ณ ระดับซึ่งมีความดันของอากาศ (Air Pressure) ของที่ตั้งสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ (Precipitable Water) โดยการใช้โมโนกราฟในรูปที่ 1-2 หรือตารางที่ 1-1 ค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศคำนวณได้จากการใช้อุณหภูมิจุดน้ำค้างหรือความดันไอน้ำที่ผิวโลกและสมมติว่าจำนวนไอน้ำในบรรยากาศเท่ากับมวลอากาศซึ่งอิ่มด้วยไอน้ำ พร้อมกับมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแนวตั้งแบบมวลอากาศที่อิ่มตัว และมีความร้อนแฝงเกิดขึ้น (Saturation Pseudo-Adiabatic Lapse Rate)

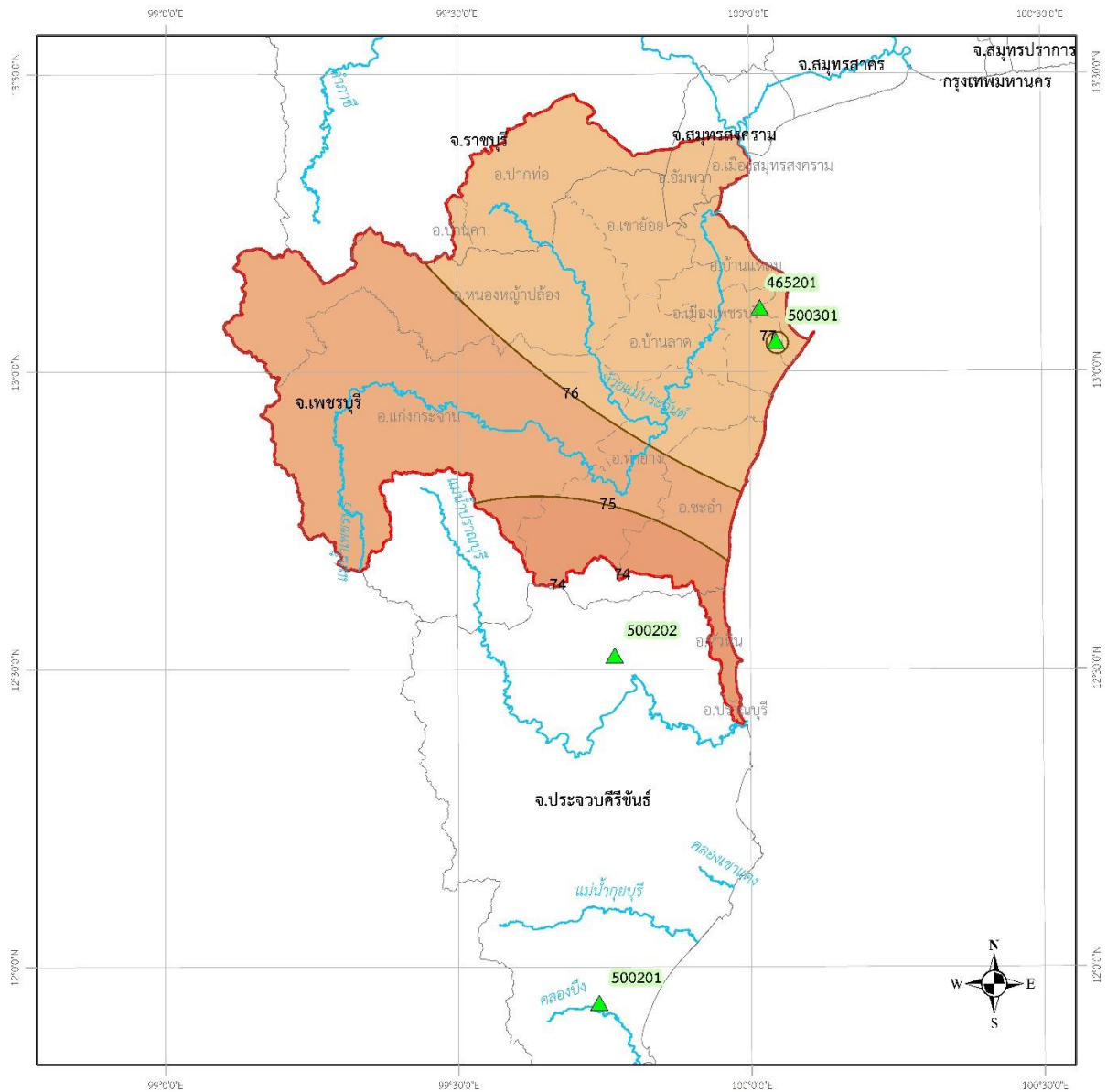
จากข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างราย 3 ชั่วโมง ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ ที่รวบรวมได้ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2524-2563 นำมาหาค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง และค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงสุดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาหาค่าปริมาณน้ำในบรรยากาศที่ระดับความสูง 200 มิลลิบาร์ในบรรยากาศ ได้ดังตารางที่ 2-8 ซึ่งพบว่า ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันเฉลี่ยที่สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ มีค่าอยู่ระหว่าง 51.23-75.15 มม. 53.33-80.78 มม. และ 52.31-77.88 มม. และ 48.85-73.24 มม. ตามลำดับ และปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันสูงสุดที่สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ มีค่าระหว่าง 60.21-84.19 มม. 61.56-92.32 มม. และ 60.97-89.82 มม. และ 55.65-81.01 มม. ตามลำดับ

3) ผลการศึกษาแพร่กระจายเชิงพื้นที่ของข้อมูลปริมาณน้ำในบรรยากาศ

การวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศ และปริมาณน้ำในบรรยากาศเชิงพื้นที่ ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศ จากผลการรวบรวมข้อมูลระยะยาว 31 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2533 ถึง 2563 ของสถานี ของสถานีตรวจวัดอากาศหัวหิน สถานีตรวจวัดอากาศเพชรบุรี สถานีตรวจวัดอากาศประจวบคีรีขันธ์ และสถานีตรวจวัดอากาศหนองพลับ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลรายเดือนเฉลี่ย และรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำเพชรบุรี ได้แก่ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ดังแสดงในรูปที่ 2-8 และ 2-9 ข้อมูลอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2-10 และ 2-11 ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ดังรูปที่ 2-12 และ 2-13 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ปริมาณการระเหยจากผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 2-14 และ 2-15 ข้อมูลผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย ในรูปที่ 2-16 และ 2-17 และผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2-18 และ 2-19

ตารางที่ 2-8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ยและสูงสุดรายเดือนและรายปีจากค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายวันและสูงสุดรายวัน

สถานีตรวจวัด	ค่าทางสถิติ	ปริมาณน้ำในบรรยากาศ (มม.)												เฉลี่ยรายปี (มม.)
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
ภูมิอากาศหัวหิน	เฉลี่ย	54.82	62.38	68.79	74.53	75.15	71.63	69.58	69.14	71.24	72.50	63.37	51.23	67.03
	สูงสุด	64.38	71.42	78.14	84.06	84.19	80.30	78.06	77.07	79.00	79.45	71.11	60.21	84.19
เพชรบุรี	เฉลี่ย	57.24	67.38	75.38	80.78	79.71	75.99	74.10	73.94	76.19	75.95	66.22	53.33	71.35
	สูงสุด	67.42	77.87	85.84	92.32	90.74	86.74	84.84	83.88	84.89	83.07	73.23	61.56	92.32
ประจวบคีรีขันธ์	เฉลี่ย	56.42	64.42	71.35	77.88	76.96	72.63	70.42	70.14	70.46	72.35	63.92	52.31	68.27
	สูงสุด	66.38	74.60	82.11	89.82	88.42	82.21	78.89	78.10	78.70	80.34	72.11	60.97	89.82
หนองพลับ	เฉลี่ย	48.85	54.17	59.83	66.95	73.24	72.06	69.53	68.97	70.44	71.39	61.95	49.89	63.94
	สูงสุด	55.65	61.74	69.04	75.61	81.01	79.34	76.45	75.97	78.02	78.43	68.81	56.33	81.01



ความขึ้นสัมพันธ์เฉลี่ย 31 ปี (ค.ศ. 1990-2020)

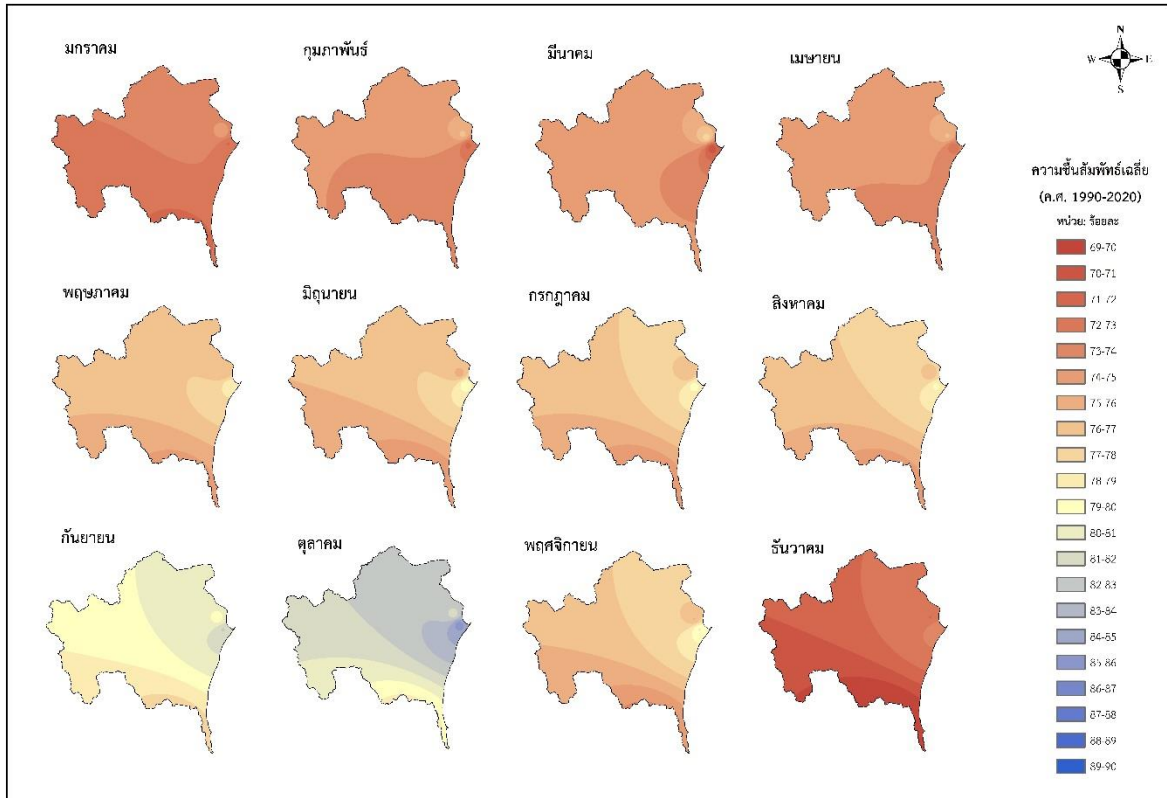
สัญลักษณ์

- สถานีตรวจวัดภูมิอากาศ_กรมอุตุฯ
- ลำน้ำสายหลัก
- ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี
- ขอบเขตจังหวัด
- ขอบเขตอำเภอ

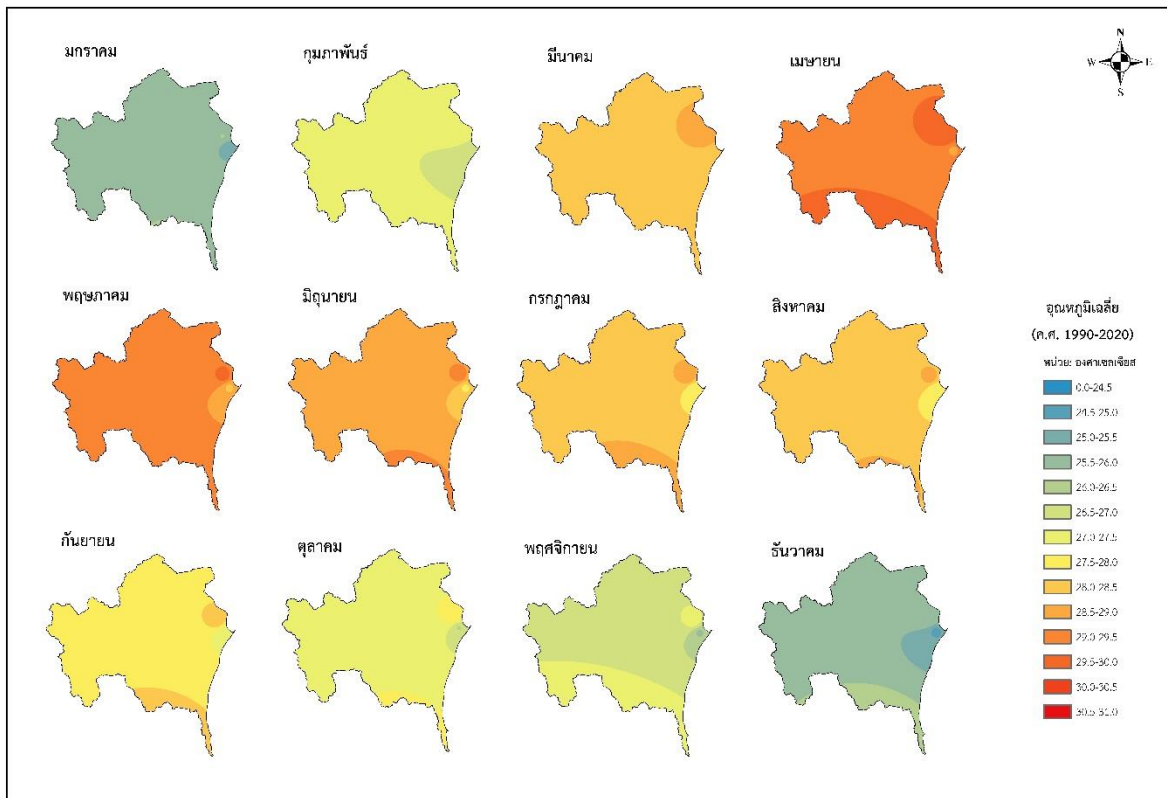
69-70	80-81
70-71	81-82
71-72	82-83
72-73	83-84
73-74	84-85
74-75	85-86
75-76	86-87
76-77	87-88
77-78	88-89
78-79	89-90
79-80	

หน่วย: ร้อยละ

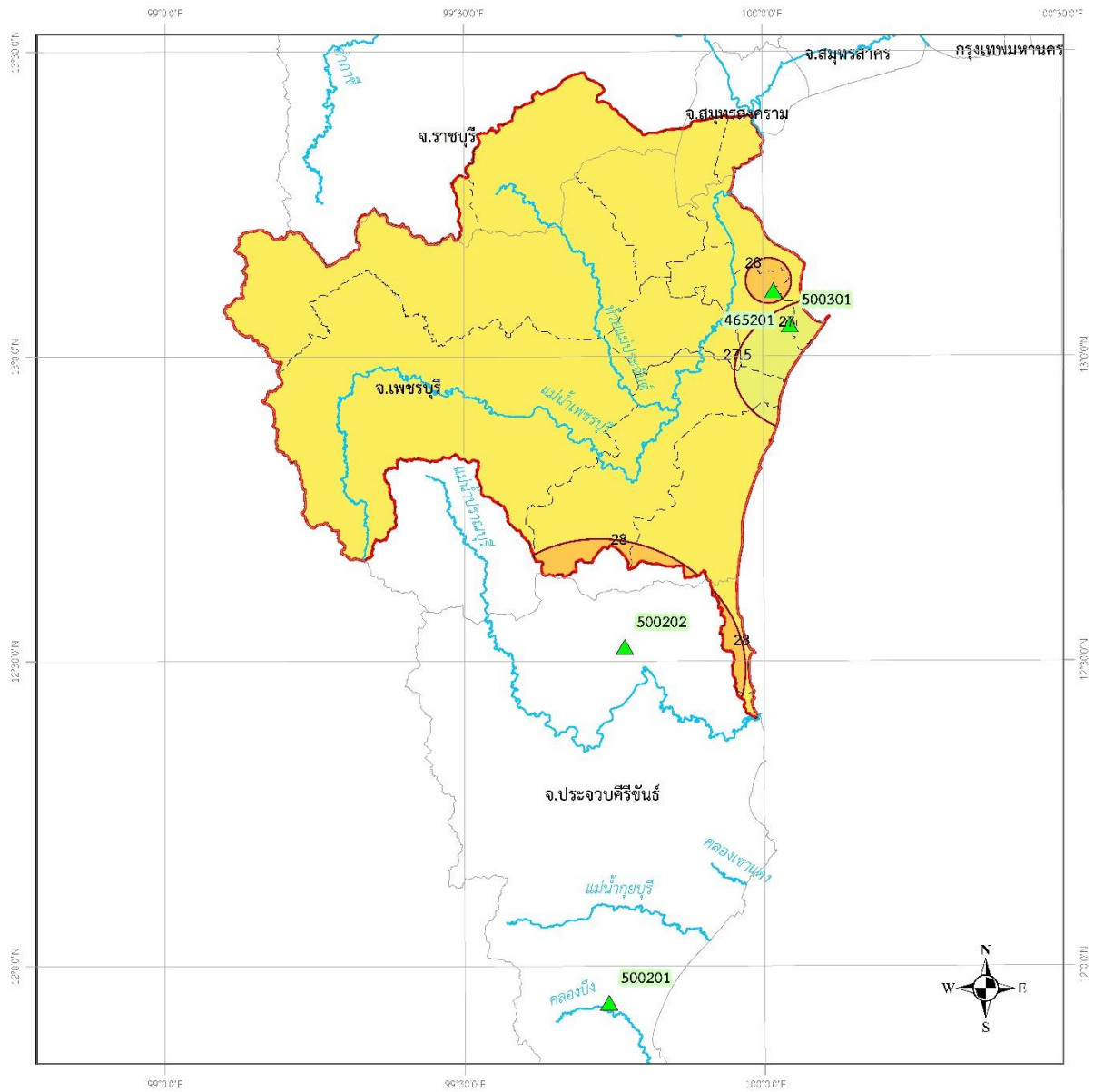
รูปที่ 2-8 ผลการวิเคราะห์ความขึ้นสัมพันธ์รายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี








รูปที่ 2-9 ผลการวิเคราะห์ความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี



รูปที่ 2-10 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี



สัญลักษณ์

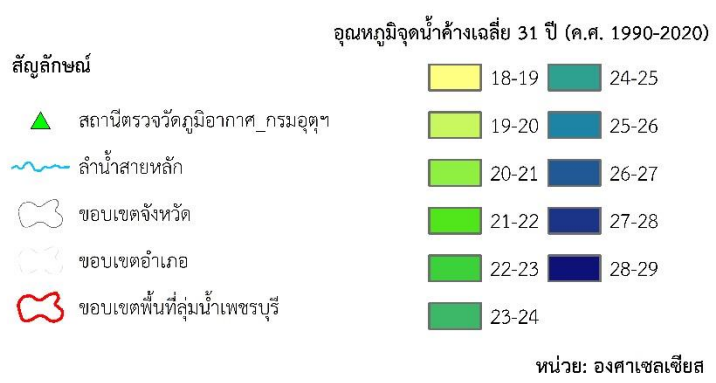
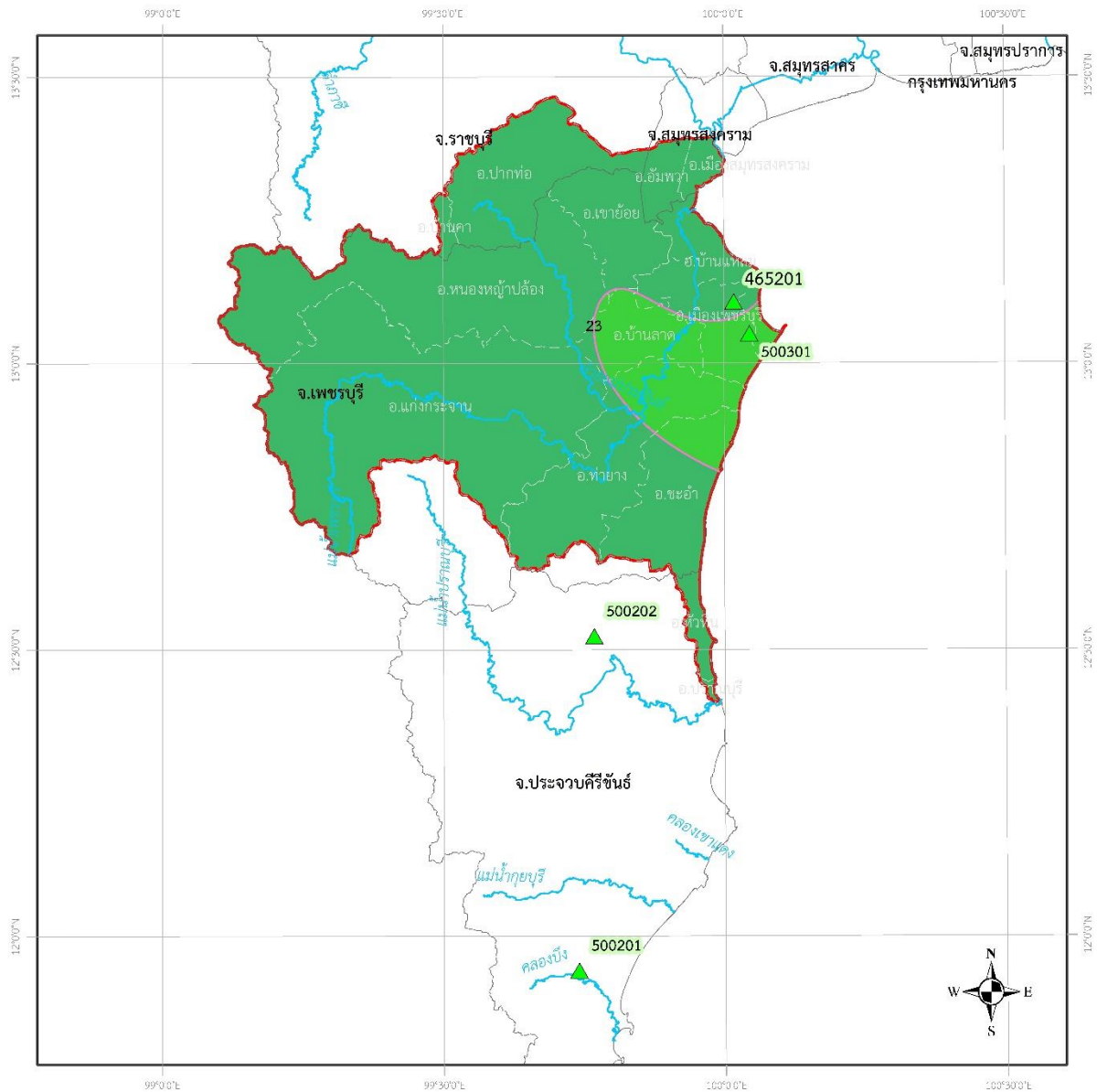
-  สถานีตรวจวัดภูมิอากาศ_กรมอุตุนิยมวิทยา
-  ลำน้ำสายหลัก
-  ขอบเขตจังหวัด
-  ขอบเขตอำเภอ
-  ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

อุณหภูมิเฉลี่ย 31 ปี (ค.ศ. 1990-2020)

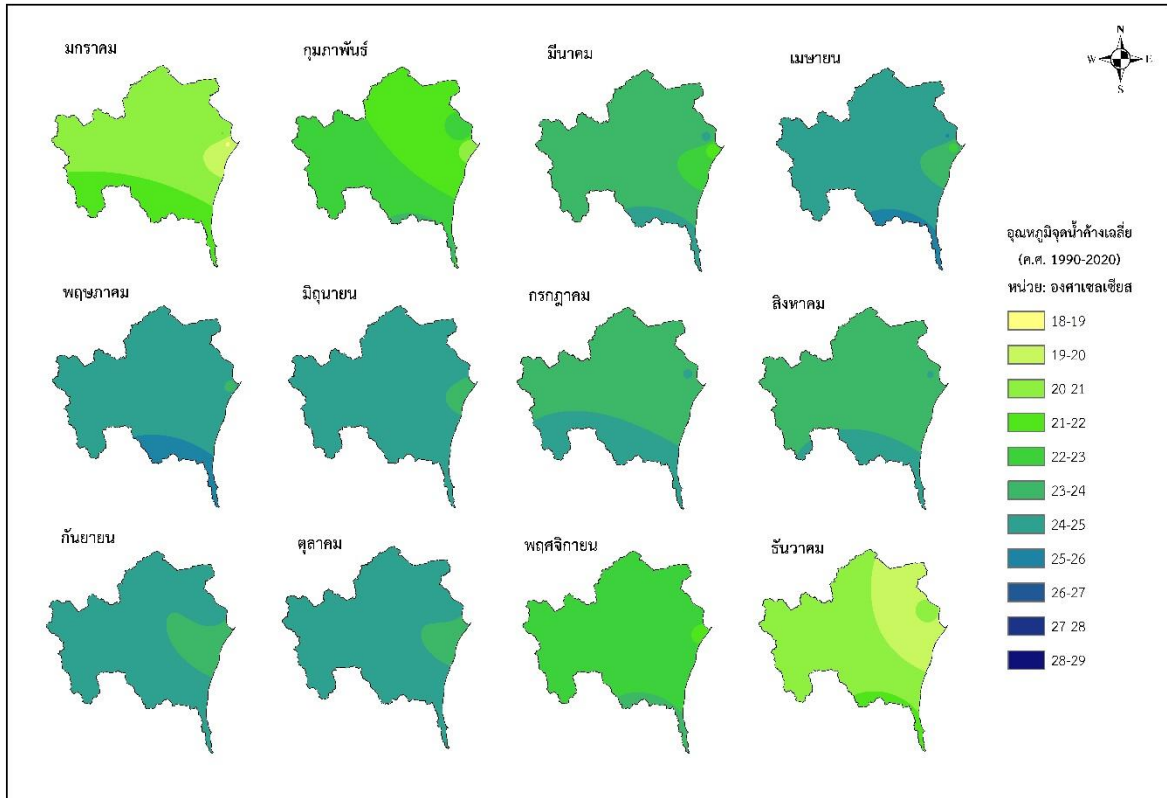
0.0-24.5	27.5-28.0
24.5-25.0	28.0-28.5
25.0-25.5	28.5-29.0
25.5-26.0	29.0-29.5
26.0-26.5	29.5-30.0
26.5-27.0	30.0-30.5
27.0-27.5	30.5-31.0

หน่วย: องศาเซลเซียส

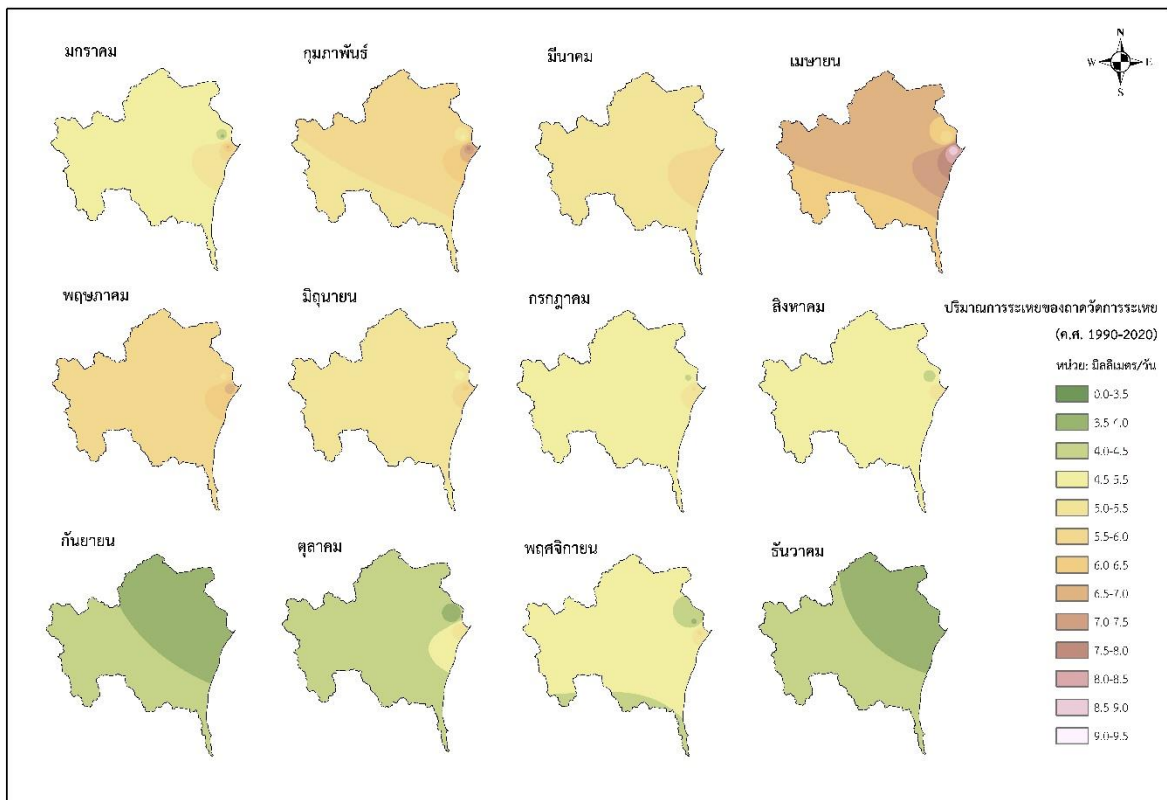
รูปที่ 2-11 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี



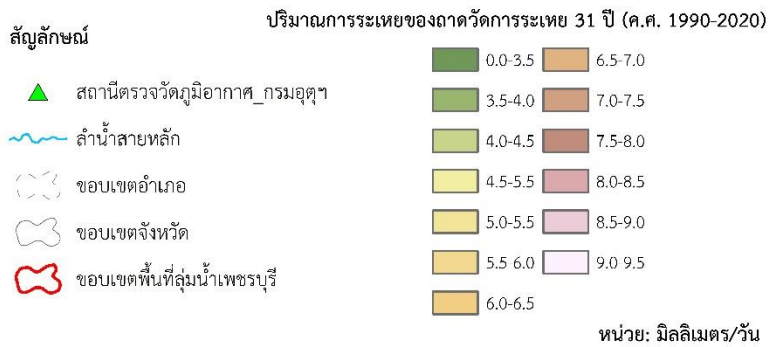
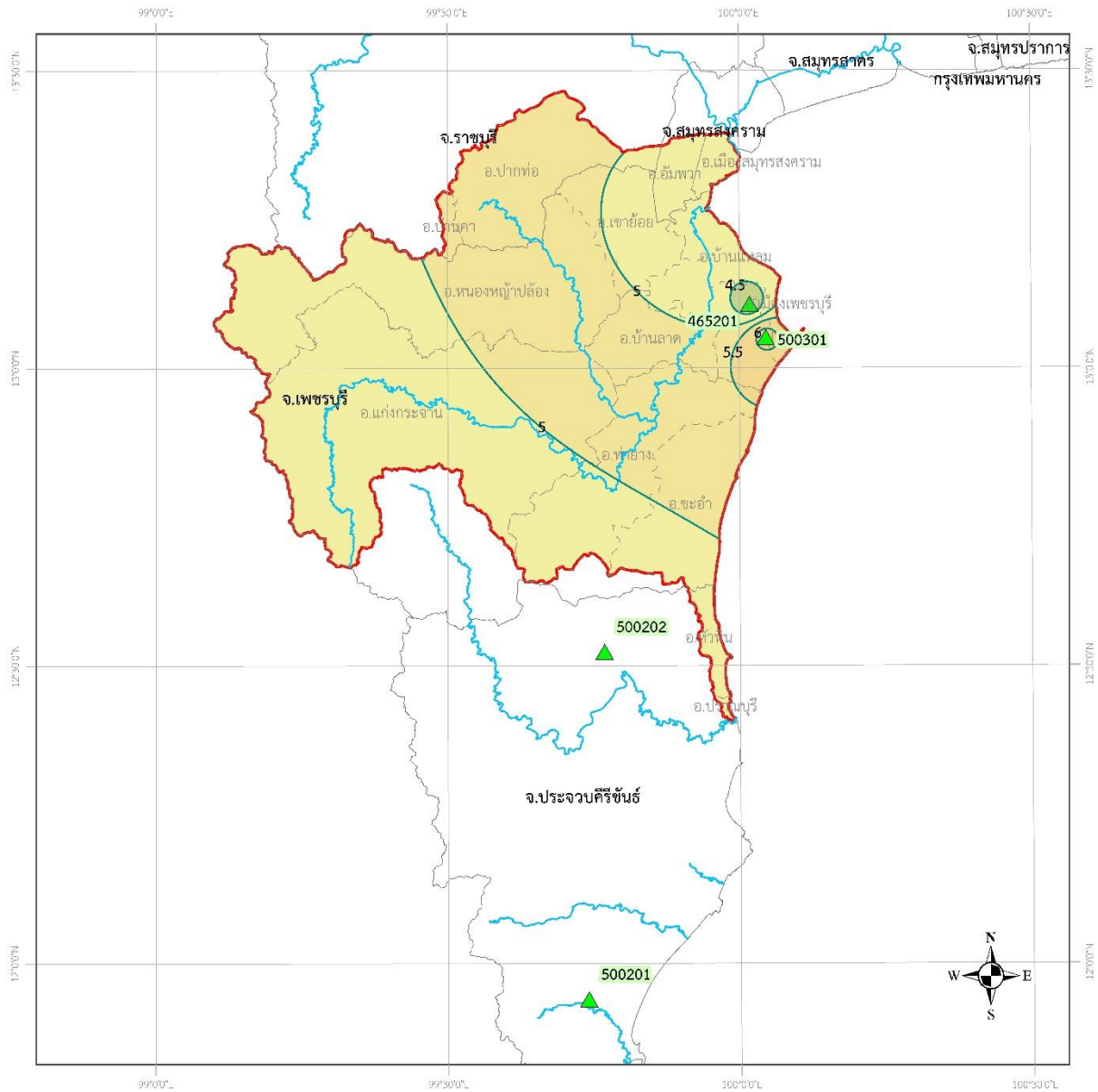
รูปที่ 2-12 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิจุดน้ำค้างรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี



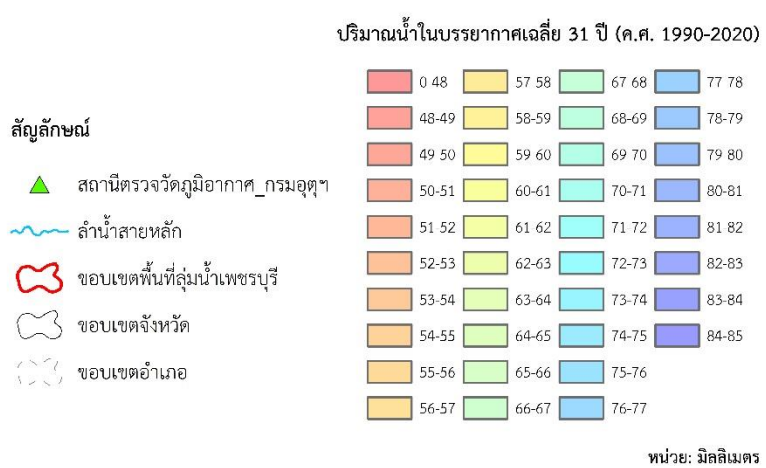
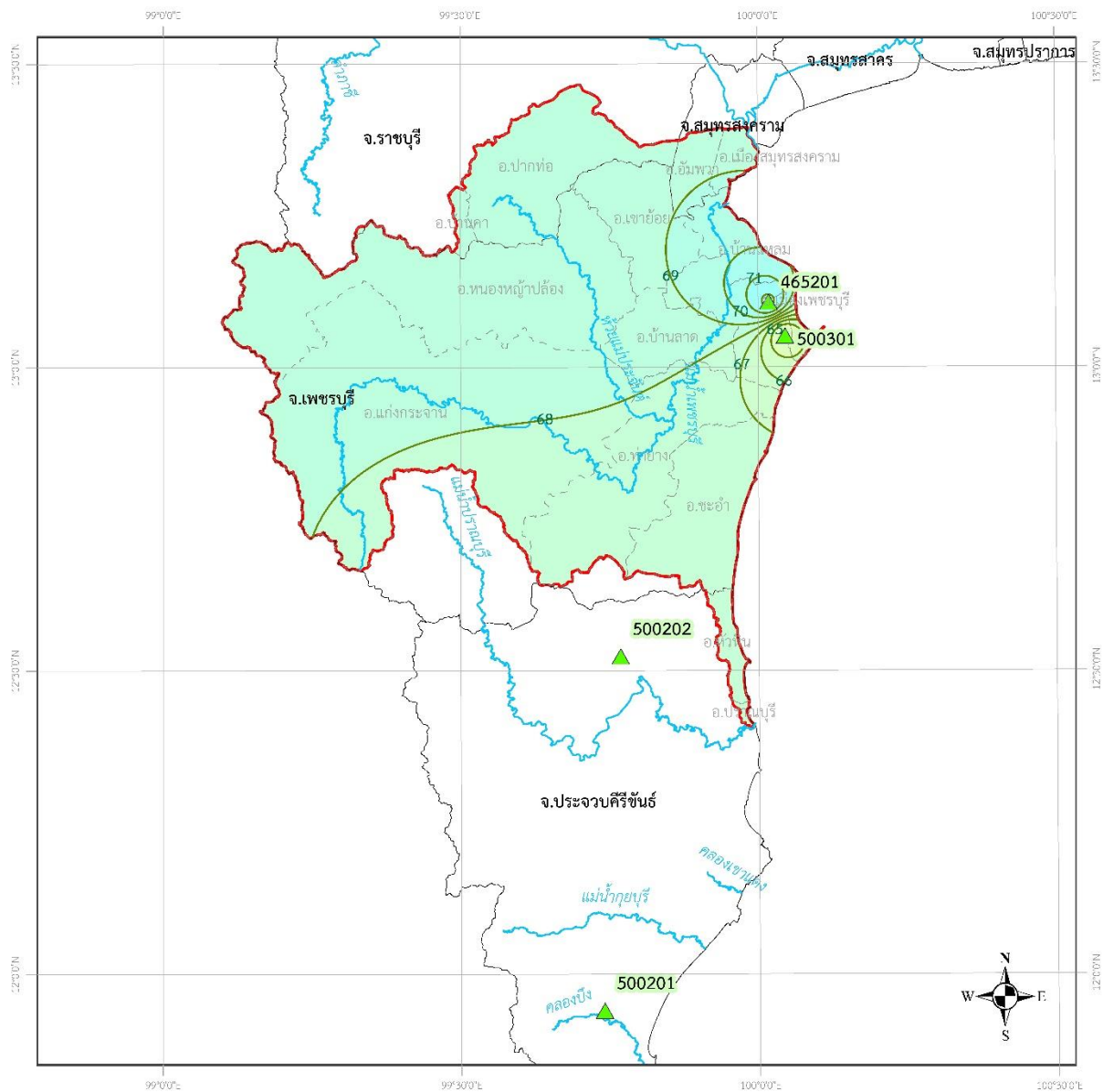
รูปที่ 2-13 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิจุดน้ำค้างรายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี



รูปที่ 2-14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการระเหยจากผิวดินรายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี



รูปที่ 2-15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการระเหยจากถาดรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี



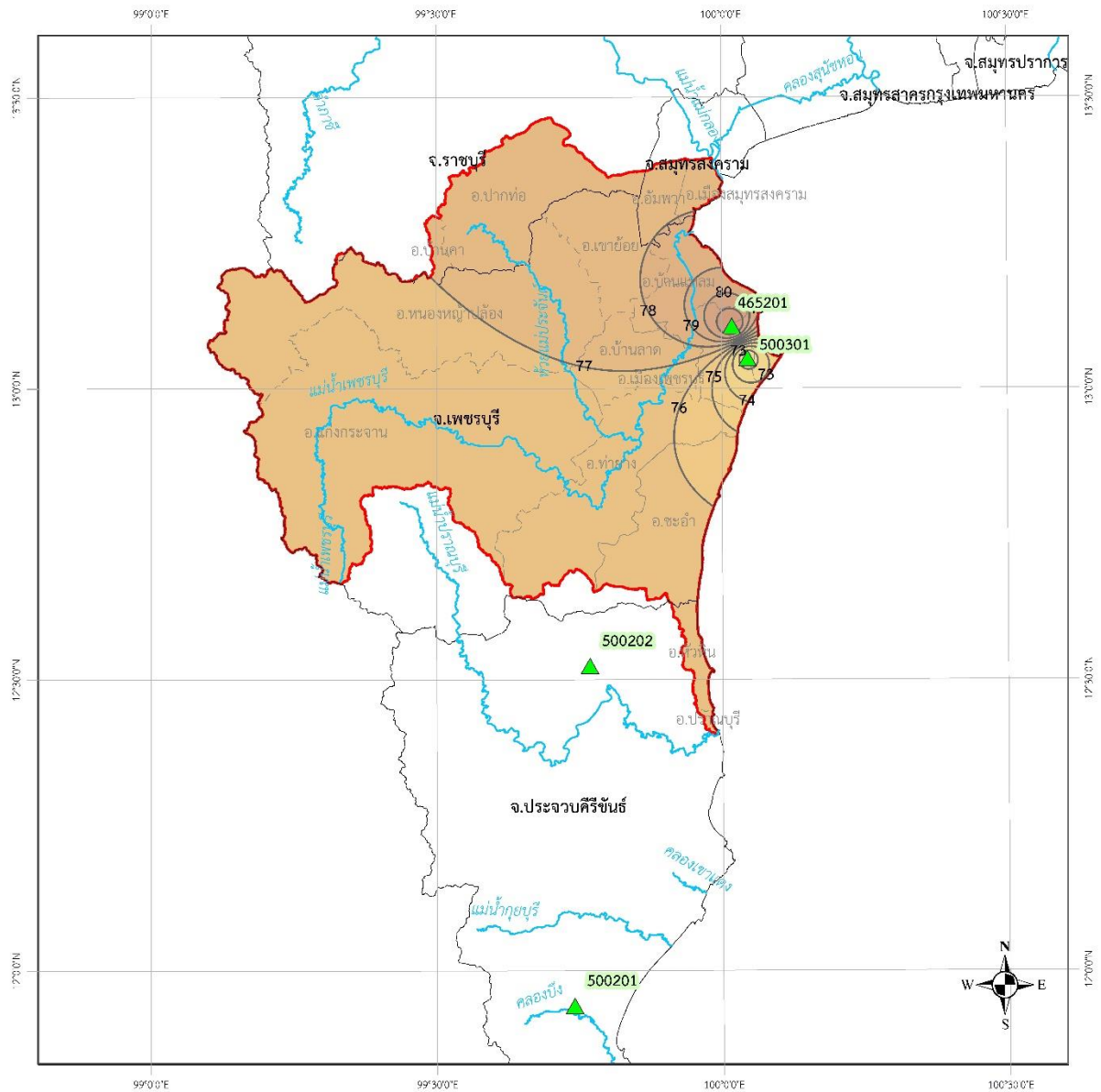
รูปที่ 2-16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของลุ่มน้ำเพชรบุรี



รูปที่ 2-17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี



รูปที่ 2-18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุดรายเดือนเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี



สัญลักษณ์

- สถานีตรวจวัดภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา
- ลำน้ำสายหลัก
- ขอบเขตลุ่มน้ำเพชรบุรี
- ขอบเขตจังหวัด
- ขอบเขตอำเภอ

ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด 31 ปี (ค.ศ. 1990-2020)

55-56	65-66	75-76	85-86
56-57	66-67	76-77	86-87
57-58	67-68	77-78	87-88
58-59	68-69	78-79	88-89
59-60	69-70	79-80	89-90
60-61	70-71	80-81	90-91
61-62	71-72	81-82	91-92
62-63	72-73	82-83	92-93
63-64	73-74	83-84	93-94
64-65	74-75	84-85	94-95

หน่วย: มิลลิเมตร

รูปที่ 2-19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุดรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเพชรบุรี

4) ผลการวิเคราะห์ตัวแปรภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศสำหรับการทำฝนหลวง

ผลของการวิเคราะห์ตัวแปรภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศสำหรับการทำฝนหลวง จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่สำคัญได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย และปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด ในช่วงปี 2533-2563 รวมทั้งข้อมูลปริมาณฝนรายวัน และจำนวนวันฝนตก สามารถนำมาวิเคราะห์โอกาสการเกิดฝนตามช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่ทำฝนหลวงและเกิดฝนตกในแต่ละปี โดยมีจำนวนวันปฏิบัติการฝนหลวงจำนวน 211 วัน ในช่วงปี 2560-2563 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-9 ถึง 2-12 สำหรับผลการวิเคราะห์ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหลักทั้ง 4 สถานีในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง

จากข้อมูลรายวันช่วงปี 2560-2563 ในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์สำหรับสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 71-80 คิดเป็นร้อยละ 74.42 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 81-90 คิดเป็นร้อยละ 74.69 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจวบคีรีขันธ์ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 71-90 คิดเป็นร้อยละ 85.98 และสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหนองพลับ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 71-80 คิดเป็นร้อยละ 51.67

สำหรับตัวแปรภูมิอากาศ ความเร็วลม พบว่า สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความเร็วลม 11-20 นอต คิดเป็นร้อยละ 83.81 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความเร็วลม 21-30 นอต คิดเป็นร้อยละ 82.55 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจวบคีรีขันธ์ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความเร็วลม 11-20 นอต คิดเป็นร้อยละ 76.55 และสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหนองพลับ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความเร็วลม 11-20 นอต คิดเป็นร้อยละ 85.31

สำหรับปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย พบว่า สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน ส่วนใหญ่ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย อยู่ในช่วง 71-90 มม. คิดเป็นร้อยละ 97.08 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี ส่วนใหญ่ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย อยู่ในช่วง 81-100 มม. คิดเป็นร้อยละ 70.19 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจวบคีรีขันธ์ ส่วนใหญ่ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย อยู่ในช่วง 71-90 มม. คิดเป็นร้อยละ 90.05 และสถานีตรวจวัดภูมิอากาศหนองพลับ ส่วนใหญ่ปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย อยู่ในช่วง 50-70 มม. คิดเป็นร้อยละ 51.21

สำหรับปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด พบว่า สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน ส่วนใหญ่ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด อยู่ในช่วง 81-100 มม. คิดเป็นร้อยละ 88.70 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศเพชรบุรี ส่วนใหญ่ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด อยู่ในช่วง 91-110 มม. คิดเป็นร้อยละ 65.06 สถานีตรวจวัดภูมิอากาศประจวบคีรีขันธ์ ส่วนใหญ่ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด อยู่ในช่วง 81-100 มม. คิดเป็นร้อยละ 76.31 และ

สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหนองพลับ ส่วนใหญ่ปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด อยู่ในช่วง 60-80 มม. คิดเป็นร้อยละ 62.46

ตารางที่ 2-9 ผลการวิเคราะห์ช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน

ตัวแปร ภูมิอากาศ	ช่วงค่า ข้อมูล	ร้อยละของค่าตัวแปรภูมิอากาศในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง				
		ปี 2560	ปี 2561	ปี 2562	ปี 2563	เฉลี่ย
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	60-70	6.52	0.00	32.26	13.21	13.00
	71-80	66.30	85.71	64.52	81.13	74.42
	81-90	21.74	14.29	3.23	5.66	11.23
	91-100	5.43	0.00	0.00	0.00	1.36
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ความเร็วลม (นอต)	0-10	10.11	8.57	6.45	0.00	6.28
	11-20	82.02	85.71	87.10	80.39	83.81
	21-30	7.87	5.71	6.45	19.61	9.91
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณน้ำในบรรยากาศ เฉลี่ย (มม.)	50-70	5.43	0.00	0.00	1.89	1.83
	71-90	90.22	100.00	100.00	98.11	97.08
	> 90	4.35	0.00	0.00	0.00	1.09
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณน้ำในบรรยากาศ สูงสุด (มม.)	60-80	11.96	5.71	3.23	9.43	7.58
	81-100	81.52	94.29	90.32	88.68	88.70
	> 100	6.52	0.00	6.45	1.89	3.72
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ 2-10 ผลการวิเคราะห์ช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง สถานีตรวจวัด
ภูมิอากาศเพชรบุรี

ตัวแปร ภูมิอากาศ	ช่วงค่า ข้อมูล	ร้อยละของค่าตัวแปรภูมิอากาศในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง				
		ปี 2560	ปี 2561	ปี 2562	ปี 2563	เฉลี่ย
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	60-70	9.78	0.00	9.68	5.66	8.13
	71-80	68.48	71.43	64.52	94.34	6.28
	81-90	21.74	28.57	25.81	0.00	74.69
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	89.11
ความเร็วลม (นอต)	0-10	13.04	8.57	9.68	5.77	19.03
	11-20	83.70	85.71	83.87	76.92	9.27
	21-30	2.17	5.71	6.45	17.31	82.55
	> 30	1.09	0.00	0.00	0.00	7.91
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	118.76	
ปริมาณน้ำในบรรยากาศ เฉลี่ย (มม.)	60-80	38.04	31.43	16.13	20.75	26.59
	81-100	61.96	68.57	70.97	79.25	70.19
	> 100	0.00	0.00	12.90	0.00	3.23
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณน้ำในบรรยากาศ สูงสุด (มม.)	70-90	38.04	37.14	12.90	20.75	27.21
	91-110	61.96	62.86	58.06	77.36	65.06
	> 110	0.00	0.00	29.03	1.89	7.73
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ 2-11 ผลการวิเคราะห์ช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง สถานีตรวจวัด
ภูมิอากาศประจวบคีรีขันธ์

ตัวแปร ภูมิอากาศ	ช่วงค่า ข้อมูล	ร้อยละของค่าตัวแปรภูมิอากาศในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง				
		ปี 2560	ปี 2561	ปี 2562	ปี 2563	เฉลี่ย
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	50-70	10.87	0.00	35.48	7.55	13.48
	71-90	86.96	100.00	64.52	92.45	85.98
	> 90	2.17	0.00	0.00	0.00	0.54
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ความเร็วลม (นอต)	0-10	7.87	14.29	0.00	21.15	10.83
	11-20	75.28	82.86	75.00	73.08	76.55
	21-30	16.85	2.86	25.00	5.77	12.62
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณน้ำในบรรยากาศ เฉลี่ย (มม.)	60-70	8.70	2.86	19.35	1.89	8.20
	71-80	57.61	54.29	51.61	50.94	53.61
	81-90	33.70	42.86	25.81	43.40	36.44
	> 90	0.00	0.00	3.23	3.77	1.75
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณน้ำในบรรยากาศ สูงสุด (มม.)	70-80	17.39	2.86	19.35	11.32	12.73
	81-90	51.09	37.14	38.71	28.30	38.81
	91-100	29.35	51.43	25.81	43.40	37.49
	> 100	2.17	8.57	16.13	16.98	10.96
	รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ 2-12 ผลการวิเคราะห์ช่วงข้อมูลภูมิอากาศหลักในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง สถานีตรวจวัด
ภูมิอากาศหนองพลับ

ตัวแปร ภูมิอากาศ	ช่วงค่า ข้อมูล	ร้อยละของค่าตัวแปรภูมิอากาศในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง				
		ปี 2560	ปี 2561	ปี 2562	ปี 2563	เฉลี่ย
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	50-60	2.17	0.00	0.00	3.77	1.49
	61-70	14.13	2.86	22.58	47.17	21.68
	71-80	52.17	65.71	54.84	33.96	51.67
	81-90	29.35	25.71	22.58	15.09	23.18
	91-100	2.17	5.71	0.00	0.00	1.97
	รวม		100.00	100.00	100.00	100.00
ความเร็วลม (นอต)	0-10	6.67	5.71	3.23	0.00	3.90
	11-20	84.44	88.57	87.10	81.13	85.31
	21-30	8.89	5.71	9.68	18.87	10.79
	รวม		100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณน้ำในบรรยากาศ เฉลี่ย (มม.)	30-50	2.17	0.00	0.00	0.00	0.54
	50-70	46.74	57.14	38.71	62.26	51.21
	71-90	51.09	42.86	61.29	37.74	48.24
	รวม		100.00	100.00	100.00	100.00
ปริมาณน้ำในบรรยากาศ สูงสุด (มม.)	50-60	1.09	0.00	0.00	3.77	1.22
	60-80	66.30	68.57	45.16	69.81	62.46
	81-100	32.61	31.43	54.84	26.42	36.32
	รวม		100.00	100.00	100.00	100.00

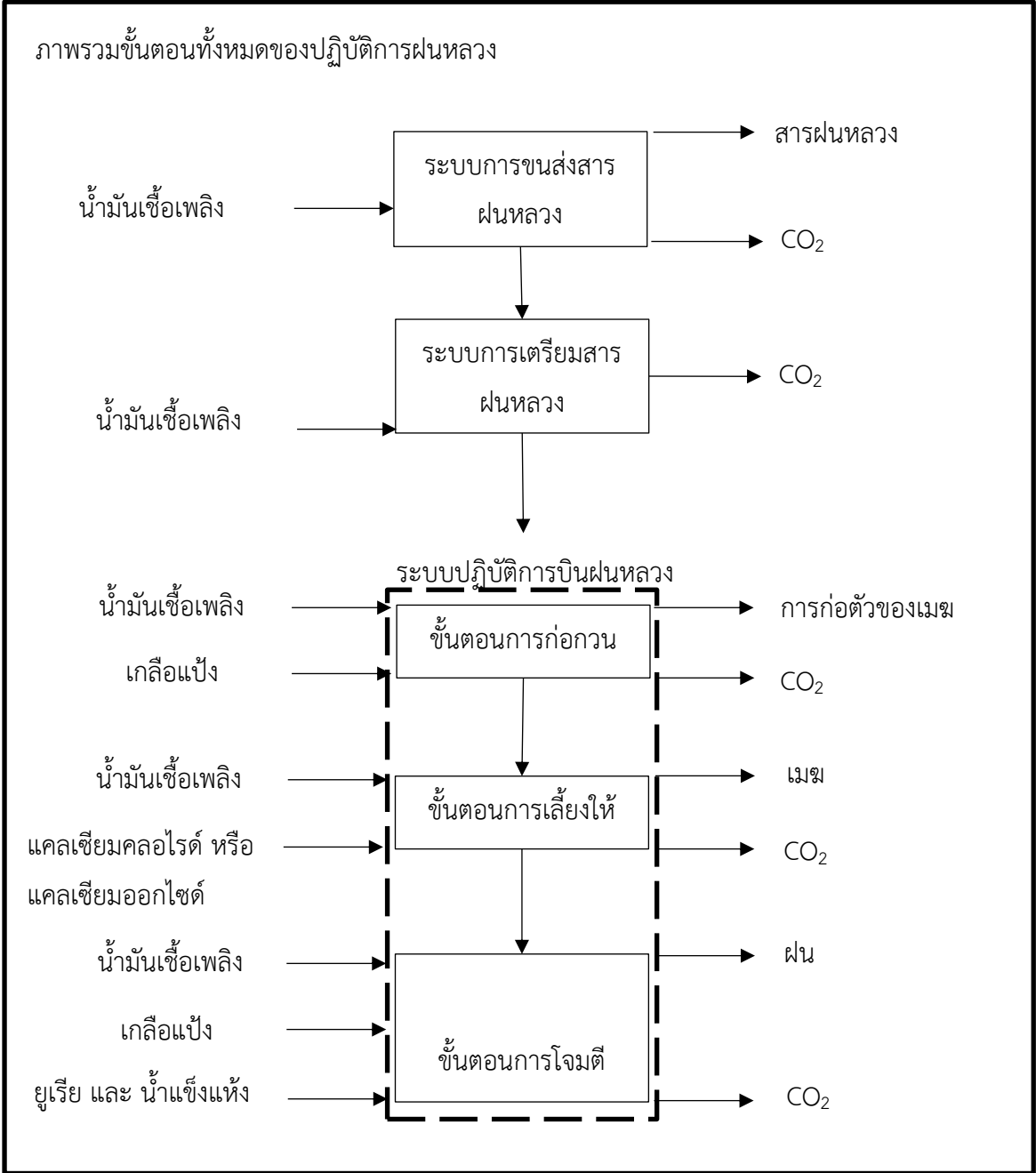
ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ดำเนินการโดยนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment (LCA) มาช่วยในการประเมิน โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลปฏิบัติการฝนหลวง กำหนดเป้าหมายและขอบเขต จัดทำเป็นตารางบัญชีรายการ (Inventory) การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ และการแปลผลการศึกษา ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) รายละเอียดและปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง 2) ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) และ 3) ผลผลิตหรือเป้าหมายคือปริมาณฝนซึ่งได้จากปฏิบัติการฝนหลวง

ข้อมูลของปฏิบัติการฝนหลวง ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ย้อนหลังเป็นเวลา 4 ปี ตั้งแต่พ.ศ.2561-2564 ทำการพิจารณาเป็นรายปี ประกอบด้วยข้อมูลทรัพยากรต่างๆที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง และการประเมินปริมาณฝนที่เกิดจากปฏิบัติการฝนหลวง เพื่อนำข้อมูลต่างๆ มาจัดทำบัญชีรายการ (inventory) โดยกำหนดหน่วยวัด (functional unit) เป็นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปฏิบัติการฝนหลวงต่อปริมาณฝนที่ประเมินได้จากปฏิบัติการในแต่ละครั้งตลอด 4 ปีของปฏิบัติการ เนื่องจากในการประเมินปริมาณน้ำฝนนั้นทางทีมวิจัยโดยโครงการวิจัยย่อยที่ 1 และ 2 ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ไว้ประกอบด้วย 1) การประเมินจากฝนสถานีด้วยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) 2) การประเมินจากฝนเรดาร์ และ 3) การประเมินจากฝนดาวเทียม (ดาวเทียม JAXA) ที่มีการปรับค่าด้วยฝนสถานีแล้ว ผลการศึกษาจะลำดับตามกระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment; LCA) ดังต่อไปนี้

1) การเตรียมข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีรายการ

จากการศึกษาและทวนสอบเอกสารเกี่ยวกับที่มาและขั้นตอนในการปฏิบัติการฝนหลวงสามารถนำมาเขียนเป็นขั้นตอนปฏิบัติการ (Process flow diagram) เพื่อเตรียมข้อมูลจัดทำบัญชีรายการดังแสดงในรูปที่ 2-20 การศึกษาครั้งนี้จะแบ่งระบบของปฏิบัติการฝนหลวงออกเป็น 3 ระบบหลัก ได้แก่ 1) ระบบการขนส่งสารฝนหลวง 2) ระบบการเตรียมสารฝนหลวง 3) ระบบปฏิบัติการบินฝนหลวง โดยระบบปฏิบัติการบินฝนหลวงภายในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีที่ผ่านมาได้ถูกกำหนดใช้วิธีปฏิบัติการโจมตีแบบ ประกอบเมฆอุ่นแบบแซนด์วิช ในการโจมตีเพื่อให้เกิดฝนตก



รูปที่ 2-20 ขั้นตอนของระบบปฏิบัติการฝนหลวงที่พิจารณาในการศึกษานี้

จากรูปที่ 2-20 Input หมายถึง ทรัพยากรที่ใช้ไปในปฏิบัติการ Output หมายถึง ผลลัพธ์ที่ได้จากปฏิบัติการ โดยในแต่ละขั้นตอนนี้จะมีการใช้ทรัพยากรที่แตกต่างกันออกไป เมื่อนำ Input และ Output มาวิเคราะห์ทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการ สามารถแสดงรายละเอียดดังนี้

1. ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ประกอบด้วย น้ำมันเครื่องบิน, ยูเรีย, น้ำแข็งแห้ง, แคลเซียมออกไซด์, แคลเซียมคลอไรด์, และเกลือแป้ง ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูล โดยขอความอนุเคราะห์ ข้อมูลปริมาณน้ำมัน และสารฝนหลวงที่ใช้สำหรับปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2561-2564 จากกรมฝนหลวง และการบินเกษตร ดังแสดงในตารางที่ 2-13 รายละเอียดการขนส่งสารฝนหลวงจากรายงานตรวจรับสารฝนหลวง ดังแสดงในตารางที่ 2-14 และรายละเอียดขั้นตอนการเตรียมสารฝนหลวงซึ่งรายละเอียดของข้อมูลใช้สำหรับการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะอธิบายเพิ่มเติมไว้ใน ภาคผนวก ก

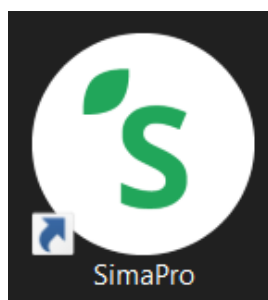
ตารางที่ 2-13 สรุปปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2564

รายการ		ปริมาณทรัพยากร				
		2561	2562	2563	2564	หน่วย
input	รายละเอียด					
เที่ยวบิน		156	289	195	178	ครั้ง
ชั่วโมงบิน		105:20	360:50	200:15	262:55	ชั่วโมง
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	21,066.66	72,166.67	40,050.00	52,583.33	ลิตร
สารฝนหลวงสูตรเย็น						
ยูเรีย	สูตร4	9.90	34.30	16.10	35.70	ตัน
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	8.30	30.10	13.20	10.30	ตัน
สารฝนหลวงสูตรร้อน						
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	15.40	-	4.60	64.95	ตัน
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	-	28.70	34.80	0	ตัน
สารฝนหลวงสร้างแกนกลั่นตัว						
เกลือแป้ง	สูตร1	25.30	105.00	62.70	64.20	ตัน

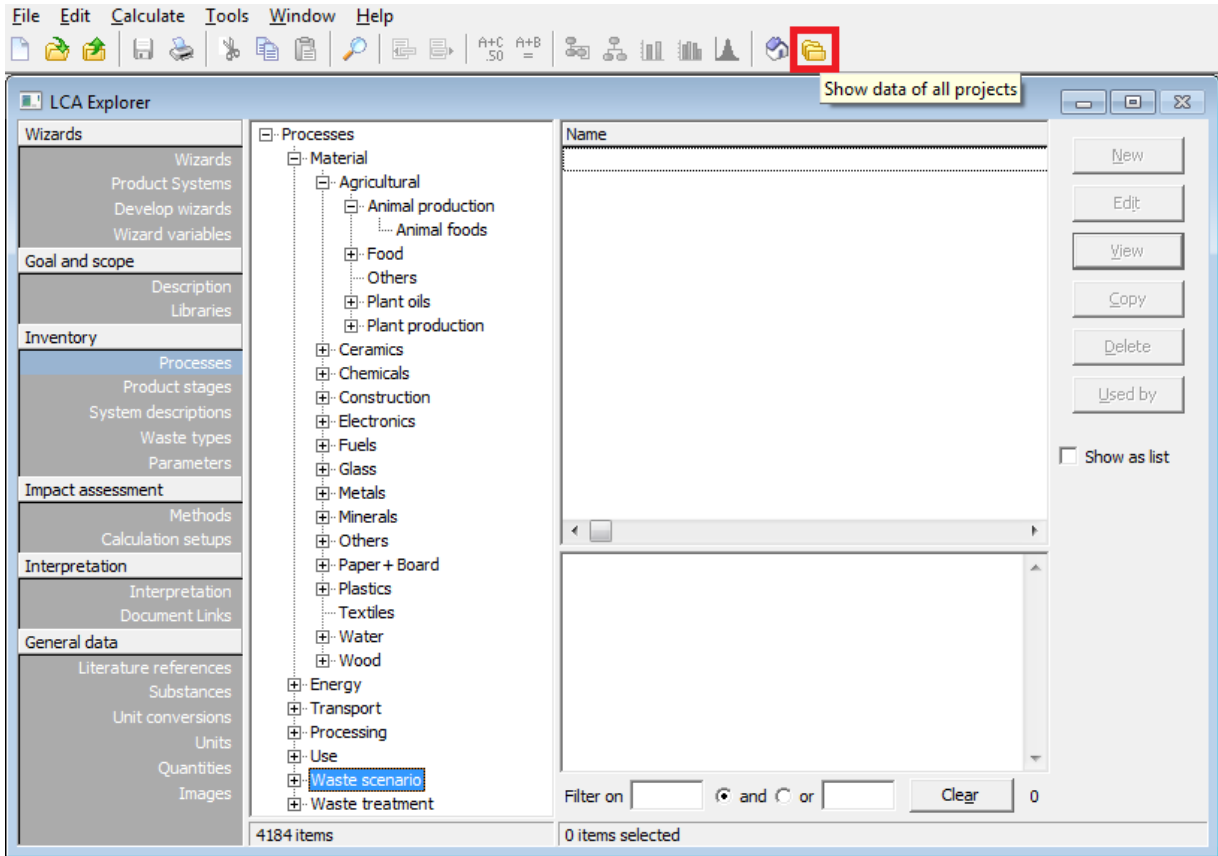
ตารางที่ 2-14 รายการตรวจรับสารฝนหลวง ของหน่วยปฏิบัติการฝนหลวงหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ที่	สัญญาที่	วันที่	จำนวน/ ตัน	ตรวจรับ	ผู้ขาย/บริษัท
1	สูตร 1 4/2 เกลือแป้ง วส./ผล. 14/2560	30 ธ.ค. 59	100	21 ก.พ. 60	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เตียมุยงวง จังหวัดเพชรบุรี
2	สูตร 1 4/2 เกลือแป้ง วส./ผล. 43/2563	3 ก.ย. 63	70	10 ก.ย. 63	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เตียมุยงวง จังหวัดเพชรบุรี
3	สูตร 1 4/2 เกลือแป้ง วส./ผล. 14/2564	28 ม.ค. 64	100	4 มี.ค. 64	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เตียมุยงวง จังหวัดเพชรบุรี
4	สูตร 4 ยูเรีย วส./ผล.27/2560	31 มี.ค. 60	100	23 พ.ค. 60	บริษัท เทอราโกร ไบโอ-เทค จำกัด จังหวัด กรุงเทพมหานคร (นายพนพล น้ำดอกไม้)
5	สูตร 4 ยูเรีย วส./ผล.25/2561	26 มิ.ย. 61	100	29 ส.ค. 61	บริษัท ตั้งทรงธรรม จำกัด จังหวัดปทุมธานี (นางสาวพิมพ์ชนก นีรกุล)
6	สูตร 6 แคลเซียมคลอไรด์ วส./ผล. 20/2559	22 ม.ค. 59	100	16-ก.พ.-59	บริษัท เคมีเอเชีย จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร (นาย วีระ พนโสภณกุล)
7	สูตร 6 แคลเซียมคลอไรด์ วส./ผล.10/2560	23 ธ.ค. 59	80	28-ก.พ.-60	บริษัท เคมีเอเชีย จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร (นาย วีระ พนโสภณกุล)
8	สูตร 8 แคลเซียมออกไซด์ วส./ผล. 13/2560	30 ธ.ค. 59	100	18-เม.ย.-60	บริษัท สุธากัญจน์ จำกัด(มหาชน) จังหวัดนนทบุรี (นางสาวลัดดาวัลย์ พูนผล)

2. การหาค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งเป็นค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยในการผลิตต่อหน่วยทรัพยากรหรือจากกิจกรรมนั้นๆ เช่น ในการผลิตน้ำมัน Diesel (น้ำมันดีเซล / น้ำมันโซลาร์) ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก 0.3522 kgCO₂ eq ต่อการผลิตน้ำมัน Diesel (น้ำมันดีเซล / น้ำมันโซลาร์) 1 กิโลกรัม (Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018): ออนไลน์) สามารถรวบรวมข้อมูลได้จากการศึกษาทดลอง งานวิจัยต่างๆและฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือ ในกรณีศึกษานี้จะใช้จากฐานข้อมูล Eco invent ซึ่งอยู่ในระบบฐานข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้โปรแกรม SimaPro ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับประเมิน LCA ของผลิตภัณฑ์หรือบริการต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2-21 และ 2-22 และการแสดงตัวอย่างการเข้าถึงฐานข้อมูลเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) จากฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือเช่น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ดังรูปที่ 2-23



รูปที่ 2-21 ICON ของโปรแกรม SimaPro



รูปที่ 2-22 หน้าต่างของโปรแกรม SimaPro

■ ตัวที่มีการเปลี่ยนแปลง ■ ตัวที่มีการเพิ่มเติม UPDATE: มีนาคม 2564

UPDATE: มีนาคม 2564

ค่า Emission Factor แบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม

■ ตัวที่มีการเปลี่ยนแปลง ■ ตัวที่มีการเพิ่มเติม

ลำดับที่	ชื่อ	รายละเอียด	หน่วย	ค่าแฟกเตอร์ (kgCO ₂ e/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	วันที่อัปเดต
1. กลุ่มปิโตรเคมี						
1.	Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	ผลิตจากกระบวนการอัลคิลเลชันของเบนซีนและเอทิลีน; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	4.1597	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019
2.	General Purposed Polystyrene (GPPS)	ผลิตจาก Styrene และ Ethylbenzene; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kg	3.2281	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	Update_Dec2019

รูปที่ 2-23 การเข้าถึงฐานข้อมูลแสดงค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) จากฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือ

จากการรวบรวมข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สำหรับปฏิบัติการฝนหลวงจากฐานข้อมูล eco-invent ในโปรแกรม SimaPro และ ฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-15

ตารางที่ 2-15 มูลค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สำหรับปฏิบัติการฝนหลวง

ข้อมูลกิจกรรมที่ศึกษา	มลสารที่เกี่ยวข้อง	รายการ	หน่วย	ค่า Emission Factor (kgCO ₂ eq./หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
-จำนวนครั้งของการขนส่ง ทรัพยากร -ระยะทางในการขนส่ง ทรัพยากร -ประเภทของรถที่ใช้ในการ ขนส่ง -จำนวนครั้งในการขึ้นบิน -ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ใน ปฏิบัติการฝนหลวง -ประเภทของเครื่องบินที่ใช้ ในปฏิบัติการ	CO ₂	พลังงาน (เผาไหม้อยู่กับที่)	ลิตร	2.7080	IPCC Vol.2 table 2.2
		รถกระบะ4ล้อ(บรรทุกเต็ม)	ตัน-กม.	0.1472	TH database, TGO
		รถกระบะ4ล้อ(บรรทุกเปล่า)	กม.	0.3270	TH database, TGO
		รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุก75%)	ตัน-กม.	0.0691	TH database, TGO
		รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุก50%)	ตัน-กม.	0.0972	TH database, TGO
		รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุกเต็ม)	ตัน-กม.	0.0533	TH database, TGO
		รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุกเปล่า)	กม.	0.5900	TH database, TGO
		เครื่องบิน Caravan	LTO/ชม.	0.1365/0.5933	EPA 2015
		เครื่องบิน Casa	LTO/ชม.	0.2953/0.6592	EPA 2015
		น้ำมันเครื่องบิน (JetA1)	ตัน	0.3284	TH database, TGO
		เกลือแปะง	ตัน	0.0056	TH database, TGO
		ยูเรีย	ตัน	3.2826	Ecoinvent 2.2
		น้ำแข็งแห้ง	ตัน	1	TH database, TGO
แคลเซียมคลอไรด์	ตัน	0.8729	Ecoinvent 2.2		
แคลเซียมออกไซด์	ตัน	1.0215	Ecoinvent 2.2		

2) การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission)

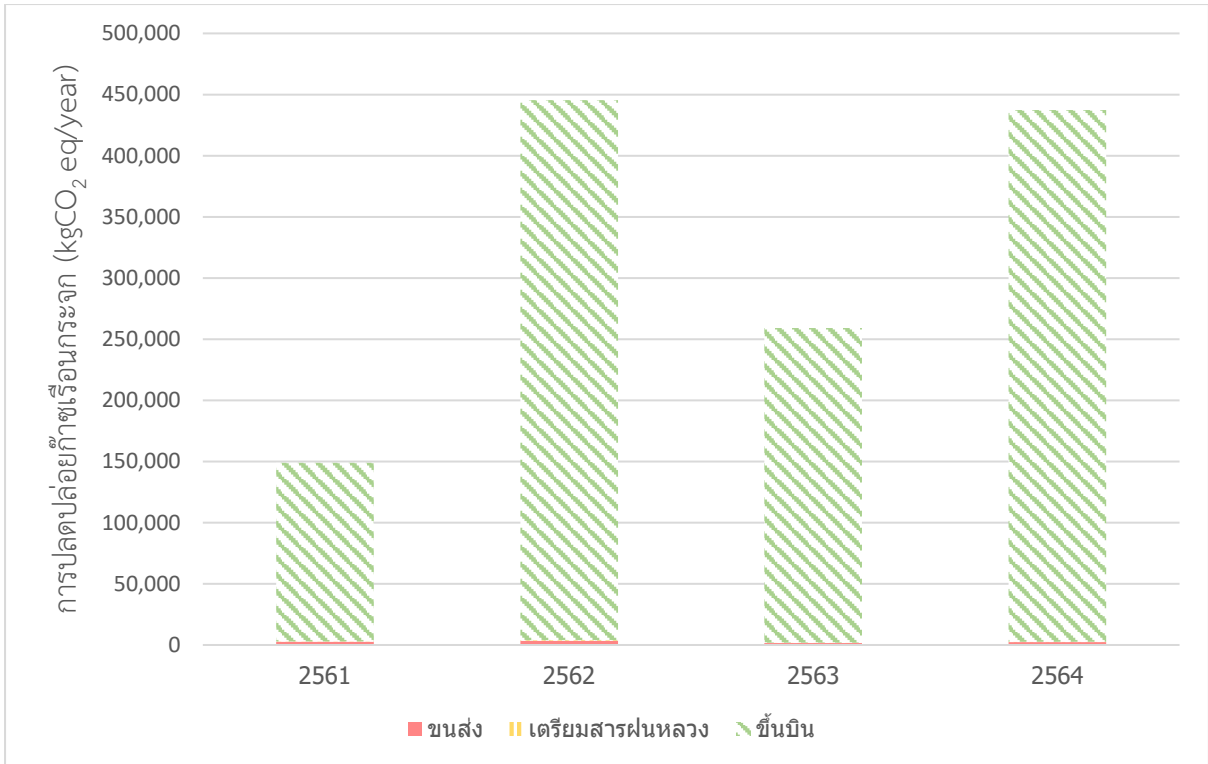
จากการรวบรวมรายละเอียดปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงและ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ซึ่งแสดงให้เห็นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละปี โดยสามารถพิจารณาในแต่ละขั้นตอนของปฏิบัติการ หรือพิจารณาแต่ละทรัพยากรที่ใช้สำหรับปฏิบัติการฝนหลวงโดยสรุปผลการคำนวณรวมทั้ง 4 ปี ดังแสดงในตารางที่ 2-16 และ 2-17 รูปที่ 2-24 และ 2-25

ตารางที่ 2-16 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 โดยพิจารณาแต่ละขั้นตอนของปฏิบัติการ

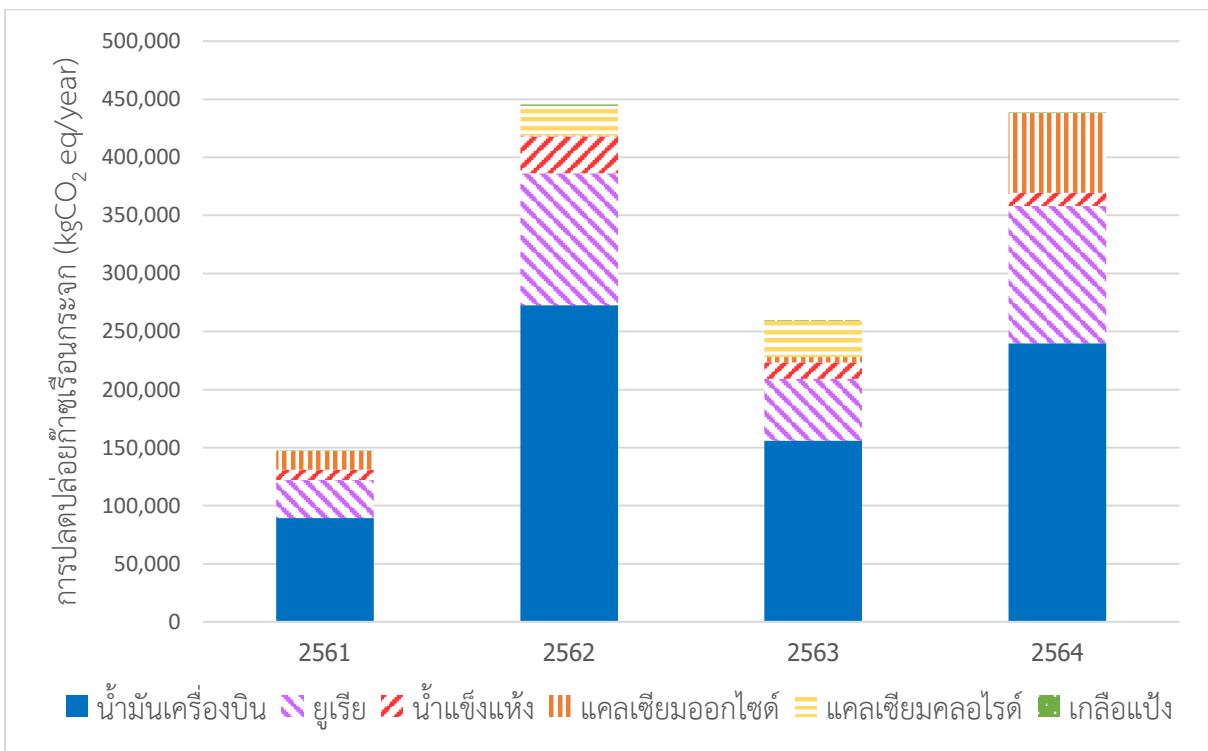
การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง (kgCO ₂ eq./ปี)				
ระบบที่พิจารณา	ปีที่ปฏิบัติการ			
	2561	2562	2563	2564
1.ขนส่งสารฝนหลวง	1291.79	3,467.86	2,174.15	3885.29
2.เตรียมสารฝนหลวง	98.22	327.84	154.53	235.44
3.ปฏิบัติการบินฝนหลวง	146,025.98	441,638.91	257,483.21	434,545.14
รวม	147,415.98	445,434.61	259,811.89	438,665.87

ตารางที่ 2-17 ค่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 โดยพิจารณาแต่ละทรัพยากรที่ใช้สำหรับปฏิบัติการฝนหลวง

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง (kgCO ₂ eq./ปี)					
ทรัพยากรที่พิจารณา		ปีที่ปฏิบัติการ			
		2561	2562	2563	2564
1.น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	89,358.00	272,595.08	156,009.31	239,752.92
2.สารฝนหลวงสูตรเย็น					
2.1 ยูเรีย	สูตร4	32,801.59	113,643.50	53,343.03	118,281.30
2.2 น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	8,741.99	31,700.77	13,902.13	11,479.46
3.สารฝนหลวงสูตรร้อน					
3.1 แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	16,224.98	737.45	4,846.15	68,423.53
3.2 แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	0.00	25,563.95	30,997.75	0.00
4.สารฝนหลวงสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ					
4.1 เกลือแป้ง	สูตร1	289.43	1,193.85	713.53	728.67
รวม		147,415.98	445,434.61	259,811.89	438,665.87



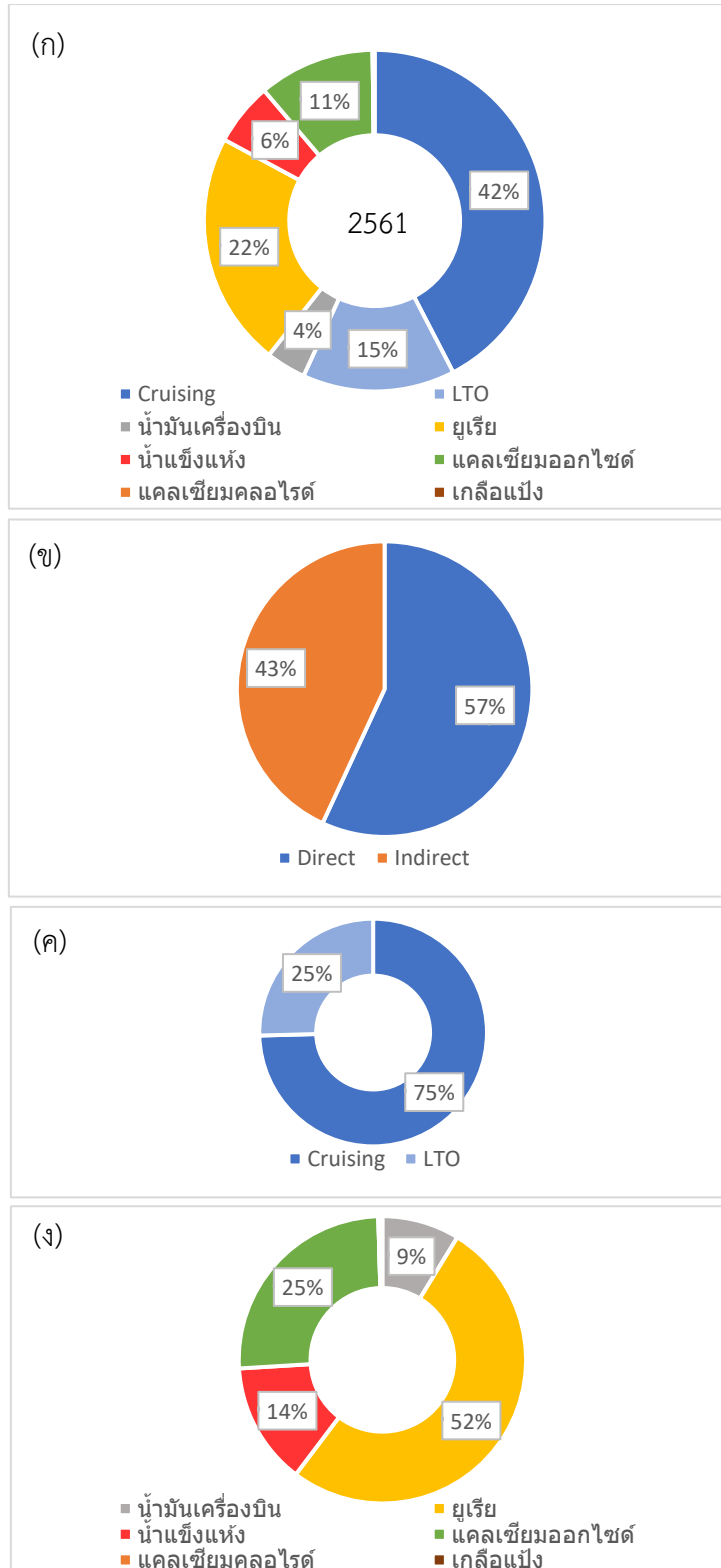
รูปที่ 2-24 เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 โดยพิจารณารายชั้นตอนของปฏิบัติการ



รูปที่ 2-25 เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 โดยพิจารณารายทรัพยากรที่ใช้สำหรับปฏิบัติการฝนหลวง

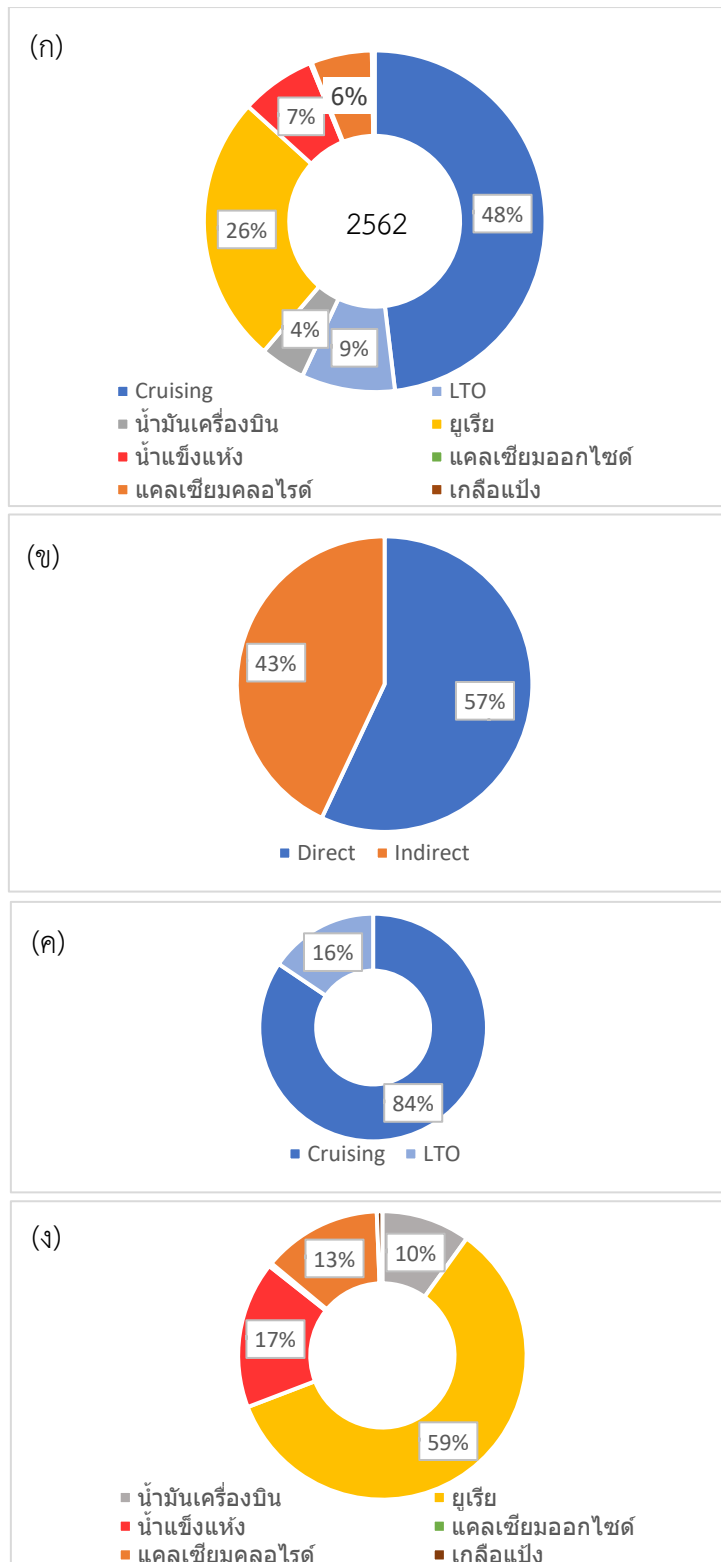
จากการประเมิน การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวงโดยกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การประเมินโดยพิจารณาตามขั้นตอนการปฏิบัติการฝนหลวง และการประเมินโดยพิจารณาตามทรัพยากรที่ถูกใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ทั้ง 2 การพิจารณานี้ได้แสดงรายละเอียดการคำนวณไว้ใน ภาคผนวก ข โดยคำนวณค่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งทางตรงและทางอ้อม

เมื่อนำค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทั้ง 2 รูปแบบในการพิจารณาสร้างเป็นแผนภูมิต่างแสดงในรูปที่ 2-24 และ 2-25 เพื่อพิจารณาแนวโน้มต่างๆ จะพบว่า ในการพิจารณาตามขั้นตอนปฏิบัติการฝนหลวง ขั้นตอนที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือขั้นตอนปฏิบัติการบินฝนหลวงเพื่อโปรยสารฝนหลวง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 99 ของทุกขั้นตอนปฏิบัติการฝนหลวง และหากพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทรัพยากรที่ถูกใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงพบผลที่สอดคล้องกันกับการพิจารณาแยกตามระบบปฏิบัติการเช่นกันโดยทรัพยากรที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดคือน้ำมันเครื่องบิน ซึ่งเป็นทรัพยากรหลักที่จำเป็นสำหรับการปฏิบัติการฝนหลวงและถูกใช้ในทุกระดับของการปฏิบัติการบินฝนหลวง ได้แก่ การก่อกวน การเลี้ยงให้อ้วน และการโจมตี ส่งผลให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำมันเครื่องบินมีค่าสูง นอกจากนี้รูปที่ 2-25 จะสังเกตเห็นว่า ยูเรียเป็นทรัพยากรที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นลำดับต่อมา ซึ่งยูเรียถูกใช้ในขั้นตอนการโจมตี ของการปฏิบัติการบินฝนหลวงเพียงขั้นตอนเดียว การวิเคราะห์สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทรัพยากรอาจทำให้เห็นภาพที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การวิเคราะห์แหล่งที่มาทางตรงและทางอ้อมของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นสิ่งที่น่าสนใจและสามารถนำไปสู่การระบุสาเหตุและการแก้ไขปัญหาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างตรงประเด็นอีกด้วย ผลการศึกษาสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามทรัพยากร ทั้งทางตรงและทางอ้อม แสดงในรูปที่ 2-26, 2-27, 2-28 และ 2-29



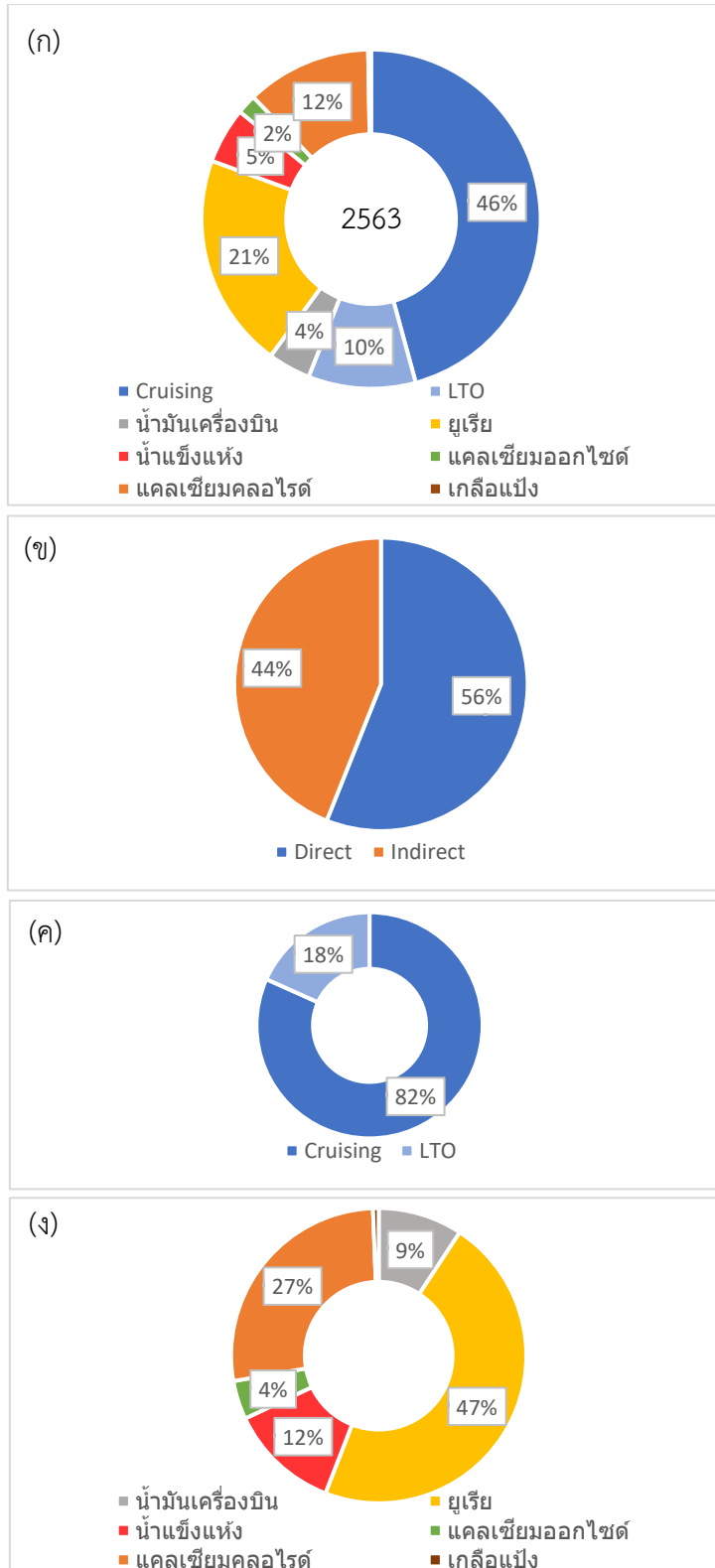
รูปที่ 2-26 สัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561 (ก) ทางตรง และทางอ้อมรายทรัพยากร (ข) ทางตรงและทางอ้อมทั้งหมด (ค) ทางตรงปฏิบัติการบินฝนหลวง (ง) ทางอ้อมรายทรัพยากร

**หมายเหตุ Cruising หมายถึง ขณะเครื่องบินอยู่บนอากาศ LTO หมายถึง การขึ้นและลงจอดของเครื่องบิน



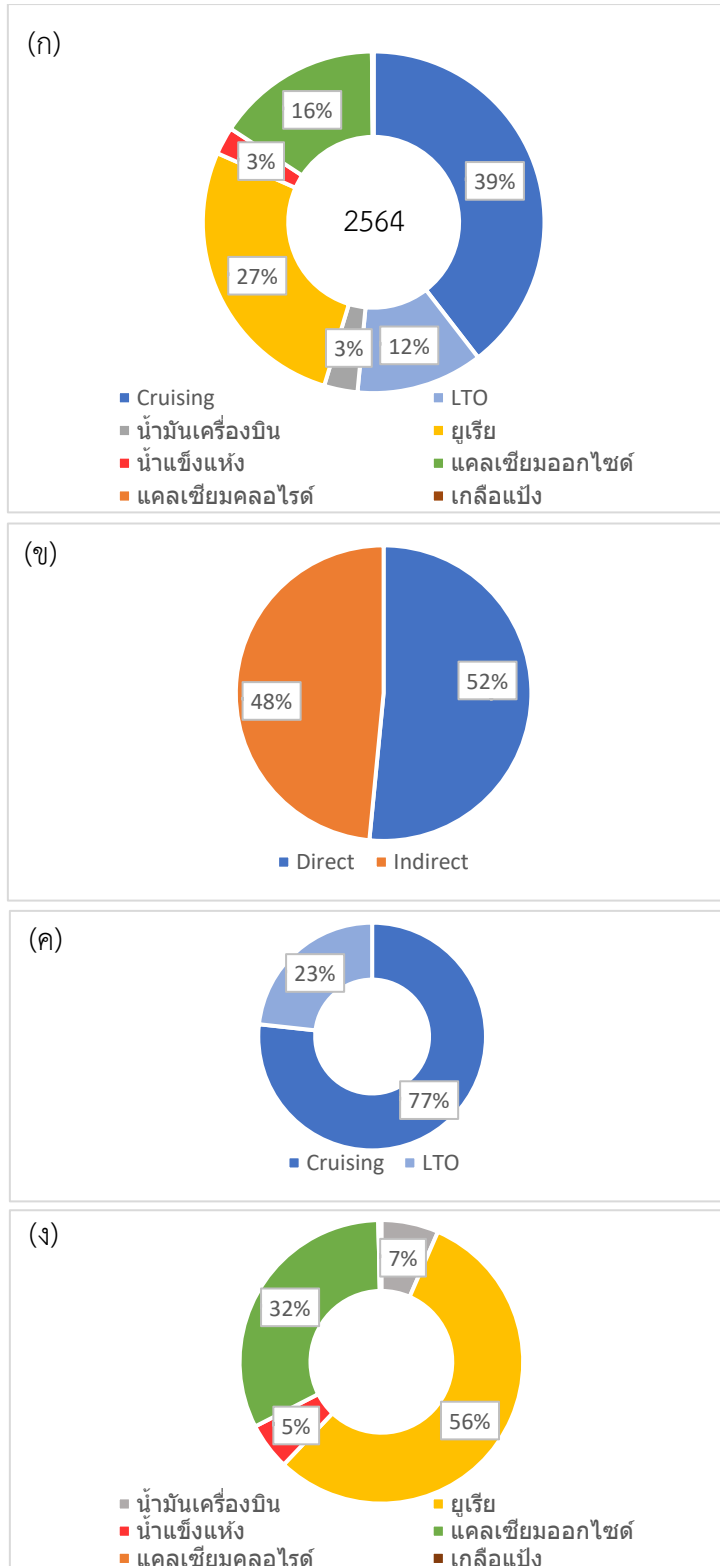
รูปที่ 2-27 สัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2562 (ก) ทางตรง และทางอ้อมรายทรัพยากร (ข) ทางตรงและทางอ้อมทั้งหมด (ค) ทางตรงปฏิบัติการบินฝนหลวง (ง) ทางอ้อมรายทรัพยากร

**หมายเหตุ Cruising หมายถึง ขณะเครื่องบินอยู่บนอากาศ LTO หมายถึง การขึ้นและลงจอดของเครื่องบิน



รูปที่ 2-28 สัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2563 (ก) ทางตรง และทางอ้อมรายทรัพยากร (ข) ทางตรงและทางอ้อมทั้งหมด (ค) ทางตรงปฏิบัติการบินฝนหลวง (ง) ทางอ้อมรายทรัพยากร

**หมายเหตุ Cruising หมายถึง ขณะเครื่องบินอยู่บนอากาศ LTO หมายถึง การขึ้นและลงจอดของเครื่องบิน



รูปที่ 2-29 สัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2564 (ก) ทางตรง และทางอ้อมรายทรัพยากร (ข) ทางตรงและทางอ้อมทั้งหมด (ค) ทางตรงปฏิบัติการบินฝนหลวง (ง) ทางอ้อมรายทรัพยากร

**หมายเหตุ Cruising หมายถึง ขณะเครื่องบินอยู่บนอากาศ LTO หมายถึง การขึ้นและลงจอดของเครื่องบิน

จากรูปที่ 2-26 (ก), 2-27 (ก), 2-28 (ก) และ 2-29 (ก) แสดงสัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งประกอบไปด้วยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากทรัพยากรที่นำมาใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง การขนส่งทรัพยากร และการเตรียมทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง (น้ำมันเครื่องบิน, เกลือแห้ง, แคลเซียมคลอไรด์, แคลเซียมออกไซด์, ยูเรีย และน้ำแข็งแห้ง) และ ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเครื่องบินในขั้นตอนการปฏิบัติการบินเพื่อโปรยสารฝนหลวงโดยแยกพิจารณาเป็นค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดระหว่างเครื่องบินขับเคลื่อนในอากาศ และ ระหว่างการขึ้น (Takeoff) และการร่อนลงจอด (Landing) พบว่าสัดส่วนของค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มากที่สุด 2 ลำดับแรกเกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเครื่องบินขณะที่เครื่องบินขับเคลื่อนในอากาศ และยูเรีย ซึ่งเป็นสารฝนหลวงสูตรเย็นที่ถูกใช้ในขั้นตอนการโจมตี ซึ่งเป็นขั้นตอนย่อยในปฏิบัติการบินเพื่อโปรยสารฝนหลวง

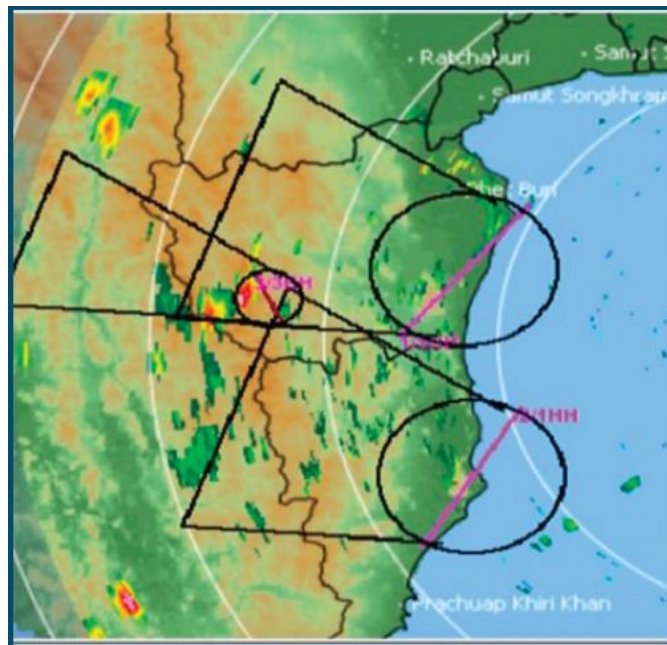
จากรูปที่ 2-26 (ข), 2-27 (ข), 2-28 (ข) และ 2-29 (ข) แสดงสัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงและทางอ้อม ซึ่งค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง เกิดจากกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกโดยตรง เช่น การบดทรัพยากรในขั้นตอนการเตรียมสารฝนหลวง และการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากปฏิบัติการบินเพื่อโปรยสารฝนหลวง ในส่วนของค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมนั้นเกิดจาก ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ติดตัวมากับวัตถุดิบหรือค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากกิจกรรมของฝนหลวงเองโดยตรงขณะปฏิบัติการ เช่น การผลิตสารฝนหลวง การขนส่งสารฝนหลวง ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งทางตรงและทางอ้อมมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงอาจจะมีค่ามากกว่าทางอ้อมอยู่เล็กน้อย จะสังเกตเห็นว่าแม้การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปฏิบัติการบินฝนหลวงจะสูงแต่การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตทรัพยากรและการขนส่งทรัพยากรนั้นก็ส่งผลไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน

จากรูปที่ 2-26 (ค), 2-27 (ค), 2-28 (ค) และ 2-29 (ค) แสดงสัดส่วนค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากปฏิบัติการบินเพื่อโปรยสารฝนหลวง ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงที่เกิดขึ้นจากปฏิบัติการฝนหลวง แสดงให้เห็นว่าค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงส่วนใหญ่เกิดขึ้นขณะที่เครื่องบินขับเคลื่อนในอากาศ ซึ่งมีค่ามากกว่าขณะที่เครื่องบินขึ้น (Takeoff) และการร่อนลงจอด (Landing) ถึง 3 เท่า

จากรูปที่ 2-26 (ง), 2-27 (ง), 2-28 (ง) และ 2-29 (ง) แสดงสัดส่วน การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เกิดจากทรัพยากรที่ถูกใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมที่เกิดขึ้นจากปฏิบัติการฝนหลวง ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำมันเครื่องบินเฉพาะในส่วนการผลิตน้ำมันซึ่งเป็นค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม จะมีค่าที่ไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับทรัพยากรตัวอื่นๆ ในทางกลับกันเมื่อเปรียบเทียบกับ ยูเรีย แล้วจะพบว่า ยูเรียเองมีส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตมากถึง 50 % ของค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรในปฏิบัติการฝนหลวงเมื่อเทียบกับทรัพยากรอื่นๆที่เหลือ

3) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint Evaluation)

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาและจัดเตรียมตารางบัญชีรายการพร้อมทั้ง มูลค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) เรียบร้อยแล้ว จึงทำการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้ปริมาณผลผลิตคือฝนที่ได้ จากปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการประเมินปริมาณฝนที่ได้ จากปฏิบัติการฝนหลวง 3 รูปแบบที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ประกอบด้วยปริมาณฝนจากการประเมิน คือ 1) การประเมินด้วย วิธี Inverse Distance Weighted (IDW) จากฝนสถานี (โครงการวิจัยย่อยที่ 1), 2) การประเมินจากฝนเรดาร์ และ 3) การประเมินจากฝนดาวเทียม (ดาวเทียม JAXA) (โครงการวิจัยย่อยที่ 2) โดยใช้กรวยฝนหลวงซึ่งเป็นแนวปฏิบัติการโปรยสารสำหรับปฏิบัติการฝนหลวง เป็นตัวกำหนดพื้นที่ศึกษา ปริมาณน้ำฝน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2-30 เป็นฝนที่เกิดขึ้นจากปฏิบัติการฝนหลวง



รูปที่ 2-30 ตัวอย่างกรวยฝนหลวงจากรายงานผลการปฏิบัติการฝนหลวง

1) ปริมาณฝนจากการประเมินฝน โดยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) ของฝนสถานีจากโครงการย่อยที่ 1 ซึ่งได้ทำการคำนวณปริมาณฝนในหน่วย มิลลิเมตร นำมาปรับค่าเป็นหน่วยปริมาณน้ำฝนโดยคูณกับพื้นที่กรวยในวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงภายในลุ่มน้ำเพชรบุรี ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร จะได้ค่าปริมาณฝนในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับปี พ.ศ. 2561, 2562, 2563 และ 2564 เท่ากับ 92.16, 295.84, 458.19 และ 178.45 ล้านลูกบาศก์เมตรตามลำดับ

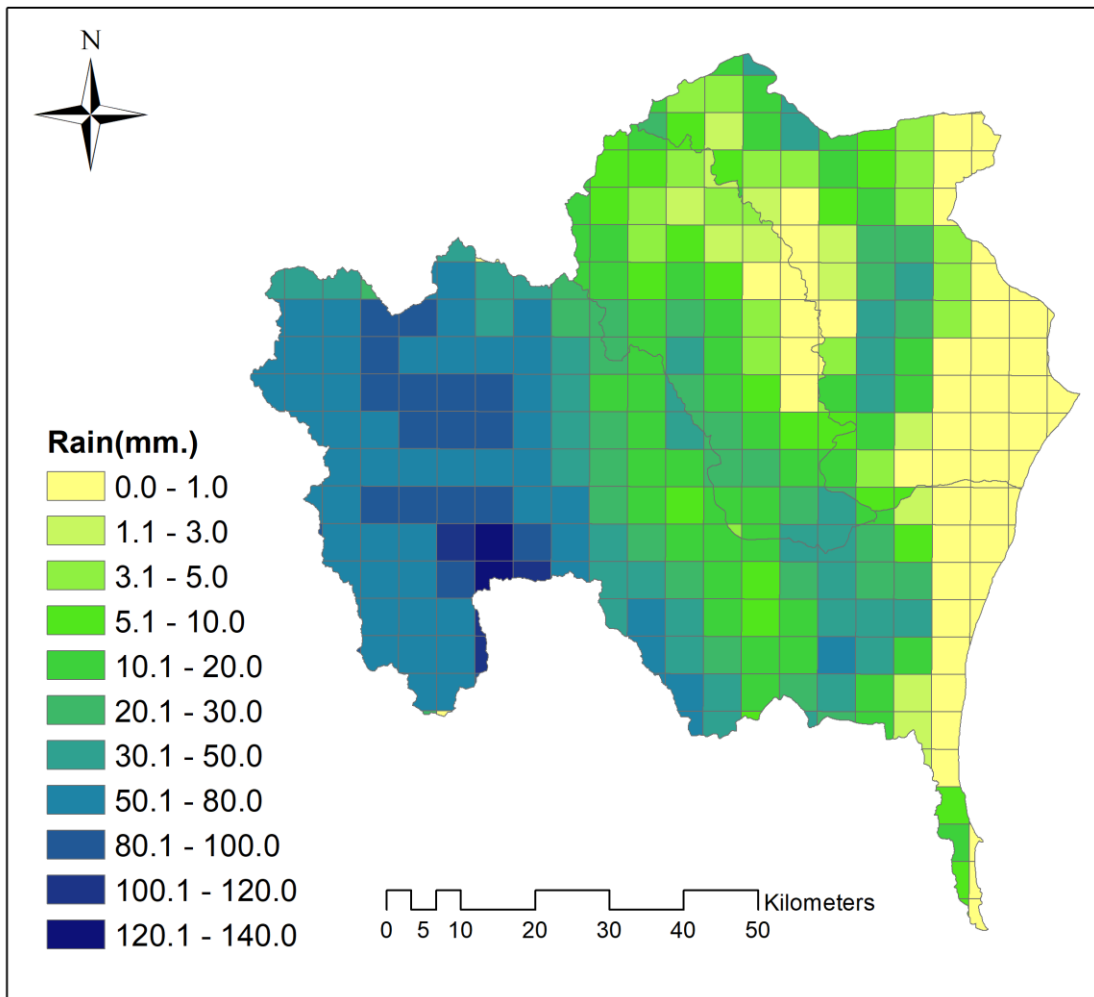
โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนจากการประเมินฝน โดยวิธี IDW ของฝนสถานี ของวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 ดังตารางที่ 2-18

ตารางที่ 2-18 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
04/04/2018	0.35	4231979157.47	1464264.788
11/04/2018	0.01	1420209506.39	20308.99594
15/04/2018	1.12	1290810782.80	1446998.888
16/04/2018	0.00	1703876075.59	0
17/04/2018	20.27	2301815936.45	46646299.95
19/04/2018	5.48	1752618775.66	9611361.366
20/04/2018	0.20	2799937866.28	559987.5733
21/04/2018	0.23	1103545112.18	256022.466
22/04/2018	0.12	289700150.36	33605.21744
25/04/2018	0.00	956417925.14	0
26/04/2018	0.21	1657717941.49	343147.6139
30/04/2018	4.66	1115434458.35	5201270.879
02/05/2018	2.04	1750796039.13	3571623.92
03/05/2018	3.55	1127525292.83	4001587.264
04/05/2018	3.46	1599503158.09	5526283.411
05/05/2018	4.68	2726985986.67	12756840.45
08/05/2018	0.44	1652295806.32	722053.2674
ผลรวม			92,161,656.05

2) ปริมาณฝนจากการประเมินโดยฝนเรดาร์ การติดต่อประสานข้อมูลฝนเรดาร์จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร เพื่อนำข้อมูลมาทำการเปรียบเทียบและคำนวณปริมาณฝนที่ตกในลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยการแปลงข้อมูลฝนและพิกัดเรดาร์ลงในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีซึ่งได้ทำการแบ่งพื้นที่เป็นกริด โดยโปรแกรม ArcGIS ดังแสดงในรูปที่ 2-31 แล้วทำการคำนวณโดยการคูณปริมาณฝนในหน่วยมิลลิเมตรกับพื้นที่ของกริด เพื่อได้เป็นปริมาณฝนในหน่วยลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะทำการคิดเฉพาะพื้นที่ภายในกรวยฝนหลวง

โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนรายปีจากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ของวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 ดังตารางที่ 2-19



รูปที่ 2-31 ตัวอย่างผลการแปลงข้อมูลพิกัดและปริมาณฝนของฝนเรดาร์ลงในโปรแกรม ArcGIS (จากโครงการวิจัยย่อยที่ 2)

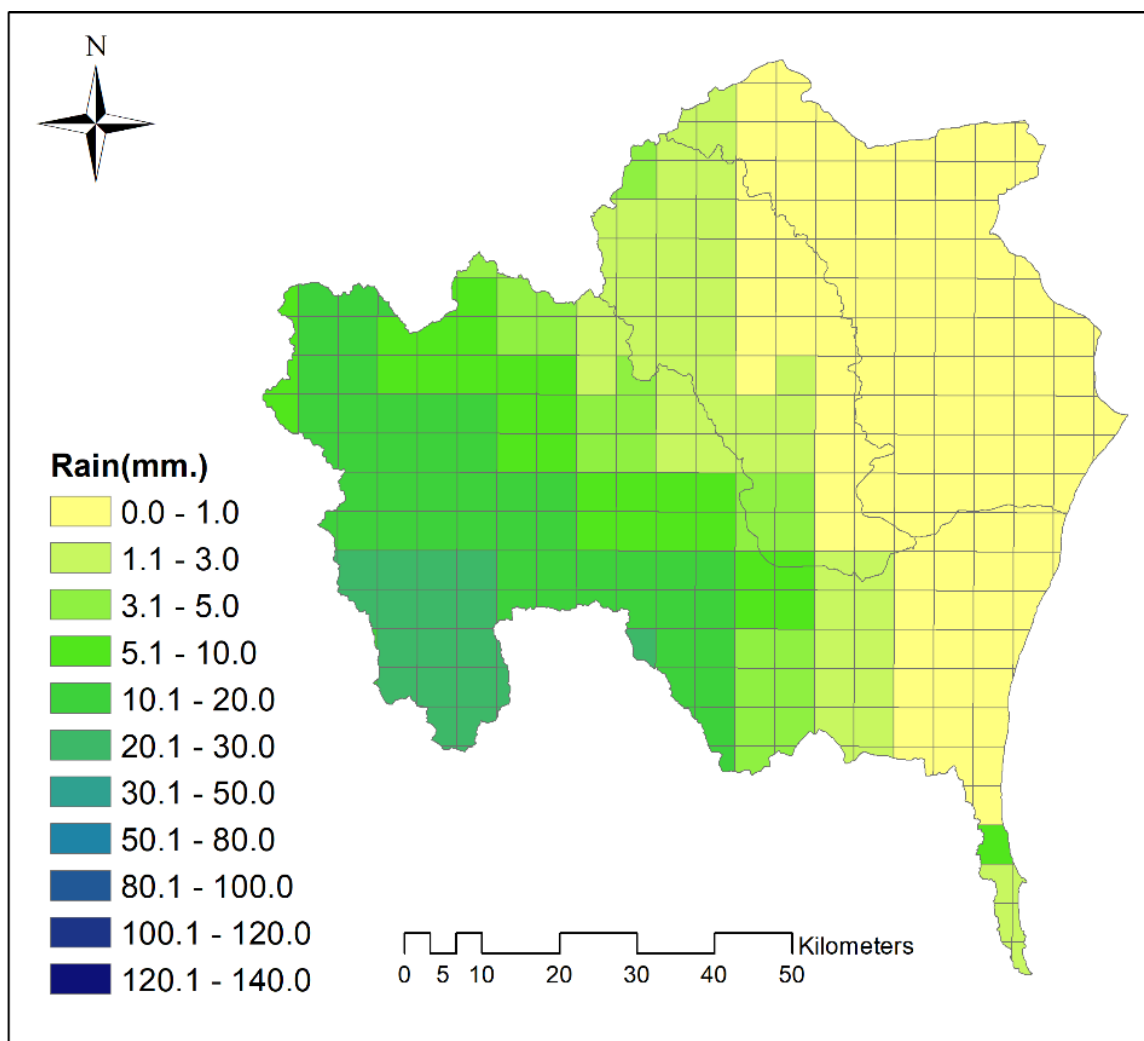
ตารางที่ 2-19 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2561 จากวิธีการ
ประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน (ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน (ลบ.ม)
4/4/2018	4231979157	4.26	26670036	4	18822098
4/11/2018	1420209506	1.01	6306360	0	187118
4/15/2018	1290810783	0.02	126341	0	0
4/16/2018	1703876076	0.13	787843	0	375509
4/17/2018	2301815936	34.45	215488612	0	2396
4/19/2018	1752618776	16.40	102578105	15	27027785
4/20/2018	2799937866	11.53	72101571	0	2398
4/21/2018	1103545112	6.59	41247108	10	11299988
4/22/2018	289700150	10.15	63486626	5	1591013
4/24/2018	1373140218	7.34	45930795	6	8575127
4/25/2018	956417925	5.88	36779965	5	4369646
4/26/2018	1657717941	19.71	123262023	29	48270928
4/30/2018	1115434458	11.94	74687604	10	11242855
5/1/2018	1703476090	0.01	71287	0.07	127656
5/2/2018	1750796039	15.64	97835256	19	33207160
5/3/2018	1127525293	23.24	145340803	22	25148579
5/4/2018	1599503158	7.56	47285082	0	73636
5/5/2018	2726985987	29.16	182354214	27	74378083
5/7/2018	498520867	3.05	19073326	4	1840162
5/8/2018	1652295806	3.39	21179816	1	1131832
ผลรวมปริมาณฝนเรดาร์ (ลบ.ม.)					267,673,968.26

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยที่ 2

3) ปริมาณฝนจากการประเมินโดยฝนดาวเทียม การรวบรวมข้อมูลฝนดาวเทียมจากข้อมูลดาวเทียม JAXA เพื่อนำข้อมูลปรับเทียบกับฝนสถานีและคำนวณปริมาณฝน โดยการแปลงข้อมูลฝนลงในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี จะทำการแบ่งพื้นที่เป็นกริด โดยโปรแกรม ArcGIS เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-32 แล้วทำการคำนวณ โดยการคูณปริมาณฝนในหน่วยมิลลิเมตรกับพื้นที่ของกริด เพื่อได้เป็นปริมาณฝนในหน่วยลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะทำการศึกษาเฉพาะพื้นที่ภายในกรวย

โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนรายปีจากวิธีการประเมินฝนดาวเทียม ของวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 ดังตารางที่ 2-20



รูปที่ 2-32 ตัวอย่างผลการแปลงข้อมูลปริมาณน้ำฝนของฝนดาวเทียมลงในโปรแกรม ArcGIS (จากโครงการวิจัยที่ 2)

ตารางที่ 2-20 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนดาวเทียม (JAXA)			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน (ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน (ลบ.ม)
4/4/2018	4231979157	2	13310938	2	9415609
4/11/2018	1420209506	0	1052	0	0
4/15/2018	1290810783	2	14203824	5	6127052
4/16/2018	1703876076	1	3516363	1	2208687
4/17/2018	2301815936	32	197180427	31	72196542
4/19/2018	1752618776	2	9487496	2	2751301
4/20/2018	2799937866	0	2524215	0	1316693
4/21/2018	1103545112	0	1346970	1	995078
4/22/2018	289700150	1	5377223	4	1111340
4/24/2018	1373140218	0	2935959	1	1815077
4/25/2018	956417925	0	2217795	1	725341
4/26/2018	1657717941	4	22695885	6	10591192
4/30/2018	1115434458	12	74054767	7	7270497
5/1/2018	1703476090	15	91670338	15	25016737
5/2/2018	1750796039	7	41738531	10	17921035
5/3/2018	1127525293	5	32957403	7	8427992
5/4/2018	1599503158	4	26306501	3	4371694
5/5/2018	2726985987	2	14093186	3	7118312
5/7/2018	498520867	0	918486	1	360970
5/8/2018	1652295806	0	232568	0	163350
ผลรวมปริมาณฝนดาวเทียม (ลบ.ม.)					179,904,499.31

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการย่อยที่ 2

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายปีโดยวิธีการประเมินปริมาณน้ำฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงที่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธีการ ของปฏิบัติการฝนหลวงย้อนหลัง 4 ปี ได้แก่ปี พ.ศ. 2561, 2562, 2563 และ 2564 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-21

ตารางที่ 2-21 ข้อมูลปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงรายปี ประกอบด้วย พ.ศ.2561, 2562, 2563 และ 2564 โดยวิธีการประเมินที่แตกต่างกัน 3 วิธี

ปริมาณฝนสะสมรายปี (ลบ.ม.)			
ปี	ฝนสถานี	ฝนเรดาร์	ฝนดาวเทียม
2561	92,161,656.05	267,673,968.26	179,904,499.31
2562	295,836,939.73	840,266,578.93	375,657,303.95
2563	458,187,212.90	1,006,841,405.82	633,276,684.96
2564	178,449,145.06	644,527,894.50	664,132,353.62

หมายเหตุ เป็นการใช้ปริมาณฝนราย 12 ชั่วโมงประเมินทั้ง 3 วิธีการ

จากผลการศึกษาดังกล่าวจะสังเกตได้ว่า ปริมาณฝนรายปีที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงโดยการประเมินจากฝนเรดาร์มีปริมาณมากกว่าปริมาณฝนรายปีโดยการประเมินด้วยวิธีอื่น อย่างไรก็ตาม ในปี พ.ศ.2563 มีปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงปริมาณสูงที่สุดจากทั้งช่วงเวลาที่พิจารณา การที่ค่าฝนเรดาร์มีค่าสูงนี้จะส่งผลที่ผกผันต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่จะประเมินได้

ผลการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากตารางที่ 2-22, 2-23, 2-24 และรูปที่ 2-30 พบว่า ในช่วงปี พ.ศ.2561- พ.ศ.2564 นั้น ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการประเมินปริมาณฝนรายปี ด้วยวิธีการประเมินจากฝนเรดาร์ส่งผลต่อการลดลงของค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ต่ำกว่า วิธีการประเมินฝนจากฝนดาวเทียม และวิธี IDW จากฝนสถานี ตามลำดับและยังแสดงให้เห็นว่าในปี พ.ศ.2564 มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาไปที่ปริมาณฝนที่ประเมินได้พบว่าในปี พ.ศ.2564 มีปริมาณฝนที่ประเมินได้ลดลงเมื่อเทียบกับปีก่อนหน้านี้

หากพิจารณาจากตารางที่ 2-16 และ 2-17 ในประเด็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปฏิบัติการฝนหลวง จะสังเกตได้ว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ.2564 มีค่าสูงเป็นอันดับที่ 2 รองจากปี พ.ศ.2562 นั่นคือในปี พ.ศ.2564 มีการใช้ทรัพยากรในการปฏิบัติการฝนหลวงปริมาณค่อนข้างมากแต่ผลการปฏิบัติการฝนหลวงให้ปริมาณฝนปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปีอื่นๆที่พิจารณา อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเฉพาะ ในช่วงปี พ.ศ.2561 - พ.ศ.2563 จะพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรเพื่อปฏิบัติการฝนหลวงมีแนวโน้มที่ดีขึ้น ในขณะที่ปี พ.ศ.2564 ซึ่งผลการศึกษาสหสัมพันธ์ประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรในปฏิบัติการฝนหลวงลดลง จึงควรพิจารณาในประเด็นต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปฏิบัติการฝนหลวงต่อไปเพื่อหาสาเหตุและแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นและลด การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้มากขึ้นต่อไป

ตารางที่ 2-22 เปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 จากการประเมินฝนเฉลี่ยของปฏิบัติการฝนหลวงด้วยวิธีการต่างๆ

ปีที่ปฏิบัติการ	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง (kgCO ₂ eq/ล้านลบ.ม.)		
	ฝนสถานี	ฝนเรดาร์	ฝนดาวเทียม
2561	1,599.54	550.73	819.41
2562	1,505.68	530.11	1,185.75
2563	567.04	258.05	410.27
2564	2,458.21	680.60	660.51

ตารางที่ 2-23 คาร์บอนฟุตพริ้นท์แต่ละขั้นตอนของปฏิบัติการฝนหลวง ทางตรง และทางอ้อม ปี พ.ศ.2561-2564 จากการประเมินฝนเฉลี่ยของปฏิบัติการฝนหลวงด้วยวิธีการต่างๆ

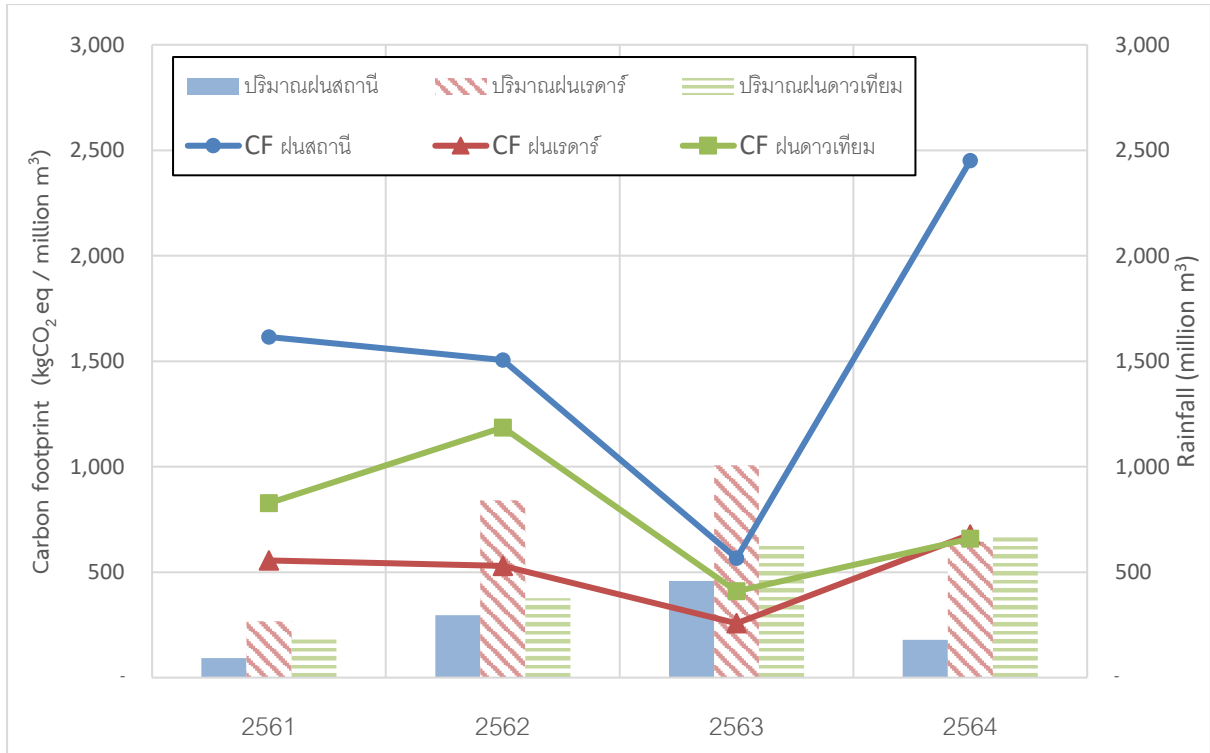
ระบบที่พิจารณา	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง (kgCO ₂ eq/ล้านลบ.ม.)											
	ปี 2561						ปี 2562					
	ฝนสถานี		ฝนเรดาร์		ฝนดาวเทียม		ฝนสถานี		ฝนเรดาร์		ฝนดาวเทียม	
	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect
1.ขนส่งสารฝนหลวง	14.02	0.00	4.83	0.00	7.18	0.00	11.72	0.00	4.13	0.00	9.23	0.00
2.เตรียมสารฝนหลวง	1.07	0.00	0.37	0.00	0.55	0.00	1.11	0.00	0.39	0.00	0.87	0.00
3.ปฏิบัติการบินฝนหลวง	909.20	675.26	313.04	232.49	465.76	345.92	857.03	635.82	301.74	223.86	674.92	500.72
รวม	924.29	675.26	318.23	232.49	473.49	345.92	869.86	635.82	306.26	223.86	685.02	500.72
สัดส่วน (%)	58	42	58	42	58	42	58	42	58	42	58	42

ตารางที่ 2-23 (ต่อ) คาร์บอนฟุตพริ้นท์แต่ละขั้นตอนของปฏิบัติการฝนหลวง ทางตรง และทางอ้อม ปี พ.ศ.2561-2564 จากการประเมินฝนเฉลี่ยของปฏิบัติการฝนหลวงด้วยวิธีการต่างๆ

ระบบที่พิจารณา	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง (kgCO ₂ eq/ล้านลบ.ม.)											
	ปี 2563						ปี 2564					
	ฝนสถานี		ฝนเรดาร์		ฝนดาวเทียม		ฝนสถานี		ฝนเรดาร์		ฝนดาวเทียม	
	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect
1.ขนส่งสารฝนหลวง	4.75	0.00	2.16	0.00	3.43	0.00	21.77	0.00	6.03	0.00	5.85	0.00
2.เตรียมสารฝนหลวง	0.34	0.00	0.15	0.00	0.24	0.00	1.32	0.00	0.37	0.00	0.35	0.00
3.ปฏิบัติการบินฝนหลวง	317.41	244.55	144.44	111.29	229.65	176.94	1,265.71	1,169.41	350.44	323.77	340.09	314.21
รวม	322.49	244.55	146.75	111.29	233.33	176.94	1,288.80	1,169.41	356.83	323.77	346.29	314.21
สัดส่วน (%)	57	43	57	43	57	43	52	48	52	48	52	48

ตารางที่ 2-24 คาร์บอนฟุตพริ้นท์รายทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ปี พ.ศ.2561-2564 จากการประเมินฝนเฉลี่ยของปฏิบัติการฝนหลวงด้วยวิธีการต่างๆ

ทรัพยากรที่พิจารณา		คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง (kgCO ₂ eq/ล้านล.ม.)											
		ปี 2561			ปี 2562			ปี 2563			ปี 2564		
		ฝนสถานี	ฝนเรดาร์	ฝนดาวเทียม	ฝนสถานี	ฝนเรดาร์	ฝนดาวเทียม	ฝนสถานี	ฝนเรดาร์	ฝนดาวเทียม	ฝนสถานี	ฝนเรดาร์	ฝนดาวเทียม
1. น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	969.58	333.83	496.70	921.44	324.41	725.65	340.49	154.95	246.35	1,343.54	371.98	361.00
2. สารฝนหลวงสูตรเย็น													
2.1 ยูเรีย	สูตร4	355.91	122.54	182.33	384.14	135.25	302.52	116.42	52.98	84.23	662.83	183.52	178.10
2.2 น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	94.85	32.66	48.59	107.16	37.73	84.39	30.34	13.81	21.95	64.33	17.81	17.28
3. สารฝนหลวงสูตรร้อน													
3.1 แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	176.05	60.61	90.19	2.49	0.88	1.96	10.58	4.81	7.65	383.43	106.16	103.03
3.2 แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	0.00	0.00	0.00	86.41	30.42	68.05	67.65	30.79	48.95	0.00	0.00	0.00
4. สารฝนหลวงสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ													
4.1 เกลือแป้ง	สูตร1	3.14	1.08	1.61	4.04	1.42	3.18	1.56	0.71	1.13	4.08	1.13	1.10
รวม		1,599.54	550.73	819.41	1,505.68	530.11	1,185.75	567.04	258.05	410.27	2,458.21	680.60	660.51



รูปที่ 2-33 เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมปฏิบัติการฝนหลวงของปี พ.ศ. 2561-2564

3 ข้อวิจารณ์ (Discussion)

1) ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emissions)

ระบบปฏิบัติการขนส่ง การเตรียมสารปนพลวง และปฏิบัติการบินปนพลวง ถูกนำมาใช้จัดกลุ่มในการวิเคราะห์ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังแสดงในรูปที่ 2-24, 2-26, 2-27, 2-28, 2-29 และตารางที่ 2-13, 2-16, 2-17

จากการวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปฏิบัติการปนพลวงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2564) พบว่าค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพิ่มขึ้นมากที่สุดในขั้นตอนปฏิบัติการบินปนพลวง และเกิดจาก 2 ส่วน สำคัญได้แก่

- 1) การเผาไหม้เชื้อเพลิง (Direct emission) ประมาณ 60%
- 2) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทางอ้อม (Indirect emission) ที่ติดตัวมาจากการผลิตสารปนพลวง ประมาณ 40%

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับอากาศยาน เกิดจาก 2 ส่วน คือส่วนที่ติดตัวมาจากการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง (Indirect emission) และ ส่วนที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง (Direct emission) ซึ่งส่วนที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงจากการขนส่งและขณะปฏิบัติการบินปนพลวง และส่วนเกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงขณะปฏิบัติการบินปนพลวงนี้ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสัดส่วนที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับกิจกรรมอื่นๆในปฏิบัติการปนพลวง หากพิจารณาเฉพาะในส่วนของ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากผลิตสารปนพลวงหรือติดตัวมา กับสารปนพลวง จะพบว่า ทรัพยากรหรือสารปนพลวงที่ส่งผลต่อการเกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด 2 ลำดับแรกคือ ยูเรีย ซึ่งเป็นสารที่ถูกใช้ในขั้นตอนโจมตีของระบบปฏิบัติการปนพลวง และสารปนพลวงสูตรร้อนซึ่งใช้ในขั้นตอนการเลี้ยงให้อ้วน คือ แคลเซียมออกไซด์ และ แคลเซียมคลอไรด์ ตามลำดับ

พบว่าแนวโน้มค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ระยะเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2564 สอดคล้องกับการใช้ทรัพยากรในปฏิบัติการปนพลวง หากเปรียบเทียบปี พ.ศ. 2562 กับ ปี พ.ศ. 2564 ซึ่งเป็นปีที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกค่อนข้างสูง จะสังเกตเห็นว่าจำนวนชั่วโมงบิน และ เที่ยวบินของปี พ.ศ. 2564 น้อยกว่าปี พ.ศ. 2562 (จำนวนเที่ยวบินน้อยกว่า 121 ครั้ง และชั่วโมงบินน้อยกว่า 98 ชั่วโมง) แต่กลับพบว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีค่าใกล้เคียงกัน จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไปโดยพิจารณาที่สารปนพลวงที่ใช้ในปฏิบัติการ จึงพบว่าสารปนพลวงที่ใช้ในปี พ.ศ. 2562 มีความแตกต่างกับที่ใช้ในปี พ.ศ. 2564 กล่าวคือ สารปนพลวงสูตรร้อน(แคลเซียมคลอไรด์: สูตร 6) จำนวน 28.7 ตัน ถูกใช้ไปในปี พ.ศ. 2562 แต่ในปี พ.ศ. 2564 มีการเปลี่ยนการใช้สารปนพลวงสูตรร้อน จากแคลเซียมคลอไรด์ มา ใช้แคลเซียมออกไซด์ (สูตร 8) จำนวน 64.95 ตัน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้งสองสารมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย

โดยแคลเซียมออกไซด์ (สูตร 8) มีค่าเท่ากับ 1.021 kgCO₂ eq /kg ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแคลเซียมคลอไรด์ (สูตร 6) มีค่าเท่ากับ 0.873 kgCO₂ eq /kg

จากการวิเคราะห์ลักษณะการใช้สารปนหลวงสูตรร้อนทั้งสองสูตรดังกล่าว ซึ่งจะถูกใช้ในขั้นตอนการเลี้ยงให้อ้วน โดยอาศัยปฏิกิริยาสร้างความร้อนของสารปนหลวงสูตรร้อนเพื่อบังคับให้เมฆที่ก่อตัวยกตัวสูงขึ้น เพื่อเร่งให้เกิดการรวมตัวกันหรือที่เรียกว่าการเลี้ยงให้อ้วน ของปฏิบัติการบินปนหลวง พบว่าสารแคลเซียมคลอไรด์(สูตร6) มักถูกใช้ในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ ต้องการสารสูตรร้อนที่เกิดปฏิกิริยาความร้อนไม่สูงมากเพื่อป้องกันการทำให้เมฆเกิดการแตกตัวจากการใช้สารสูตรร้อนที่มีปฏิกิริยาความร้อนสูงเกินไป ในขณะที่สารปนหลวง แคลเซียมออกไซด์ (สูตร 8) มักจะถูกนำไปใช้ในฤดูฝนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมาก ต้องการสารปนหลวงสูตรร้อนที่ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาสูงเพื่อช่วยการรวมตัวกันของเมฆเพื่อเลี้ยงให้อ้วน และความร้อนจากปฏิกิริยาที่ได้จากแคลเซียมออกไซด์จะสูงกว่าแคลเซียมคลอไรด์ จึงช่วยให้ขั้นตอนการเลี้ยงให้อ้วนเกิดได้ดีกรณีมีเมฆชั้นกลางปกคลุมที่ทำให้แสงอาทิตย์ส่องมาไม่ถึงพื้นดินที่มักจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูฝน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับตารางบินใน ปี พ.ศ. 2562 ที่มีการขึ้นบินในปฏิบัติการปนหลวงช่วงฤดูร้อนเพียงเดือน มีนาคม เมษายน และ กลางเดือนมิถุนายน เท่านั้น ในขณะที่ปี พ.ศ. 2564 มีการขึ้นบินปฏิบัติการปนหลวง เดือนมีนาคม-เดือนกันยายน ของปีนั้น แต่จากการสอบถามเจ้าหน้าที่วิจัยกรมปนหลวงและการบินเกษตร ที่ศูนย์ปนหลวงหัวหิน พบว่าแม้ในปี พ.ศ. 2564 จะมีการขึ้นบินในช่วงฤดูร้อนเช่นกันและคาบเกี่ยวไปยังฤดูฝน แต่ไม่พบว่ามีการใช้สารปนหลวงสูตรร้อนแคลเซียมคลอไรด์แต่อย่างใด นอกจากนี้ยังอาจสัมพันธ์กับการวางแผนบริหารจัดการการใช้สารปนหลวงในที่จัดเก็บ (stock management) และการจัดซื้อสารปนหลวงในแต่ละครั้งด้วย เนื่องจากราคาปนหลวงสูตรร้อน แคลเซียมคลอไรด์ (สูตร 6) มีราคาสูงกว่า แคลเซียมออกไซด์แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่า

นอกจากนี้ยังพบว่าสารปนหลวงสูตรเย็นที่ใช้ในขั้นตอนการโจมตีนั้น มี 2 สาร ได้แก่ น้ำแข็งแห้งและยูเรีย กรณีน้ำแข็งแห้ง ในปี พ.ศ. 2564 ใช้ไป 30.1 ตัน น้อยกว่าที่ใช้ในปี พ.ศ. 2562 ซึ่งใช้ไป 10.3 ตัน ส่วนยูเรีย ใช้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันทั้งสองปี ในขั้นตอนการโจมตีนี้ยังมีการใช้สารปนหลวงสร้างแกนกลั่นตัวหรือเกลือแข็งซึ่งถูกใช้ในขั้นตอนการก่อกรณด้วยเช่นกัน พบว่า ในปี พ.ศ. 2564 เกลือแข็งถูกใช้ในปริมาณ 64.20 ตัน ในขณะที่ปี พ.ศ. 2562 ใช้ไป 105 ตัน จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ไม่เพียงแต่ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในปฏิบัติการบินปนหลวงเท่านั้นที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่สารปนหลวงที่ใช้ในปฏิบัติการยังส่งผลต่อค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณสูงด้วยเช่นกัน

2) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprints assessment) ของปฏิบัติการฝนหลวง

จากรูปที่ 2-33 และตารางที่ 2-13, 2-22, 2-23, 2-24

จากการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวง ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยต้องอาศัยข้อมูลผลผลิต ในที่นี้คือการประเมินปริมาณฝนที่เกิดจากปฏิบัติการฝนหลวง การศึกษานี้ใช้ข้อมูลการประเมินปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง 3 วิธีการ ได้แก่ 1) การประเมินด้วย วิธี Inverse Distance Weighted (IDW) จากฝนสถานี 2) การประเมินจากฝนเรดาร์ และ 3) การประเมินจากฝนดาวเทียม (ดาวเทียม JAXA) ซึ่งได้จากโครงการวิจัยย่อยที่ 1 และ 2 จะสังเกตเห็นแนวโน้มปริมาณฝนที่ประเมินทั้ง 3 วิธีการมีแนวโน้มฝนที่มีปริมาณสูงขึ้นทุกปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 – 2563 แต่ในปี พ.ศ. 2564 มีแนวโน้มลดลง โดยสังเกตเห็นได้ว่า วิธีประเมินฝนสถานีและฝนเรดาร์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ในขณะที่ฝนดาวเทียมมีลักษณะที่แตกต่างออกไป ซึ่งปริมาณฝนที่ประเมินได้นี้จะส่งผลโดยตรงในลักษณะผกผันกับค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้ง 4 ปี ที่พิจารณา จะพบว่าในช่วง 3 ปีแรกมีแนวโน้มของค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ลดลง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากทั้งปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงและปริมาณน้ำฝนที่ประเมินได้จากปฏิบัติการฝนหลวง หากพิจารณาประเด็นทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง จะสังเกตเห็นได้ว่า ในปี พ.ศ. 2561มายังปี พ.ศ.2562 นั้นแนวโน้มการใช้ทรัพยากรในภาพรวมสูงขึ้น สอดคล้องกับปริมาณฝนหลวงที่ประเมินได้ และส่งผลต่อการลดลงของค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (รูปที่ 2-33) ในขณะที่ ปี พ.ศ. 2563 มีการใช้ทรัพยากรลดน้อยลงในภาพรวมยกเว้นสารสูตรร้อน แคลเซียมคลอไรด์ในขั้นตอนการเลี้ยงให้อ้วน มีการใช้สูงขึ้นเล็กน้อย แต่ปริมาณฝนที่ประเมินได้มีค่าสูงขึ้นกว่าปี พ.ศ. 2561 และ ปี พ.ศ. 2562 ส่งผลต่อการลดลงของค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างชัดเจน สำหรับปี พ.ศ. 2564 จะพบว่ามีการใช้ทรัพยากรในภาพรวมของปฏิบัติการฝนหลวงที่สูงขึ้น แต่ค่าการประเมินปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงมีค่าลดลงในระดับที่ต่ำกว่าปี พ.ศ. 2562 และ ปี พ.ศ. 2563 จึงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

เมื่อพิจารณาสารฝนหลวงที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ได้แก่ สารสูตรร้อน ที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงในขั้นตอนการเลี้ยงให้อ้วน จะสังเกตเห็นว่าในปี พ.ศ. 2561 ใช้แคลเซียมออกไซด์ ปริมาณ 15.40 ตัน ในปี พ.ศ. 2562 ได้เปลี่ยนมาใช้สารสูตรร้อน แคลเซียมคลอไรด์ (สูตร 6) ปริมาณ 28.7 ตัน จะพบว่าปริมาณฝนที่ประเมินได้จากปฏิบัติการฝนหลวงมีค่าสูงขึ้นกว่าปี พ.ศ. 2561 และใช้แคลเซียมคลอไรด์ในปี พ.ศ. 2563 ปริมาณ 34.8 ตันร่วมกันแคลเซียมออกไซด์ปริมาณ 4.6 ตัน พบว่าปริมาณฝนที่ประเมินได้จากปฏิบัติการฝนหลวงมีค่าสูงขึ้นกว่าปี พ.ศ. 2562 เช่นกัน ส่วนในปี พ.ศ. 2564 มีการเปลี่ยนสารสูตรร้อนกับไปใช้แคลเซียมออกไซด์ (สูตร 8) ในปริมาณที่มากขึ้นกว่าทุกปีที่ผ่านมา คือปริมาณ 64.95 ตัน แต่กลับพบว่าปริมาณฝนที่ประเมินได้จากปฏิบัติการฝนหลวงมีค่าลดลง โดยลดลงต่ำกว่าที่ประเมินได้จากปี พ.ศ. 2563

เมื่อพิจารณาสารสูตรเย็นที่ใช้ในขั้นตอนการโจมตี ได้แก่ ยูเรียและน้ำแข็งแห้ง จะสังเกตเห็นได้ว่า ในปี พ.ศ. 2561 ไป พ.ศ.2562 มีการใช้ยูเรียและน้ำแข็งแห้งปริมาณสูงขึ้นประมาณ 3 เท่า และประเมินได้ ปริมาณฝนที่สูงขึ้น ในขณะที่ ปี พ.ศ.2563 มีการใช้สารยูเรียและน้ำแข็งแห้งลดลงประมาณ 2 เท่า แต่ ประเมินได้ปริมาณฝนสูงกว่าปี พ.ศ.2562 ส่วนในปี พ.ศ. 2564 มีการใช้ยูเรียสูงขึ้นกว่าทุกปีที่ผ่านมาและ ใช้ น้ำแข็งแห้งปริมาณใกล้เคียงปี พ.ศ. 2563 แต่ผลการประเมินปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงกลับ มีค่าลดลง ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์

การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ เมื่อพิจารณาปฏิบัติการฝนหลวงเป็นกระบวนการดำเนินงานที่มี เป้าหมายในการรวบรวมและเคลื่อนย้ายมวลน้ำในอากาศให้เป็นฝนตกลงในพื้นที่หรือบริเวณที่ต้องการ เพื่อ เป้าหมายและวัตถุประสงค์ของแต่ละปฏิบัติการเช่น เติมน้ำในอ่างเก็บน้ำ บรรเทาภัยแล้งให้กับเกษตรกร ควบคุมไฟป่า ฯลฯ ฝนหลวงถือได้ว่าเป็นนวัตกรรมเพื่อประชาชนอย่างแท้จริง แฝงไว้ด้วยปัจจัยเชิงสังคม หลากหลาย เป็นความผูกพันของประชาชนโดยเฉพาะเกษตรกรกับสถาบันกษัตริย์ การเทอดพระเกียรติ พระอัจฉริยภาพของพระมหากษัตริย์ไทย ช่วยบรรเทาภัยแล้ง สร้างความยืดหยุ่นกับการบริหารจัดการน้ำ ให้กับผู้มีส่วนได้เสีย ทั้งนี้ยังมีผลทางอ้อมต่าง ๆ อีกมากมาย ทั้งที่ประเมินเป็นตัวเงินได้และไม่ได้โดยตรง เช่น ส่งเสริมการเข้าถึงทรัพยากรน้ำทั้งในและนอกเขตพื้นที่ชลประทาน การช่วยเกษตรกรสู้กับวิกฤตภัย แล้ง ทำให้พืชผลสามารถเจริญเติบโตเก็บเกี่ยวได้ไม่ขาดน้ำจนเสียหายส่งผลต่อสภาพความเป็นอยู่ที่ดีของ เกษตรกร ลดปัญหาต่าง ๆ ที่อาจตามมาได้อย่างมาก

เช่นเดียวกับกิจกรรมการผลิตหรือบริการอื่น ๆ ย่อมต้องมีการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ในการ ดำเนินการ และการดำเนินงานให้ไปในทิศทางพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญตามกรอบการ พัฒนาประเทศไทยและขององค์การสหประชาชาติ นั้น การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการและการดำเนินการ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน เป็นต้น จึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไปในการพัฒนากระบวนการผลิตหรือบริการใดๆ กล่าวคือเราทุกคนล้วนใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศ (ecosystem service) แต่จะอย่างไรให้เกิดการขับเคลื่อนการ พัฒนาและการบริหารจัดการการใช้ทรัพยากรต่างๆให้เกิดความสมดุลในมิติต่างๆต่อการใช้บริการของ ระบบนิเวศ ส่งเสริมชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์และการพัฒนาต่างๆ รวมถึงด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อการ พัฒนาอย่างยั่งยืน ดังนั้นความตระหนักต่อสิ่งเหล่านี้เป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ผล การศึกษาประเด็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกรมฝนหลวงฯครั้งนี้ เป็นการ ตอกย้ำให้เห็นถึงความตระหนักต่อการให้บริการของระบบนิเวศต่อการพัฒนา ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะเชื่อมโยง ไปยังแนวทางในการปฏิบัติในแต่ละกิจกรรมขององค์กรในอนาคตในทิศทางของการพัฒนาอย่างยั่งยืน

การเทียบเคียงกับค่าเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmark) กับหน่วยงานอื่นเพื่อประเมินประสิทธิภาพ การใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ในปฏิบัติการฝนหลวงไม่สามารถทำได้โดยตรงเนื่องจากไม่มีหน่วยงานใดในประเทศ ที่ทำปฏิบัติการแบบเดียวกันนี้ การใช้ผลการประเมินนี้เป็นฐานข้อมูลค่าเทียบภายในองค์กรเพื่อการพัฒนา กระบวนการในอนาคตจึงเป็นประเด็นที่ควรพิจารณา อย่างไรก็ตามผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้คือฝน ซึ่ง มีความแตกต่างจากผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตทั่วไป เนื่องจากมีปัจจัยซึ่งควบคุมได้ยาก หรือควบคุมไม่ได้หลายปัจจัย จึงควรพิจารณาในประเด็นอื่น ๆ เพื่อการใช้ทรัพยากรที่เป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อม เช่น การวางแผนการบินที่คำนึงถึงประเด็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก อัตราการใช้ เชื้อเพลิงที่เหมาะสมของการปรับแต่งทางเทคนิคของอากาศยาน การปรับเปลี่ยนทรัพยากรที่มีความเป็น มิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ามาทดแทน หรือพิจารณาจัดหาทรัพยากรที่มีระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี

ตั้งแต่เริ่มกระบวนการผลิตจนถึงผู้ใช้ เช่นการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain Management) ซึ่งเป็นแนวคิดของการบริหารจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มุ่งเน้นการพัฒนาและปรับปรุงการดำเนินงานในกิจกรรมโลจิสติกส์ที่มีการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไป ด้วยตลอดโซ่อุปทาน ตั้งแต่แหล่งที่มาและกระบวนการจัดหาวัตถุดิบ การออกแบบผลิตภัณฑ์และบริการ กระบวนการผลิต การบริการ กระบวนการขนส่งทั้งภายในและภายนอกองค์กร การบริโภค รวมถึงการจัดการตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle) ของผลิตภัณฑ์และปัจจัยการผลิตอื่นๆ ในขณะที่ต้องบรรลุวัตถุประสงค์สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของกิจกรรมโลจิสติกส์ตลอดโซ่อุปทาน การลดต้นทุนโลจิสติกส์และความสามารถในการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างทันเวลา มีคุณภาพและเชื่อถือได้ การจัดหาทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงที่มาจากผู้ผลิตและผู้จำหน่ายที่มีการประยุกต์ใช้แนวความคิดของระบบการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสีเขียวจะช่วยสนับสนุนแนวทางการพัฒนาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นแนวทางไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนได้ ผลการวิจัยครั้งนี้จึงสามารถนำไปเป็นฐานข้อมูลหรือค่าเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmark) สำหรับนำไปพัฒนาการใช้ทรัพยากรต่างๆของปฏิบัติการฝนหลวงในแนวทางคาร์บอนต่ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีหรือในพื้นที่ปฏิบัติการฝนหลวงอื่นๆได้ต่อไป

4 สรุปและขอเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)

4.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นโครงการวิจัยย่อยที่ 3 มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาจัดทำฐานข้อมูลและวิเคราะห์สถิติภูมิอากาศเชิงพื้นที่เพื่อหาปริมาณน้ำในบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับการจัดทำฝนหลวง

2. ประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง

ผลการศึกษสามารถสรุปประเด็นสำคัญตามวัตถุประสงค์ดังนี้

การศึกษาตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 การศึกษาข้อมูลภูมิอากาศเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศ พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ตัวแปรภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศสำหรับการทำฝนหลวง

การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศ ได้ทำการศึกษาจากสถานีตรวจวัดอากาศจำนวน 4 สถานี ในช่วงเวลา 31 ปี (2533-2563) ในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำเพชรบุรีและข้างเคียง ได้แก่ สถานีตรวจวัดอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ และได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในบรรยากาศจากข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างราย 3 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันเฉลี่ยที่สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 51.23-75.15 มม. 53.33-80.78 มม. และ 52.31-77.88 มม. และ 48.85-73.24 มม. ตามลำดับ และปริมาณน้ำในบรรยากาศรายวันสูงสุดที่สถานีตรวจวัดภูมิอากาศหัวหิน เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และหนองพลับ มีค่าอยู่ระหว่าง 60.21-84.19 มม. 61.56-92.32 มม. และ 60.97-89.82 มม. และ 55.65-81.01 มม. ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรภูมิอากาศและปริมาณน้ำในบรรยากาศสำหรับการทำฝนหลวง จากข้อมูลสถานีตรวจวัดทั้ง 4 สถานี พบว่า จากข้อมูลรายวันช่วงปี 2560-2563 ในวันที่ปฏิบัติการฝนหลวง พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์สำหรับส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง ร้อยละ 71-90 ความเร็วลม ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความเร็วลมระหว่าง 11-20 นอต สำหรับปริมาณน้ำในบรรยากาศเฉลี่ย ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงระหว่าง 71-90 มม. และปริมาณน้ำในบรรยากาศสูงสุด ส่วนใหญ่ อยู่ในช่วงระหว่าง 81-100 มม.

การศึกษาตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง ครอบคลุมขอบเขตการประเมินตั้งแต่การขนส่งวัตถุดิบจนกระทั่งสิ้นสุดปฏิบัติการฝนหลวง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เกิดจากกระบวนการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นมลพิษทางตรง (direct emissions) คิดเป็นร้อยละ 60 ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของปฏิบัติการฝนหลวง และเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (indirect emissions) ซึ่งติดตัวมากับ

ทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงร้อยละ 40 ดังนั้นประสิทธิภาพของอากาศยาน การตัดสินใจ ขึ้นกับปฏิบัติการ รูปแบบการปฏิบัติการ เป็นประเด็นสำคัญ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของปฏิบัติการฝนหลวงและผลกระทบต่อ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง

2. การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทางอ้อม (indirect emissions) ซึ่งติดตัวมากับทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงมากน้อยแตกต่างกันเนื่องจากสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกัน และปริมาณสารที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงแตกต่างกัน โดยสารฝนหลวงที่สำคัญซึ่งส่งผลกระทบต่อ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ สารฝนหลวงสูตรร้อน เช่น แคลเซียมออกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์ ใช้ในขั้นตอนการเลี้ยงให้อ้วน และ สารฝนหลวงสูตรเย็น เช่น น้ำแข็งแห้งและยูเรีย ใช้ในขั้นตอนการโจมตี เป็นต้น
3. การเลือกใช้สารฝนหลวง การควบคุมปริมาณการใช้สารฝนหลวง ส่งผลกระทบต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวง หากปรับปรุงการใช้สารฝนหลวงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นหรือการเลือกใช้สารฝนหลวงซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ สามารถช่วยลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวงลงได้ และวิธีการประเมินปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงส่งผลโดยตรงต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวงเช่นกัน โดยค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวงที่ประเมินจากปริมาณฝนด้วยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) จากฝนสถานี ตั้งแต่ปีพ.ศ.2561 - พ.ศ. 2564 มีค่าเท่ากับ 1,599.54, 1,505.68, 567.04 และ 2,458.21 kgCO₂ eq/ล้านลบ.ม. ตามลำดับ , ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวงที่ประเมินจากปริมาณฝนเรดาร์ ตั้งแต่ปีพ.ศ.2561 - พ.ศ.2564 มีค่าเท่ากับ 550.73, 530.11, 258.05 และ 680.60 kgCO₂ eq/ล้านลบ.ม. ตามลำดับ และค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของฝนหลวงที่ประเมินจากปริมาณฝนดาวเทียม (ดาวเทียม JAXA) ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2561 - พ.ศ.2564 มีค่าเท่ากับ 819.41, 1,185.75, 410.27 และ 660.51 kgCO₂ eq/ล้านลบ.ม. ตามลำดับ

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการการศึกษาวิจัยในพื้นที่วิจัยอื่นที่มีสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศที่แตกต่างกันเพิ่มเติม เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาประสิทธิภาพปฏิบัติการบินฝนหลวงต่อไป โดยสามารถใช้ข้อมูลจากการวิจัยครั้งนี้เป็นฐานข้อมูลหรือ benchmark ในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรต่างๆของปฏิบัติการฝนหลวงในประเด็นการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไป
2. ควรมีการศึกษาทบทวนประเด็นทรัพยากรหรือสารฝนหลวงที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงต่อประสิทธิภาพของปฏิบัติการฝนหลวงอย่างเป็นระบบโดยอาจรวมประเด็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและด้านอื่นๆเพิ่มเติมเข้าไปพิจารณาด้วย
3. ควรมีการศึกษาเพื่อหาข้อสรุปของวิธีการประเมินฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง เพื่อให้เกิดแนวทางการประเมินประสิทธิภาพของปฏิบัติการฝนหลวง และการนำผลที่ได้ไปใช้ในการศึกษาวิจัยต่อยอดอย่างเป็นระบบเดียวกันได้

5 เอกสารอ้างอิง (References)

- ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์. 2557. ปริมาณฝนสูงสุดที่อาจเป็นไปได้ (Probable Maximum Precipitation). เอกสารประกอบการบรรยายโครงการปริญญาโทภาคพิเศษ ปีการศึกษา 2556 ของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 24 หน้า.
- นิตยา ศิริวัน และชลติ สวรรณ. 2559. คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าจากผ้าบาติก. วารสารวิชาการ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 12 (ฉบับที่ 3), หน้า 83.
- น้ำทิพย์ แจกู่ และ เพียงพิศ กลิ่นหรั่ง. 2561. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร: กรณีศึกษาบริษัท กราวน์ บิสซิเนส จำกัด. วารสารวิชาการปทุมวัน, ปีที่ 8 (ฉบับที่ 21), หน้า 29.
- พรรณทิพย์ แต่งอ่อน. 2557. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน: กรณีศึกษา โรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 173 หน้า.
- ดร.รัตนาวรรณ มั่งคั่ง, รศ.ดร.แซบเบียร์ กิวาลา, รศ.ดร.งามทิพย์ ภู่วโดม และ รศ.ดร.สิรินทรเทพ เต่า ประยูร. 2554. คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าว. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ปีที่ 24 (ฉบับที่ 75), หน้า 53.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2561. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. พิมพ์ครั้งที่ 6. บริษัท พีทู ดีไซน์ แอนด์ พริ้นท์ จำกัด.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก). (Online).
<http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mWlcxcGMzTnBiMjQ9>, 23 เมษายน 2564.
- Electricity Generation Authority of Thailand. 1989. Basic Data of Dam Including Maximum Design Flood and Criteria for Flood Routing. Report. Applied Hydrology and Research Section Meteorology and Hydrology Division Survey and Ecology Department.
- FAO. 2000. Report on Dam Safety under Natural Resources Management Project for Bhumibol Dam, Sirikit Dam, Kiu Lom Dam, ThapSalao Dam, Pasak Dam. Dam Safety Review Panel, Bangkok.
- ISO. 2006. Environmental management: life cycle assessment; requirements and guidelines. ISO 14040: 2006. Geneva, Switzerland
- Miller J.F., 19630. Probable Maximum Precipitation and Rainfall-Frequency Data for Alaska. Technical Paper No.47, Weather Bureau, United States Department of Commerce Washington, DC.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (Online).
https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html, 15 June 2012.

- U.S. Department of Commerce Environmental Science Services Administration and U.S. Department of the Army, Corps of Engineers. 1970. Probable Maximum Precipitation, Mekong River Basin. Hydrometeorological Report NO.46.152 pages.
- U.S. Environmental Protection Agency, 2015. U.S. Jet Fuel Use and CO2 Emissions Inventory for Aircraft below ICAO CO2 Standard Thresholds. 28 pages.
- Wang, G., 1999: Principles and Methods of PMP/PMF Calculations. Beijing, China Water Power Press and Yellow River Water Resources Publishing House.
- WachiraSarmwung. 2000. Generalized Estimates of Probable Maximum Precipitation for the Eastern Part of Thailand. AIT Thesis No.WM-99-09, Asian Institute of Technology School of Civil Engineering Bangkok, Thailand.
- World Meteorological Organization. 1986. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. Operation Hydrology Report No.1, WMO-No.332. 269 pages.
- World Meteorological Organization. 2009. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). WMO-No.1045. 257 pages.

ภาคผนวก ก

1.การเตรียมข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีรายการ

1.1.ข้อมูลทรัพยากร

1. ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ประกอบด้วย น้ำมันเครื่องบิน, ยูเรีย, น้ำแข็งแห้ง, แคลเซียมออกไซด์, แคลเซียมคลอไรด์, และเกลือแปะ ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูล โดยขอความอนุเคราะห์ ข้อมูลปริมาณน้ำมัน และสารฝนหลวงที่ใช้สำหรับปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2561-2564 จากกรมฝนหลวง และการบินเกษตร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวงรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2564

รายการ		ปริมาณทรัพยากร				หน่วย
		2561	2562	2563	2563	
input	รายละเอียด					
จำนวนครั้งที่บิน		156	289	195	178	ครั้ง
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	21,066.66	72,166.67	40,050.00	52,583.33	ลิตร
สารฝนหลวงสูตรเย็น						
ยูเรีย	สูตร4	9.90	34.30	16.10	35.70	ตัน
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	8.30	30.10	13.20	10.30	ตัน
สารฝนหลวงสูตรร้อน						
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	15.40	-	4.60	64.95	ตัน
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	-	28.70	34.80	0	ตัน
สารฝนหลวงสร้างแกนกลั่นตัว						
เกลือแปะ	สูตร1	25.30	105.00	62.70	64.20	ตัน

2. รายละเอียดการขนส่งสารปนหลงซึ่งรวบรวมข้อมูลจากรายการตรวจรับสารปนหลง ของหน่วยปฏิบัติการปนหลงหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560- พ.ศ. 2564 ดังแสดงในตารางที่ 2 รายการตรวจรับน้ำแข็งแห้งของหน่วยปฏิบัติการปนหลงหัวหิน จากบริษัทปตท. ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560- พ.ศ. 2564 ดังแสดงในตารางที่ 3 และการสอบถามไปยังบริษัทที่ทำการขายและจัดส่งสารปนหลงซึ่งได้ข้อมูลที่ไม่แน่ชัดทั้งระยะทาง และประเภทของรถที่ใช้ในการขนส่ง จึงกำหนดให้ระยะทางที่ใช้ในการจัดส่งคิดจากที่ตั้งของบริษัทผู้จำหน่ายสารปนหลงถึงหน่วยปฏิบัติการปนหลงหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ดังแสดงในตารางที่ 4 และกำหนดประเภทของรถที่ใช้ในการขนส่งคือ รถบรรทุก 10 ล้อ น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 16 ตัน

***ข้อมูลอีกส่วนที่สำคัญแต่ไม่ได้ถูกพิจารณาเนื่องจากความไปพร้อมของข้อมูล ได้แก่ข้อมูลการขนส่ง น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องบิน แต่อย่างไรก็ตามจากการคำนวณพบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการขนส่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขั้นตอนการปฏิบัติการบินปนหลง จึงสามารถละเว้นได้

ตารางที่ 2 รายการตรวจรับน้ำแข็งแห้งของหน่วยปฏิบัติการปนหลงหัวหิน จากบริษัทปตท. ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560- พ.ศ. 2564

ที่	สัญญาที่	วันที่	จำนวน/ตัน	ตรวจรับ	ผู้ขาย/บริษัท
1	สูตร 1 4/2 เกลือแป้ง วส./ผล. 14/2560	30 ธ.ค. 59	100	21 ก.พ. 60	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เตียมุยกวง จังหวัดเพชรบุรี
2	สูตร 1 4/2 เกลือแป้ง วส./ผล. 43/2563	3 ก.ย. 63	70	10 ก.ย. 63	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เตียมุยกวง จังหวัดเพชรบุรี
3	สูตร 1 4/2 เกลือแป้ง วส./ผล. 14/2564	28 ม.ค. 64	100	4 มี.ค. 64	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เตียมุยกวง จังหวัดเพชรบุรี
4	สูตร 4 ยูเรีย วส./ผล.27/2560	31 มี.ค. 60	100	23 พ.ค. 60	บริษัท เทอราโกร ไบโอ-เทค จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร (นายนพดล น้ำดอกไม้)
5	สูตร 4 ยูเรีย วส./ผล.25/2561	26 มิ.ย. 61	100	29 ส.ค. 61	บริษัท ตั้งทรงธรรม จำกัด จังหวัดปทุมธานี (นางสาวพิมพ์ชนก นีรกุล)
6	สูตร 6 แคลเซียมคลอไรด์ วส./ผล. 20/2559	22 ม.ค. 59	100	16-ก.พ.-59	บริษัท เคมีเอเชีย จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร (นายวีระ พนโสภณกุล)
7	สูตร 6 แคลเซียมคลอไรด์ วส./ผล.10/2560	23 ธ.ค. 59	80	28-ก.พ.-60	บริษัท เคมีเอเชีย จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร (นายวีระ พนโสภณกุล)
8	สูตร 8 แคลเซียมออกไซด์ วส./ผล. 13/2560	30 ธ.ค. 59	100	18-เม.ย.-60	บริษัท สุธากัญจน์ จำกัด(มหาชน) จังหวัดนนทบุรี (นางสาวลัดดาวัลย์ พูนผล)

ตารางที่ 4 ระยะทางการขนส่งสารฝนหลวง ของหน่วยปฏิบัติการฝนหลวงหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และบริษัทผู้จำหน่ายสารฝนหลวง

ที่	สารฝนหลวง	ระยะทางไป	ระยะทางกลับ	ผู้ขาย/บริษัท
1	สูตร 6 แคลเซียมคลอไรด์	190 กม.	189 กม.	บริษัท เคมีเอเชีย จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร
2	สูตร 8 แคลเซียมออกไซด์	333 กม.	330 กม.	บริษัท สุธากัญจน์ จำกัด(มหาชน) จังหวัดนนทบุรี
3	สูตร 1 4/2 เกลือแป้ง	58.7 กม.	58.4 กม.	ห้างหุ้นส่วนจำกัด เตียม่วยกวง จังหวัดเพชรบุรี
4	สูตร 4 ยูเรีย	186 กม.	188 กม.	บริษัท เทอร่าโกร ไปโอ-เทค จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร
5	สูตร 3 น้ำแข็งแห้ง	342 กม.	360 กม.	บริษัท ปตท. จังหวัดระยอง

1.2.ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)

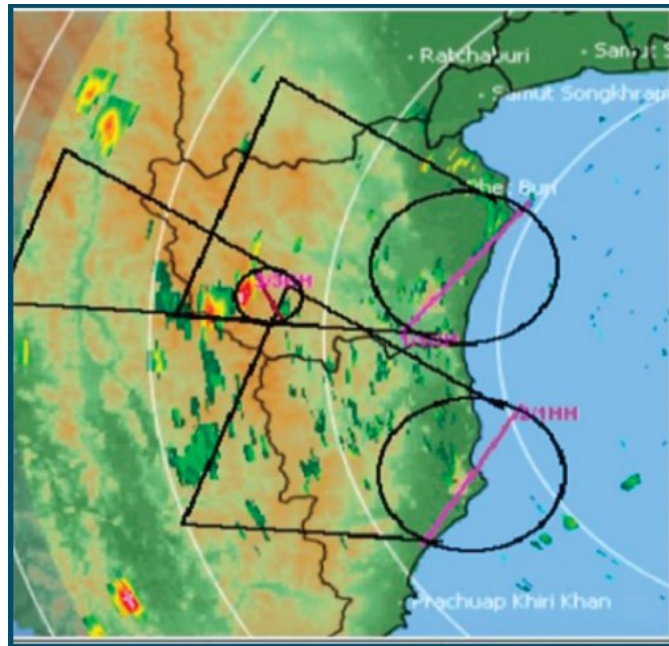
2. การหาค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งเป็นค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยในการผลิตต่อหน่วยทรัพยากรหรือจากกิจกรรมนั้นๆ เช่น ในการผลิตน้ำมัน Diesel (น้ำมันดีเซล / น้ำมันโซลาร์) ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก 0.3284 kgCO₂ eq ต่อการผลิตน้ำมัน Diesel (น้ำมันดีเซล / น้ำมันโซลาร์) 1 กิโลกรัม (Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018): ออนไลน์) สามารถรวบรวมข้อมูลได้จากทั้งการศึกษาทดลอง งานวิจัยต่างๆและฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือ ในกรณีศึกษานี้จะใช้จากฐานข้อมูล Eco invent ซึ่งอยู่ในระบบฐานข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้โปรแกรม SimaPro ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับประเมิน LCA ของผลิตภัณฑ์หรือบริการต่างๆ และฐานข้อมูลเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) จากฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือเช่น องค์กรการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) จากการรวบรวมข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สำหรับปฏิบัติการฝนหลวงจากฐานข้อมูล eco-invent ในโปรแกรม SimaPro และฐานข้อมูลที่น่าเชื่อถือ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 มูลค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สำหรับปฏิบัติการฝนหลวง

ข้อมูลกิจกรรมที่ศึกษา	มลสารที่เกี่ยวข้อง	รายการ	หน่วย	ค่า Emission Factor (kgCO2 eq./หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิงค่า Emission Factor
-จำนวนครั้งของการขนส่ง ทรัพยากร -ระยะทางในการขนส่ง ทรัพยากร -ประเภทของรถที่ใช้ในการ ขนส่ง -จำนวนครั้งในการขึ้นบิน -ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ใน ปฏิบัติการฝนหลวง -ประเภทของเครื่องบินที่ใช้ ในปฏิบัติการ	CO2	พลังงาน (เผาไหม้อยู่กับที่)	ลิตร	2.7080	IPCC Vol.2 table 2.2
		รถกระบะ4ล้อ(บรรทุกเต็ม)	ตัน-กม.	0.1472	TH database, TGO
		รถกระบะ4ล้อ(บรรทุกเปล่า)	กม.	0.3270	TH database, TGO
		รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุก75%)	ตัน-กม.	0.0691	TH database, TGO
		รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุก50%)	ตัน-กม.	0.0972	TH database, TGO
		รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุกเต็ม)	ตัน-กม.	0.0533	TH database, TGO
		รถบรรทุก10ล้อ(บรรทุกเปล่า)	กม.	0.5900	TH database, TGO
		เครื่องบิน Caravan	LTO/ชม.	0.1365/0.5933	EPA 2015
		เครื่องบิน Casa	LTO/ชม.	0.2953/0.6592	EPA 2015
		น้ำมันเครื่องบิน (JetA1)	ตัน	0.3284	TH database, TGO
		เกลือแปะง	ตัน	0.0056	TH database, TGO
		ยูเรีย	ตัน	3.2826	Ecoinvent 2.2
		น้ำแข็งแห้ง	ตัน	1	TH database, TGO
แคลเซียมคลอไรด์	ตัน	0.8729	Ecoinvent 2.2		
แคลเซียมออกไซด์	ตัน	1.0215	Ecoinvent 2.2		

1.3. ปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจากปฏิบัติการฝนหลวง

ปริมาณฝนที่ตกใน 3 รูปแบบที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ประกอบด้วยปริมาณฝนจากการประเมิน คือ 1) การประเมินด้วย วิธี Inverse Distance Weighted (IDW) จากฝนสถานี (โครงการวิจัยย่อยที่ 1), 2) การประเมินจากฝนเรดาร์ และ 3) การประเมินจากฝนดาวเทียม (ดาวเทียม JAXA) (โครงการวิจัยย่อยที่ 2) โดยใช้กรวยฝนหลวงซึ่งเป็นแนวปฏิบัติการโปรยสารสำหรับปฏิบัติการฝนหลวง เป็นตัวกำหนดพื้นที่ศึกษาปริมาณน้ำฝน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1 เป็นฝนที่เกิดขึ้นจากปฏิบัติการฝนหลวง



รูปที่ 1 ตัวอย่างกรวยฝนหลวงจากรายงานผลการปฏิบัติการฝนหลวง

1) ปริมาณฝนจากการประเมินฝน โดยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) ของฝนสถานีจากโครงการย่อยที่ 1 ซึ่งได้ทำการคำนวณปริมาณฝนในหน่วย มิลลิเมตร นำมาปรับค่าเป็นหน่วยปริมาณน้ำฝนโดยคูณกับพื้นที่กรวยในวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงภายในลุ่มน้ำเพชรบุรี ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร จะได้ค่าปริมาณฝนในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับปี พ.ศ. 2561, 2562 และ 2563 เท่ากับ 92.16, 295.84 และ 458.19 ล้านลูกบาศก์เมตรตามลำดับ

โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนจากการประเมินฝน โดยวิธี IDW ของฝนสถานี ของวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 2562 2563 และ 2564 ดังตารางที่ 6.1 6.2 6.3 และ 6.4

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 จากการประเมิน
ด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
04/04/2018	0.35	4231979157.47	1464264.788
11/04/2018	0.01	1420209506.39	20308.99594
15/04/2018	1.12	1290810782.80	1446998.888
16/04/2018	0.00	1703876075.59	0
17/04/2018	20.27	2301815936.45	46646299.95
19/04/2018	5.48	1752618775.66	9611361.366
20/04/2018	0.20	2799937866.28	559987.5733
21/04/2018	0.23	1103545112.18	256022.466
22/04/2018	0.12	289700150.36	33605.21744
25/04/2018	0.00	956417925.14	0
26/04/2018	0.21	1657717941.49	343147.6139
30/04/2018	4.66	1115434458.35	5201270.879
02/05/2018	2.04	1750796039.13	3571623.92
03/05/2018	3.55	1127525292.83	4001587.264
04/05/2018	3.46	1599503158.09	5526283.411
05/05/2018	4.68	2726985986.67	12756840.45
08/05/2018	0.44	1652295806.32	722053.2674
ผลรวม			92,161,656.05

ตารางที่ 6.2 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2562 จากการประเมิน
ด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
19/03/2019	1.466	1919771908	2814385.62
21/03/2019	1.882	3419522954	6435542.20
26/03/2019	0.000	915532385.4	0.00
27/03/2019	0.058	2271270947	131733.71
28/03/2019	7.807	3097743346	24184082.30
29/03/2019	1.678	3802832698	6381153.27
30/03/2019	1.652	2267899442	3746569.88
31/03/2019	0.000	1679705761	0.00
01/04/2019	11.484	2444233757	28069580.47
03/04/2019	1.567	3040306221	4764159.85
05/04/2019	6.581	2827307634	18606511.54
06/04/2019	1.445	2579118413	3726826.11
07/04/2019	11.903	4514615387	53737466.95
15/04/2019	3.278	1660002079	5441486.81
16/04/2019	2.703	977026058.2	2640901.44
19/04/2019	0.000	2115664839	0.00
20/04/2019	1.046	1907174068	1994904.08
22/04/2019	2.099	3104652845	6516666.32
25/04/2019	1.646	3310582914	5449219.48
26/04/2019	0.000	1329567146	0.00
28/04/2019	0.714	1099962498	785373.22
01/05/2019	1.828	1503123708	2747710.14

ตารางที่ 6.2 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2562 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
05/05/2019	0.459	1733902895	795861.43
06/05/2019	8.010	2432738205	19486233.02
08/05/2019	2.871	1960636040	5628986.07
15/05/2019	1.846	3301942604	6095386.05
16/05/2019	4.034	3860214012	15572103.33
17/05/2019	1.758	1506155179	2647820.81
19/05/2019	1.790	1803374228	3228039.87
21/05/2019	8.899	1378187482	12264490.41
22/05/2019	4.461	1148521481	5123554.33
23/05/2019	8.819	2189343053	19307816.39
24/05/2019	1.613	0	0.00
01/06/2019	3.285	868233725	2852147.79
ผลรวม			295,836,939.73

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2563 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
28/02/2020	0.014	3989352432	55850.93
29/02/2020	0.000	4699139220	0.00
02/03/2020	0.000	4150514432	0.00
04/03/2020	0.006	2431796501	14590.78
06/03/2020	0.000	4135199684	0.00
13/03/2020	0.000	3184815344	0.00
15/03/2020	3.003	4112158673	12348812.49
16/03/2020	0.364	3204747738	1166528.18
18/03/2020	0.542	1847749434	1001480.19
20/03/2020	1.360	3317268132	4511484.66
21/03/2020	0.000	2309051778	0.00
02/04/2020	0.195	4687991232	914158.29
03/04/2020	0.000	2275559127	0.00
04/04/2020	0.547	1644579231	899584.84
05/04/2020	0.791	4131227792	3267801.18
06/04/2020	9.090	3950823257	35912983.40
07/04/2020	4.661	2505320124	11677297.10
08/04/2020	2.224	2032071921	4519327.95
09/04/2020	0.013	1724906574	22423.79
10/04/2020	2.933	1747282500	5124779.57
11/04/2020	2.960	1658460020	4909041.66
12/04/2020	3.227	1052028705	3394896.63

ตารางที่ 6.3 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2563 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
14/04/2020	7.947	611698582.5	4861168.64
15/04/2020	0.778	241546665.8	187923.31
16/04/2020	3.173	1923561559	6103460.83
17/04/2020	2.648	4068776402	10774119.91
18/04/2020	1.088	4574644733	4977213.47
19/04/2020	0.517	2225975832	1150829.51
22/04/2020	0.000	4780612376	0.00
25/04/2020	7.141	5399165767	38555442.74
26/04/2020	0.092	4843497704	445601.79
27/04/2020	8.485	1476410208	12527340.62
29/04/2020	3.297	2415079940	7962518.56
30/04/2020	0.371	5417975388	2010068.87
01/05/2020	0.298	1737770989	517855.75
02/05/2020	0.218	2133441833	465090.32
03/05/2020	0.000	1847121018	0.00
05/05/2020	0.542	1360540861	737413.15
06/05/2020	0.618	4750042374	2935526.19
07/05/2020	1.047	4915210033	5146224.90
08/05/2020	1.914	5755361604	11015762.11
09/05/2020	0.112	4880656363	546633.51
11/05/2020	1.853	2591366365	4801801.87
12/05/2020	0.000	907135506.3	0.00

ตารางที่ 6.3 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2563 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
14/05/2020	0.009	3123938233	28115.44
15/05/2020	0.321	1875291185	601968.47
17/05/2020	1.025	3679351646	3771335.44
18/05/2020	6.023	5292050072	31874017.58
19/05/2020	0.118	5788694583	683065.96
21/05/2020	1.215	2054156902	2495800.64
22/05/2020	0.009	1878990202	16910.91
23/05/2020	6.132	4537290679	27822666.45
24/05/2020	1.866	4931729851	9202607.90
25/05/2020	3.775	4998619905	18869790.14
26/05/2020	6.519	2521804916	16439646.25
27/05/2020	0.855	1720148628	1470211.03
28/05/2020	4.842	2299693093	11135113.96
ผลรวม			458,187,212.90

ตารางที่ 6.4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2564 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
3/3/2021	0.0	3554298951087.2	0.0
9/3/2021	0.0	1259783396220.9	0.0
10/3/2021	0.0	2136490751567.6	0.0
13/3/2021			
15/3/2021	0.0	1376055245044.6	0.0
22/3/2021	9.7	3786595847366.6	36900269.8
26/3/2021			
29/3/2021	0.0	2432489416038.4	0.0
30/3/2021	2.0	1929247083182.8	3902114.1
31/3/2021	0.0	2586832486142.1	0.0
1/4/2021	0.0	4079008282777.6	140704.4
2/4/2021	0.0	1261887146364.1	0.0
8/4/2021	8.5	1296162444423.1	11021764.9
10/4/2021	0.0	787004689472.2	0.0
11/4/2021			
12/4/2021	0.0	1863200928435.3	0.0
14/4/2021	9.8	3807993636345.1	37262348.0
16/4/2021	1.4	2805364222635.7	3997432.2
17/4/2021	5.9	1358586527035.8	8082368.5
18/4/2021	1.0	3344540040306.6	3412129.1
19/4/2021			
21/4/2021	0.0	1970174319406.8	0.0

ตารางที่ 6.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2564 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
22/4/2021			
23/4/2021	0.0	726022916601.7	9441.0
25/4/2021	10.0	2687302814032.8	26938201.4
26/4/2021	1.5	1752847887142.3	2714826.5
27/4/2021	16.7	94335050838.4	1576547.6
30/4/2021	0.5	2475275091427.1	1329544.7
1/5/2021	2.9	2010838686091.0	5767289.9
2/5/2021	0.0	1610276596634.0	0.0
10/5/2021	2.7	1365536867398.2	3629717.2
11/5/2021			
15/5/2021			
17/5/2021			
19/5/2021	16.4	748082237965.5	12237942.8
20/5/2021			
21/5/2021	0.0	130537378214.6	0.0
27/5/2021	29.5	585714643130.5	17302188.0
28/5/2021	9.4	4255190072.4	39791.5
29/5/2021	1.4	162202962882.9	222938.0
31/5/2021	0.0	155813959982.9	0.0
1/6/2021	0.0	1947641518198.3	0.0
2/6/2021	0.0	1580900603374.3	0.0
3/6/2021	0.0	1369293045226.4	0.0

ตารางที่ 6.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2564 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
4/6/2021	0.0	2854569461702.5	0.0
18/6/2021	0.0	2273164368582.7	0.0
19/6/2021	0.0	2499256955340.5	0.0
22/6/2021			
24/6/2021	0.7	2301868117820.6	1627970.6
26/6/2021	0.3	1115157522847.8	333614.8
1/7/2021			
3/7/2021	0.0	1276911093622.1	0.0
4/7/2021	0.0	3677356134313.7	0.0
5/7/2021	0.0	958186524497.0	0.0
6/7/2021	0.0	1289880878318.5	0.0
7/7/2021	0.0	2502092640784.8	0.0
8/7/2021	0.0	2469509679972.1	0.0
9/7/2021	0.0	1730842581861.2	0.0
10/7/2021	0.0	2971449806945.9	0.0
12/7/2021	0.0	4669209647342.2	0.0
13/7/2021	0.0	644190079688.3	0.0
14/7/2021	0.0	519431840902.8	0.0
15/7/2021	0.0	689921597242.4	0.0
16/7/2021	0.0	3582521353429.1	0.0
17/7/2021	0.0	2744788354631.6	0.0
29/7/2021	0.0	2854569461702.5	0.0

ตารางที่ 6.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2564 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

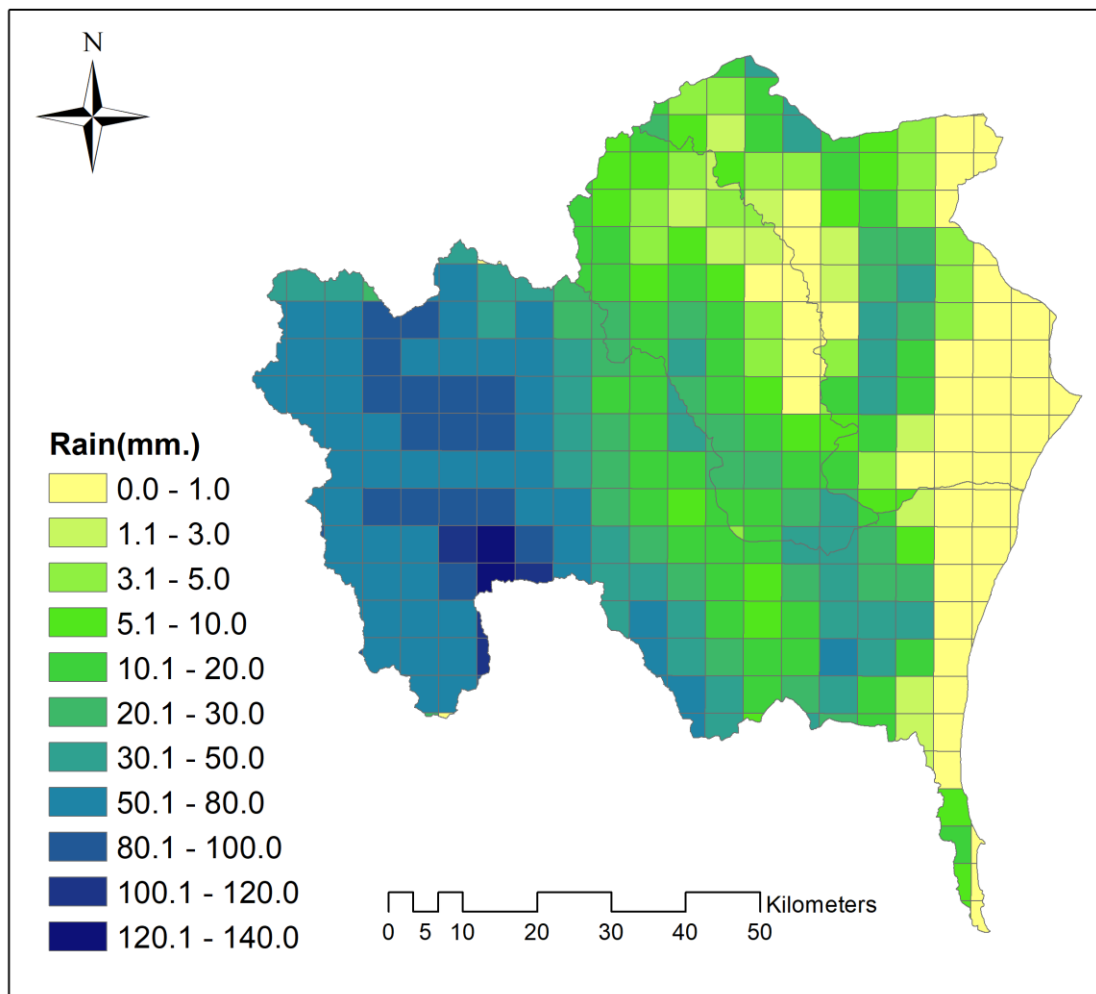
Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
31/7/2021	0.0	2216722391766.9	0.0
4/8/2021			
5/8/2021	0.0	3389426771502.2	0.0
8/8/2021	0.0	3031487764693.9	0.0
11/8/2021	0.0	1788689608775.6	0.0
12/8/2021	0.0	2189088285807.4	0.0
14/8/2021			
16/8/2021	0.0	1974596857279.7	0.0
17/8/2021	0.0	1006504038166.8	0.0
18/8/2021	0.0	1002474435934.6	0.0
20/8/2021			
22/8/2021	0.0	695125400546.3	0.0
23/8/2021	0.0	1333623265695.1	0.0
24/8/2021	0.0	3608990834295.6	0.0
25/8/2021	0.0	2748406804930.7	0.0
26/8/2021			
31/8/2021	0.0	1181084582840.8	0.0
1/9/2021	0.0	1437965040239.7	0.0
2/9/2021			
6/9/2021	0.0	1953763708466.5	0.0
8/9/2021	0.0	1179187742576.7	0.0
9/9/2021	0.0	2216722391766.9	0.0

ตารางที่ 6.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณน้ำฝนของปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2564 จากการประเมินด้วยวิธี IDW ของฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

Date	เฉลี่ยจากสถานีฝน สสน. ด้วยเทคนิค IDW	พื้นที่รูปกรวยฝนหลวง	ปริมาณฝน (ลบ.ม.)
15/9/2021	0.0	796811708722.1	0.0
16/9/2021	0.0	126738759621.3	0.0
19/9/2021	0.0	705061182959.8	0.0
20/9/2021			
21/9/2021	0.0	771450922547.1	0.0
ผลรวม			178,449,145.06

2) ปริมาณฝนจากการประเมินโดยฝนเรดาร์ ซึ่งได้รับจากการติดต่อประสานข้อมูลฝนเรดาร์จากกรมฝนหลวงและการบินเกษตร เพื่อนำข้อมูลมาทำการปรับเทียบและคำนวณปริมาณฝนที่ตกในลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยการแปลงข้อมูลฝนและพิกัดเรดาร์ลงในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรีซึ่งได้ทำการแบ่งพื้นที่เป็นกริด โดยโปรแกรม ArcGIS ดังแสดงในรูปที่ 2 แล้วทำการคำนวณโดยการคูณปริมาณฝนในหน่วยมิลลิเมตรกับพื้นที่ของกริด เพื่อได้เป็นปริมาณฝนในหน่วยลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะทำให้การคิดเฉพาะพื้นที่ภายในกรวยฝนหลวง

โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนรายปีจากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ของวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 2562 2563 และ 2564 ดังตารางที่ 7.1 7.2 7.3 และ 7.4



รูปที่ 2 ตัวอย่างผลการแปลงข้อมูลพิกัดและปริมาณฝนของฝนเรดาร์ลงในโปรแกรม ArcGIS (จากโครงการวิจัยย่อยที่ 2)

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2561 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
4/4/2018	4231979157	4.26	26670036	4	18822098
4/11/2018	1420209506	1.01	6306360	0	187118
4/15/2018	1290810783	0.02	126341	0	0
4/16/2018	1703876076	0.13	787843	0	375509
4/17/2018	2301815936	34.45	215488612	0	2396
4/19/2018	1752618776	16.40	102578105	15	27027785
4/20/2018	2799937866	11.53	72101571	0	2398
4/21/2018	1103545112	6.59	41247108	10	11299988
4/22/2018	289700150	10.15	63486626	5	1591013
4/24/2018	1373140218	7.34	45930795	6	8575127
4/25/2018	956417925	5.88	36779965	5	4369646
4/26/2018	1657717941	19.71	123262023	29	48270928
4/30/2018	1115434458	11.94	74687604	10	11242855
5/1/2018	1703476090	0.01	71287	0.07	127656
5/2/2018	1750796039	15.64	97835256	19	33207160
5/3/2018	1127525293	23.24	145340803	22	25148579
5/4/2018	1599503158	7.56	47285082	0	73636
5/5/2018	2726985987	29.16	182354214	27	74378083
5/7/2018	498520867	3.05	19073326	4	1840162
5/8/2018	1652295806	3.39	21179816	1	1131832
ผลรวมปริมาณฝนเรดาร์ (ลบ.ม.)					267,673,968.26

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยที่ 2

ตารางที่ 7.2 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2562 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย(ตร. ม.)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)
3/4/2019	13250937.3	3.38	21126365.05	0.06	822.84
3/15/2019	85023922.9	2.27	14199662.51	4.15	353130.00
3/19/2019	1919771908	11.65	72845394.11	8.21	15769784.16
3/20/2019		8.52	53269418.05		No in area
3/21/2019	3419522954	6.51	40726638.34	4.93	16862671.90
3/26/2019	915532385	3.29	20567056.94	1.09	1002181.43
3/27/2019	2271270947	12.07	75481817.23	9.52	21622114.69
3/28/2019	3097743346	19.22	120228492.51	13.77	42659192.33
3/29/2019	3802832698	10.23	64014313.22	4.20	15974834.44
3/30/2019	2267899442	14.43	90272280.35	6.64	15048934.99
3/31/2019	1679705761	13.23	82763909.56	1.93	3244685.86
4/1/2019	2444233757	14.34	89697597.41	9.16	22383525.53
4/2/2019		7.09	44358511.47		No in area
4/3/2019	3040306221	21.22	132733301.23	14.23	43264773.71
4/5/2019	2827307634	23.54	147252383.46	21.97	62117375.57
4/6/2019	2579118413	15.29	95614865.40	7.21	18599814.83
4/7/2019	4514615387	22.04	137858197.95	21.53	97208277.42
4/9/2019		18.19	113774633.76		No in area
4/13/2019		11.75	73463920.03		No in area
4/14/2019		23.68	148088898.12		No in area
4/15/2019	1660002079	26.82	167729537.87	9.05	15020832.75

ตารางที่ 7.2 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2562 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย(ตร. ม.)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)
4/16/2019	977026058	25.26	158001195.76	11.50	11231395.48
4/17/2019	197023158	19.45	121674987.71	3.60	709392.35
4/18/2019		26.85	167959375.69		No in area
4/19/2019	2115664839	19.12	119569885.24	5.11	10805638.70
4/20/2019	1907174068	12.46	77940518.25	3.19	6085867.86
4/22/2019	3104652845	16.61	103910212.94	0.09	264866.60
4/25/2019	3310582914	23.60	147587622.94	9.30	30802126.79
4/26/2019	1329567146	23.55	147295192.79	9.44	12556768.81
4/27/2019	1027794593	21.55	134771004.23	6.45	6633046.29
4/28/2019	1099962498	14.34	89672038.78	2.31	2544120.35
4/29/2019	89250198.9	28.92	180860804.44	35.15	3136765.01
4/30/2019	12650561.7	19.38	121214353.56	8.39	106189.68
5/1/2019	1503123708	9.79	61212520.92	5.41	8129081.07
5/2/2019	828999293	8.98	56148820.81	3.22	2665777.03
5/3/2019	1026068638	17.60	110049253.68	8.24	8455743.62
5/4/2019	2701602420	20.59	128766041.93	15.66	42303531.72
5/5/2019	1733902895	10.42	65189099.96	5.43	9408880.27
5/6/2019	2432738205	14.10	88177020.04	10.45	25413663.11
5/8/2019	1960636040	11.17	69846831.88	12.44	24380921.58
5/9/2019	147556361	6.26	39167902.05	0.12	18368.91
5/10/2019	1326334861	5.30	33179882.25	2.72	3613292.15
5/11/2019	2079640777	10.05	62855437.77	8.34	17337512.28

ตารางที่ 7.2 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2562 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย(ตร. ม.)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)
5/12/2019		20.66	129234268.12		No in area
5/13/2019		4.07	25470784.60		No in area
5/14/2019	39413635.7	5.47	34198371.41	0.00	0.00
5/15/2019	3301942604	8.87	55460653.36	8.29	27362830.19
5/16/2019	3860214012	8.31	51984969.18	7.11	27453874.68
5/17/2019	1506155179	14.05	87872337.58	10.23	15401054.99
5/19/2019	1803374228	7.24	45292931.61	4.99	8989958.06
5/20/2019		19.66	122954145.41		No in area
5/21/2019	1378187482	13.26	82940719.39	31.13	42909193.41
5/22/2019	1148521481	5.22	32645187.00	11.42	13112555.68
5/23/2019	2189343053	38.37	239967483.27	24.45	53526657.58
5/24/2019		8.55	53447600.42		No in area
5/28/2019	113210017	12.04	75290902.00	10.51	1189409.93
5/31/2019		11.90	74404444.94		No in area
6/1/2019	868233725	6.41	40097233.88	14.38	12483764.62
6/2/2019	42177941.4	3.37	21068737.37	1.11	46798.60
6/3/2019		7.48	46784269.83		No in area
6/5/2019		9.34	58432323.20		No in area
6/8/2019	612838287	30.11	188294529.94	32.38	19843152.06
6/16/2019	99750042.4	2.42	15110154.50	2.12	211426.99
ผลรวมปริมาณฝนเรดาร์(ลบ.ม.)					840,266,578.93

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยที่ 2

ตารางที่ 7.3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2563 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย (ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
2/28/2020	3989352432	0.17	1041861.28	0.24	950406.22
2/29/2020	4699139220	0.08	522778.51	0.09	400813.81
3/2/2020	4150514432	0.41	2577744.24	0.39	1632489.64
3/4/2020	2431796501	0.70	4391420.37	1.21	2948629.88
3/6/2020	4135199684	1.35	8441285.69	2.03	8413774.53
3/13/2020	3184815344	0.11	670336.38	0.10	304040.53
3/15/2020	4112158673	7.82	48924366.58	10.71	44047397.31
3/16/2020	3204747738	1.75	10962642.85	0.13	418797.13
3/18/2020	1847749434	7.62	47676050.53	19.00	35108280.59
3/19/2020		0.66	4136905.84		No in area
3/20/2020	3317268132	5.35	33431834.65	6.74	22368725.37
3/21/2020	2309051778	2.13	13322494.74	3.74	8627235.21
3/22/2020	2241065042	2.86	17867549.27	6.71	15040045.33
3/29/2020		0.45	2816221.09		No in area
4/2/2020	4687991232	0.76	4724478.60	0.77	3622454.83
4/3/2020	2275559127	5.70	35669393.45	15.08	34305600.75
4/4/2020	1644579231	0.85	5303818.12	1.77	2913781.65
4/5/2020	4131227792	6.31	39441888.70	9.77	40357802.01
4/6/2020	3950823257	10.15	63454312.63	14.06	55546060.99
4/7/2020	2505320124	1.83	11431404.72	2.91	7284380.96
4/8/2020	2032071921	3.16	19758542.32	1.73	3515373.83

ตารางที่ 7.3 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2563 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย (ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
4/9/2020	1724906574	5.96	37285296.07	1.12	1929937.14
4/10/2020	1747282500	3.99	24939612.62	8.07	14100904.24
4/11/2020	1658460020	6.05	37820502.05	15.36	25480795.03
4/12/2020	1052028705	7.56	47275736.16	8.04	8461017.69
4/13/2020	4398264783	0.37	2318935.91	1.44	6321780.79
4/14/2020	611698583	0.83	5205962.98	1.13	691444.41
4/15/2020	241546666	0.78	4907230.16	0.54	129642.33
4/16/2020	1923561559	9.39	58720348.29	15.57	29940941.50
4/17/2020	4068776402	0.00	7048.64	0.00	0.00
4/18/2020	4574644733	7.75	48441734.11	6.62	30299001.79
4/19/2020	2225975832	3.81	23825814.06	4.46	9935338.47
4/22/2020	4780612376	1.56	9777052.84	1.79	8546343.73
4/25/2020	5399165767	10.57	66121970.76	11.74	63391343.48
4/26/2020	4843497704	0.83	5171746.80	0.77	3742042.79
4/27/2020	1476410208	3.59	22446286.10	9.53	14067432.15
4/29/2020	2415079940	0.00	24613.47	0.00	0.00
4/30/2020	5417975388	1.33	8318484.53	1.51	8180942.81
5/1/2020	1737770989	2.31	14449314.92	2.86	4973799.93
5/2/2020	2133441833	2.49	15557819.53	2.94	6282931.83
5/3/2020	1847121018	1.71	10691466.07	2.08	3845064.98
5/5/2020	1360540861	1.15	7197496.19	1.28	1740969.23
5/6/2020	4750042374	2.60	16249358.58	2.91	13829968.29

ตารางที่ 7.3 (ต่อ)ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2563 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย (ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
5/7/2020	4915210033	2.57	16055533.64	2.81	13806775.22
5/8/2020	5755361604	8.08	50548058.04	8.11	46682753.10
5/9/2020	4880656363	1.04	6486510.69	1.06	5165195.34
5/11/2020	2591366365	7.39	46202046.86	13.19	34168902.90
5/12/2020	907135506	1.30	8139672.98	0.01	11829.24
5/13/2020	5666450822	0.69	4324216.23	0.72	4079073.05
5/14/2020	3123938233	2.77	17320401.36	4.59	14337469.37
5/15/2020	1875291185	0.85	5316964.89	1.00	1872533.57
5/17/2020	3679351646	3.21	20105942.51	4.20	15446649.75
5/18/2020	5292050072	9.43	58964944.99	10.41	55070691.99
5/19/2020	5788694583	0.22	1375775.00	0.20	1179294.25
5/20/2020	506008481	3.54	22110137.65	14.63	7405214.23
5/21/2020	2054156902	0.94	5853415.47	1.70	3489038.88
5/22/2020	1878990202	2.66	16633731.01	3.43	6442093.13
5/23/2020	4537290679	9.71	60700028.25	10.92	49541338.34
5/24/2020	4931729851	6.07	37938578.76	6.27	30901152.90
5/25/2020	4998619905	6.78	42375400.94	8.30	41504359.21
5/26/2020	2521804916	9.70	60673461.67	12.32	31059990.42
5/27/2020	1720148628	2.07	12956575.41	3.26	5605691.89
5/28/2020	2299693093	9.87	61726176.07	10.88	25012096.50
5/31/2020	3305701304	16.61	103913005.08	21.28	70361529.39
ผลรวมปริมาณฝนเรดาร์ (ลบ.ม.)					1,006,841,405.82

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยที่ 2

ตารางที่ 7.4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2564 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
3/3/2021	3554298951087	0.0	240429.4	0.0	0.0
9/3/2021	1259783396221	2.6	16219721.1	7.2	9113617.8
10/3/2021	2136490751568	0.0	1115.0	0.0	0.0
13/3/2021		0.0	419.0		
15/3/2021	1376055245045	0.0	3590.9	0.0	0.0
22/3/2021	3786595847367	0.9	5893383.7	0.0	22766.1
26/3/2021		0.0	89.3		
29/3/2021	2432489416038	0.8	5157143.7	0.0	19165.8
30/3/2021	1929247083183	0.1	773365.3	0.0	0.0
31/3/2021	2586832486142	0.2	1063392.0	0.0	0.0
1/4/2021	4079008282778	4.8	29881584.6	3.7	15108351.4
2/4/2021	1261887146364	0.1	393502.8	0.0	0.0
8/4/2021	1296162444423	0.0	192498.6	0.0	0.0
10/4/2021	787004689472	0.0	8189.1	0.0	0.0
11/4/2021		0.2	1207341.6		
12/4/2021	1863200928435	0.5	3154773.3	0.5	865312.7
14/4/2021	3807993636345	4.4	27466805.9	3.5	13163441.2
16/4/2021	2805364222636	8.8	54776201.1	13.4	37575383.0
17/4/2021	1358586527036	7.9	49167367.3	10.4	14072771.6
18/4/2021	3344540040307	2.9	17931180.0	4.3	14254486.5
19/4/2021		1.8	11217145.0		
21/4/2021	1970174319407	1.4	8940642.6	0.0	63479.7

ตารางที่ 7.4 (ต่อ)ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2564 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณ ฝนเฉลี่ย (มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
22/4/2021		5.2	32401239.3		
23/4/2021	726022916602	25.5	159186510.5	7.4	5371036.5
25/4/2021	2687302814033	8.1	50408295.2	14.5	38970614.7
26/4/2021	1752847887142	5.5	34152502.1	4.8	8350015.7
27/4/2021	94335050838	16.8	104854637.0	13.2	1248949.1
30/4/2021	2475275091427	9.5	59247859.2	8.8	21887120.3
1/5/2021	2010838686091	4.1	25785872.2	3.1	6218452.6
2/5/2021	1610276596634	9.6	59807304.9	0.3	527522.2
10/5/2021	1365536867398	5.1	32043144.5	8.2	11143806.5
11/5/2021		7.4	46134656.7		
15/5/2021		4.2	26466241.2		
17/5/2021		2.8	17646505.5		
19/5/2021	748082237966	75.8	473855181.4	10.0	7489837.8
20/5/2021		1.6	10171115.3		
21/5/2021	130537378215	5.2	32597975.7	0.0	0.0
27/5/2021	585714643130	15.1	94588436.4	0.3	172944.7
28/5/2021	4255190072	7.1	44116693.9	16.0	68261.5
29/5/2021	162202962883	3.7	22924430.9	21.0	3403651.2
31/5/2021	155813959983	2.0	12760351.0	14.7	2285152.3
1/6/2021	1947641518198	0.7	4372985.2	0.0	8397.9
2/6/2021	1580900603374	3.3	20587615.9	8.3	13048323.2
3/6/2021	1369293045226	2.8	17588208.2	3.4	4649634.4

ตารางที่ 7.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2564 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
4/6/2021	2854569461703	0.4	2757106.1	0.3	918098.2
18/6/2021	2273164368583	8.0	50050672.1	8.6	19505732.1
19/6/2021	2499256955340	2.5	15644149.0	0.3	716139.4
22/6/2021		2.4	14785919.9		
24/6/2021	2301868117821	0.6	3704364.8	0.0	14400.0
26/6/2021	1115157522848	2.2	13601224.0	6.2	6912725.1
1/7/2021		3.0	18988520.7		
3/7/2021	1276911093622	6.3	39219807.1	5.7	7263506.4
4/7/2021	3677356134314	1.5	9499700.1	0.0	165624.7
5/7/2021	958186524497	3.8	23456134.7	5.8	5580706.9
6/7/2021	1289880878318	6.1	38448150.9	14.7	18911245.8
7/7/2021	2502092640785	2.8	17771146.3	4.0	9934788.9
8/7/2021	2469509679972	3.8	23635798.2	4.9	12194413.5
9/7/2021	1730842581861	1.9	11997449.4	2.9	4971188.1
10/7/2021	2971449806946	9.3	58136701.4	10.0	29601185.1
12/7/2021	4669209647342	7.5	46717759.3	8.5	39855995.2
13/7/2021	644190079688	6.3	39673411.1	0.1	49964.5
14/7/2021	519431840903	2.1	13385659.1	0.0	19542.4
15/7/2021	689921597242	0.1	651200.8	0.0	0.0
16/7/2021	3582521353429	0.1	651200.8	0.0	11986.4
17/7/2021	2744788354632	0.4	2735256.6	0.0	23992.2
29/7/2021		1.2	7659599.5		

ตารางที่ 7.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2564 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ในกรวย (ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
31/7/2021	2216722391767	2.6	16454498.3	3.3	7370635.9
4/8/2021		3.5	21970200.0		
5/8/2021	3389426771502	0.6	3494416.0	0.7	2324931.2
8/8/2021	3031487764694	1.6	9927750.5	1.7	5241352.7
11/8/2021	1788689608776	5.4	34078766.7	17.9	32002845.2
12/8/2021	2189088285807	3.4	21222185.9	3.6	7834727.5
14/8/2021		1.1	7169208.0		
16/8/2021	1974596857280	11.6	72445550.7	8.6	16936771.3
17/8/2021	1006504038167	7.4	45994727.2	16.7	16826031.7
18/8/2021	1002474435935	4.1	25574407.8	9.3	9372459.2
20/8/2021		3.4	21232895.4		
22/8/2021	695125400546	5.9	37021102.6	15.0	10460097.2
23/8/2021	1333623265695	6.8	42367692.4	8.7	11615810.7
24/8/2021	3608990834296	5.3	33014375.4	7.8	28075877.1
25/8/2021	2748406804931	5.7	35741852.3	5.3	14566062.6
26/8/2021		8.6	53572134.0		
31/8/2021	1181084582841	10.5	65411470.7	2.3	2680879.2
1/9/2021	1437965040240	11.4	71389554.0	15.8	22677971.3
2/9/2021		7.8	48508775.4		
6/9/2021	1953763708467	6.3	39158331.6	14.0	27403247.0
8/9/2021	1179187742577	8.5	53370909.9	5.1	5958670.3
9/9/2021	2216722391767	3.9	24516808.8		

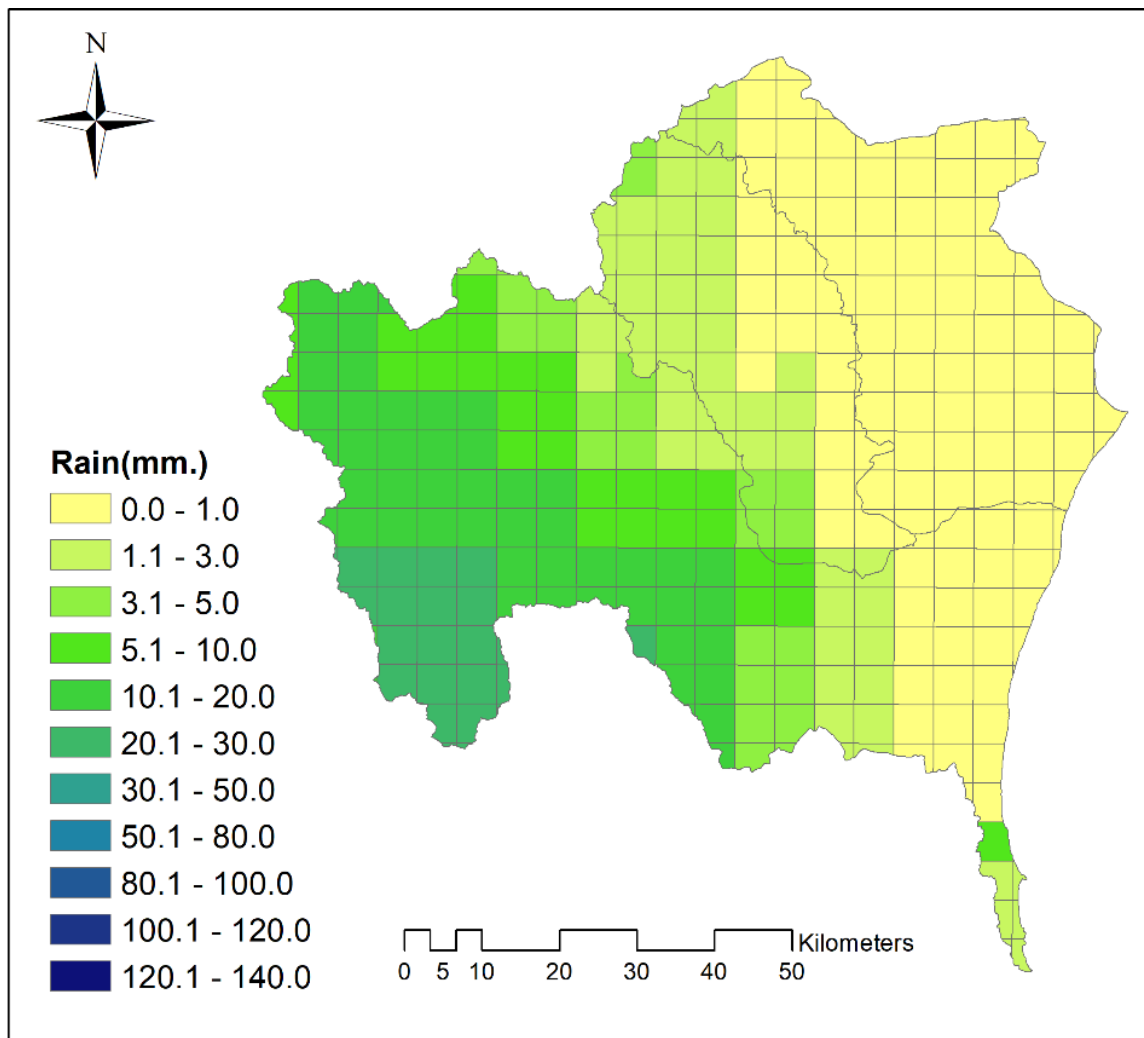
ตารางที่ 7.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ. 2564 จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
15/9/2021	796811708722	0.7	4338502.9	2.8	2252779.8
16/9/2021	126738759621	2.0	12677849.4	4.6	577132.1
19/9/2021	705061182960	26.3	164702520.0	29.3	20628920.4
20/9/2021		10.5	65408783.0		
21/9/2021	771450922547	8.7	54172604.7	18.1	13966960.7
ผลรวมปริมาณฝนเรดาร์ (ลบ.ม.)					1,006,841,405.82

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยที่ 2

3.3) ปริมาณฝนจากการประเมินโดยฝนดาวเทียม ซึ่งได้ร้จากการรวบรวมข้อมูลฝนดาวเทียมจากข้อมูลดาวเทียม JAXA เพื่อนำข้อมูลปรับเทียบกับฝนสถานีและคำนวณปริมาณฝน โดยการแปลงข้อมูลฝนลงในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี จะทำการแบ่งพื้นที่เป็นกริด โดยโปรแกรม ArcGIS เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3 แล้วทำการคำนวณโดยการคูณปริมาณฝนในหน่วยมิลลิเมตรกับพื้นที่ของกริด เพื่อได้เป็นปริมาณฝนในหน่วยลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะทำการคิดเฉพาะพื้นที่ภายในกรวย

โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนรายปีจากวิธีการประเมินฝนดาวเทียม ของวันที่มีปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 2562 2563 และ 2564 ดังตารางที่ 8.1 8.2 8.3 และ 8.4



รูปที่ 3 ตัวอย่างผลการแปลงข้อมูลปริมาณน้ำฝนของฝนดาวเทียมลงในโปรแกรม ArcGIS (จากโครงการวิจัยที่ 2)

ตารางที่ 8.1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2561 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนดาวเทียม			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
4/4/2018	4231979157	2	13310938	2	9415609
4/11/2018	1420209506	0	1052	0	0
4/15/2018	1290810783	2	14203824	5	6127052
4/16/2018	1703876076	1	3516363	1	2208687
4/17/2018	2301815936	32	197180427	31	72196542
4/19/2018	1752618776	2	9487496	2	2751301
4/20/2018	2799937866	0	2524215	0	1316693
4/21/2018	1103545112	0	1346970	1	995078
4/22/2018	289700150	1	5377223	4	1111340
4/24/2018	1373140218	0	2935959	1	1815077
4/25/2018	956417925	0	2217795	1	725341
4/26/2018	1657717941	4	22695885	6	10591192
4/30/2018	1115434458	12	74054767	7	7270497
5/1/2018	1703476090	15	91670338	15	25016737
5/2/2018	1750796039	7	41738531	10	17921035
5/3/2018	1127525293	5	32957403	7	8427992
5/4/2018	1599503158	4	26306501	3	4371694
5/5/2018	2726985987	2	14093186	3	7118312
5/7/2018	498520867	0	918486	1	360970
5/8/2018	1652295806	0	232568	0	163350
ผลรวมปริมาณฝนดาวเทียม (ลบ.ม.)					179,904,499.31

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการย่อยที่ 2

ตารางที่ 8.2 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2562 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม.)	ฝนดาวเทียม			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)
3/4/2019	13250937.3	0.00	0.00	0.00	0.00
3/15/2019	85023922.9	0.00	116.28	0.00	0.00
3/19/2019	1919771908	1.81	11340818.38	2.84	5445634.85
3/20/2019		1.42	8891335.32		
3/21/2019	3419522954	2.40	15011938.75	3.32	11338204.80
3/26/2019	915532385	0.02	155740.13	0.00	854.30
3/27/2019	2271270947	1.10	6860450.71	2.03	4614047.75
3/28/2019	3097743346	7.39	46223544.15	9.23	28601860.34
3/29/2019	3802832698	0.13	786439.63	0.18	696247.56
3/30/2019	2267899442	5.62	35133294.78	8.50	19275257.05
3/31/2019	1679705761	0.00	0.00	0.00	0.00
4/1/2019	2444233757	3.31	20710730.03	3.50	8564798.46
4/2/2019		1.59	9946849.11		
4/3/2019	3040306221	6.21	38820952.92	8.12	24698343.14
4/5/2019	2827307634	5.15	32198279.12	7.84	22163273.72
4/6/2019	2579118413	7.05	44067980.05	7.89	20343324.58
4/7/2019	4514615387	10.36	64818107.59	10.71	48370834.92
4/9/2019		4.65	29073655.38		
4/13/2019		0.01	40247.64		
4/14/2019		2.07	12956986.04		
4/15/2019	1660002079	4.90	30623223.57	6.96	11546269.55

ตารางที่ 8.2 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2562 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม.)	ฝนดาวเทียม			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)
4/16/2019	977026058	3.47	21718198.24	1.86	1816605.63
4/17/2019	197023158	0.00	0.00	0.00	0.00
4/18/2019		6.09	38079295.73		
4/19/2019	2115664839	0.40	2475077.18	0.39	834901.11
4/20/2019	1907174068	0.00	0.00	0.00	0.00
4/22/2019	3104652845	2.98	18668785.21	3.14	9755060.29
4/25/2019	3310582914	11.66	72949344.57	9.91	32813437.57
4/26/2019	1329567146	1.79	11170495.49	2.52	3350790.20
4/27/2019	1027794593	0.64	4013399.79	0.29	297992.02
4/28/2019	1099962498	0.10	638563.83	0.00	0.00
4/29/2019	89250198.9	5.37	33558786.44	23.39	2087925.03
4/30/2019	12650561.7	1.15	7216477.70	4.01	50721.71
5/1/2019	1503123708	0.11	674537.58	0.18	265626.85
5/2/2019	828999293	0.00	0.00	0.00	0.00
5/3/2019	1026068638	1.05	6575137.03	0.43	440845.84
5/4/2019	2701602420	5.87	36720775.18	5.21	14072235.42
5/5/2019	1733902895	0.16	996201.61	0.00	1747.12
5/6/2019	2432738205	1.51	9414232.42	0.93	2261524.78
5/8/2019	1960636040	1.67	10433859.12	1.90	3727891.94
5/9/2019	147556361	0.00	5579.03	0.00	0.00
5/10/2019	1326334861	1.08	6785279.60	4.07	5398533.74
5/11/2019	2079640777	0.62	3867466.07	0.38	794514.26

ตารางที่ 8.2 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2562 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม.)	ฝนดาวเทียม			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม.)
5/12/2019		60.78	380122570.55		
5/13/2019		3.00	18752925.42		
5/14/2019	39413635.7	4.22	26422249.34	8.02	315943.17
5/15/2019	3301942604	0.62	3906276.00	0.86	2829028.58
5/16/2019	3860214012	0.36	2229728.16	0.35	1345034.66
5/17/2019	1506155179	5.84	36537522.47	6.55	9864942.05
5/19/2019	1803374228	1.49	9301628.23	2.06	3710649.49
5/20/2019		6.64	41541962.27		
5/21/2019	1378187482	7.08	44308081.08	15.77	21732973.42
5/22/2019	1148521481	3.78	23626581.10	6.26	7186381.17
5/23/2019	2189343053	23.46	146730117.63	17.70	38758100.58
5/24/2019		1.51	9456448.76		
5/28/2019	113210017	1.96	12233299.72	0.06	6587.54
5/31/2019		1.63	10191161.18		
6/1/2019	868233725	1.81	11308854.61	2.33	2020194.50
6/2/2019	42177941.4	0.03	181375.56	0.14	6077.88
6/3/2019		1.00	6239444.92		
6/5/2019		7.22	45128999.66		
6/8/2019	612838287	6.59	41208545.35	6.90	4227198.67
6/16/2019	99750042.4	1.63	10217156.75	0.25	24887.72
ผลรวมปริมาณฝนดาวเทียม(ลบ.ม.)					375,657,303.95

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยที่ 2

ตารางที่ 8.3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2563 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย (ตร.ม)	ฝนดาวเทียม			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
2/28/2020	3989352432	0.00	0.00	0.00	0.00
2/29/2020	4699139220	0.00	0.00	0.00	0.00
3/2/2020	4150514432	0.01	49554.71	0.00	19358.26
3/4/2020	2431796501	0.03	181505.61	0.03	71944.41
3/6/2020	4135199684	0.05	343990.41	0.08	339650.78
3/13/2020	3184815344	0.00	0.00	0.00	0.00
3/15/2020	4112158673	1.80	11238451.21	2.53	10417605.60
3/16/2020	3204747738	0.50	3112028.35	0.33	1054778.38
3/18/2020	1847749434	2.93	18349996.40	3.18	5878003.33
3/19/2020		0.02	98215.00		
3/20/2020	3317268132	0.33	2068834.48	0.44	1444518.88
3/21/2020	2309051778	0.18	1131991.91	0.35	803748.71
3/22/2020	2241065042	0.20	1233817.63	0.51	1141536.54
3/29/2020		0.00	0.00		
4/2/2020	4687991232	0.00	0.00	0.00	0.00
4/3/2020	2275559127	1.91	11957589.46	4.59	10449489.32
4/4/2020	1644579231	0.28	1749840.97	1.02	1676836.71
4/5/2020	4131227792	7.82	48894249.87	8.72	36022853.96
4/6/2020	3950823257	4.01	25062339.58	4.97	19620695.31
4/7/2020	2505320124	0.00	0.00	0.00	0.00
4/8/2020	2032071921	0.56	3508615.96	0.45	906300.34

ตารางที่ 8.3 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2563 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย (ตร.ม)	ฝนดาวเทียม			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
4/9/2020	1724906574	1.53	9540265.78	0.53	912501.36
4/10/2020	1747282500	2.21	13812134.96	4.18	7311711.39
4/11/2020	1658460020	6.09	38073866.45	8.91	14780007.98
4/12/2020	1052028705	4.05	25326154.35	5.97	6284409.73
4/13/2020	4398264783	12.06	75415745.98	12.58	55322897.21
4/14/2020	611698583	4.74	29618500.30	7.99	4885500.77
4/15/2020	241546666	1.92	12029453.84	6.97	1682517.20
4/16/2020	1923561559	13.46	84165505.68	18.07	34752358.92
4/17/2020	4068776402	13.52	84554621.45	14.37	58461923.52
4/18/2020	4574644733	5.79	36236110.51	6.15	28137008.37
4/19/2020	2225975832	1.30	8133362.33	1.40	3105327.34
4/22/2020	4780612376	0.00	565.07	0.00	333.24
4/25/2020	5399165767	9.03	56488020.96	9.09	49093448.45
4/26/2020	4843497704	2.39	14930400.01	2.31	11182458.12
4/27/2020	1476410208	8.00	50024528.46	2.20	3255251.80
4/29/2020	2415079940	9.78	61142741.04	13.32	32179536.18
4/30/2020	5417975388	0.15	914354.12	0.10	558583.08
5/1/2020	1737770989	2.01	12562374.83	3.20	5553924.67
5/2/2020	2133441833	0.41	2579257.63	0.33	712479.54
5/3/2020	1847121018	0.02	149500.85	0.00	2304.05
5/5/2020	1360540861	0.03	202640.03	0.03	46858.62
5/6/2020	4750042374	0.12	739794.31	0.12	583101.44

ตารางที่ 8.3 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2563 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ ในกรวย (ตร.ม)	ฝนดาวเทียม			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
5/7/2020	4915210033	0.36	2272915.37	0.38	1882993.18
5/8/2020	5755361604	5.93	37105085.10	5.99	34467263.47
5/9/2020	4880656363	0.01	62046.24	0.01	38544.14
5/11/2020	2591366365	4.44	27774397.82	7.76	20109433.11
5/12/2020	907135506	0.00	30077.50	0.00	1785.21
5/13/2020	5666450822	0.16	987514.22	0.17	984313.33
5/14/2020	3123938233	2.26	14161999.27	4.44	13873883.75
5/15/2020	1875291185	0.05	331515.98	0.12	226190.03
5/17/2020	3679351646	4.81	30113943.55	5.18	19046650.88
5/18/2020	5292050072	9.74	60927779.98	10.26	54300263.17
5/19/2020	5788694583	0.02	146318.65	0.01	67322.13
5/20/2020	506008481	0.93	5802898.65	1.69	857675.43
5/21/2020	2054156902	0.02	133666.80	0.03	68428.40
5/22/2020	1878990202	0.27	1705520.22	0.17	324181.99
5/23/2020	4537290679	2.32	14487025.32	2.01	9097572.99
5/24/2020	4931729851	3.63	22693784.67	3.64	17935682.59
5/25/2020	4998619905	1.10	6891314.44	0.72	3618639.63
5/26/2020	2521804916	5.65	35338171.82	3.78	9532634.93
5/27/2020	1720148628	0.32	2016298.97	0.32	553661.28
5/28/2020	2299693093	4.75	29689390.24	1.75	4017558.10
5/31/2020	3305701304	8.70	54418737.80	10.17	33620243.70
ผลรวมปริมาณฝนดาวเทียม(ลบ.ม.)					644,527,894.50

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยที่ 2

ตารางที่ 8.4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2564 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
3/3/2021	3554298951087	0.9	5578781.5	1.3	4631574.8
9/3/2021	1259783396221	0.0	0.0	0.0	0.0
10/3/2021	2136490751568	0.4	2227334.4	0.9	1998376.4
13/3/2021		0.0	24373.1		
15/3/2021	1376055245045	0.3	2041330.8	1.1	1544110.6
22/3/2021	3786595847367	10.9	68167332.1	12.3	46470671.4
26/3/2021		0.0	0.0		
29/3/2021	2432489416038	1.8	11180274.7	3.6	8870088.2
30/3/2021	1929247083183	4.6	28836838.9	8.7	16757937.5
31/3/2021	2586832486142	6.0	37626651.0	6.9	17876544.8
1/4/2021	4079008282778	3.4	21369162.6	1.6	6481982.1
2/4/2021	1261887146364	1.3	8424721.4	0.9	1121989.1
8/4/2021	1296162444423	4.4	27208265.0	10.0	12975115.7
10/4/2021	787004689472	0.0	254455.9	0.0	18073.4
11/4/2021		2.5	15580139.8		
12/4/2021	1863200928435	0.3	1844089.2	0.6	1028124.3
14/4/2021	3807993636345	11.7	73275632.5	10.0	38149374.2
16/4/2021	2805364222636	5.3	33335045.3	9.1	25496084.0
17/4/2021	1358586527036	5.6	34951206.4	2.7	3664267.1
18/4/2021	3344540040307	9.6	60204486.2	14.2	47460732.6
19/4/2021		5.2	32363424.7		
21/4/2021	1970174319407	5.6	34955315.4	6.3	12380653.6

ตารางที่ 8.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2564 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณ ฝนเฉลี่ย (มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
22/4/2021		4.6	28538395.0		
23/4/2021	726022916602	3.6	22630622.2	0.8	607928.2
25/4/2021	2687302814033	5.7	35445098.3	8.0	21623385.2
26/4/2021	1752847887142	0.2	1041935.4	0.0	38749.0
27/4/2021	94335050838	26.0	162625716.4	15.8	1489912.0
30/4/2021	2475275091427	7.7	48203507.8	6.9	17092131.7
1/5/2021	2010838686091	2.3	14473034.3	0.6	1183646.6
2/5/2021	1610276596634	15.1	94639865.4	41.1	66187797.2
10/5/2021	1365536867398	2.6	16328669.4	3.9	5381830.4
11/5/2021		6.2	38913703.3		
15/5/2021		0.8	5304905.3		
17/5/2021		0.5	3005049.0		
19/5/2021	748082237966	29.9	187275634.0	10.8	8097321.8
20/5/2021		0.1	417800.3		
21/5/2021	130537378215	2.2	13670312.9	0.8	98214.5
27/5/2021	585714643130	18.3	114263645.5	13.4	7864170.6
28/5/2021	4255190072	5.3	33262998.0	31.2	132664.9
29/5/2021	162202962883	2.9	17976472.7	10.9	1771921.5
31/5/2021	155813959983	0.3	2161950.6	0.9	134569.0
1/6/2021	1947641518198	0.0	0.0	0.0	0.0
2/6/2021	1580900603374	1.4	8931255.7	3.0	4724042.1
3/6/2021	1369293045226	0.4	2251471.1	0.4	537359.2

ตารางที่ 8.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2564 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
4/6/2021	2854569461703	0.0	18451.4	0.0	4629.5
18/6/2021	2273164368583	6.5	40626330.9	3.6	8239003.3
19/6/2021	2499256955340	1.6	9819930.1	0.0	9295.4
22/6/2021		0.5	3147422.4		
24/6/2021	2301868117821	0.0	253606.2	0.0	50927.7
26/6/2021	1115157522848	0.9	5466816.9	0.5	613174.6
1/7/2021		3.4	21361824.3		
3/7/2021	1276911093622	0.1	819046.2	0.0	0.0
4/7/2021	3677356134314	0.2	1380517.2	0.4	1355615.8
5/7/2021	958186524497	4.9	30368112.6	3.7	3555330.6
6/7/2021	1289880878318	14.2	88501893.6	8.2	10589950.7
7/7/2021	2502092640785	8.5	53371755.0	4.3	10664053.4
8/7/2021	2469509679972	4.5	28385342.4	3.2	7867806.3
9/7/2021	1730842581861	2.1	13063169.0	1.7	2893707.5
10/7/2021	2971449806946	19.8	123834305.9	11.9	35497919.6
12/7/2021	4669209647342	3.5	21662840.4	3.7	17071941.0
13/7/2021	644190079688	3.6	22355147.7	1.5	983565.4
14/7/2021	519431840903	58.3	364929266.9	1.0	541325.8
15/7/2021	689921597242	6.9	43422879.4	2.5	1692039.7
16/7/2021	3582521353429	5.4	33662870.0	4.2	15116794.3
17/7/2021	2744788354632	2.1	12935622.8	1.3	3651608.0
29/7/2021		0.8	5016322.9		

ตารางที่ 8.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2564 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ในกรวย (ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
31/7/2021	2216722391767	0.0	222106.5	0.0	0.0
4/8/2021		2.3	14308071.8		
5/8/2021	3389426771502	0.1	447741.4	0.0	42035.1
8/8/2021	3031487764694	0.7	4220548.7	0.4	1126064.2
11/8/2021	1788689608776	23.3	145453174.2	9.0	16046555.1
12/8/2021	2189088285807	1.8	10979106.2	1.3	2942912.9
14/8/2021		9.0	56073879.7		
16/8/2021	1974596857280	4.2	26541379.3	4.8	9458751.6
17/8/2021	1006504038167	0.0	259132.5	0.0	0.0
18/8/2021	1002474435935	0.0	0.0	0.0	0.0
20/8/2021		1.0	6185396.4		
22/8/2021	695125400546	3.7	23407070.8	3.4	2336803.4
23/8/2021	1333623265695	3.2	20015788.9	1.0	1267597.0
24/8/2021	3608990834296	3.0	19029103.0	3.1	11128087.5
25/8/2021	2748406804931	18.5	115511455.5	7.3	20180583.5
26/8/2021		19.5	122213024.4		
31/8/2021	1181084582841	17.0	106289979.7	1.1	1307740.1
1/9/2021	1437965040240	15.0	93906143.5	12.8	18422776.9
2/9/2021		10.5	65589435.4		
6/9/2021	1953763708467	11.9	74321898.1	10.4	20308730.1
8/9/2021	1179187742577	41.2	257922954.0	18.6	21890026.5
9/9/2021	2216722391767	11.8	73675481.9		

ตารางที่ 8.4 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงในปี พ.ศ.2564 จากวิธีการประเมินฝนดาวเทียมในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

วันที่	ขนาดพื้นที่ใน กรวย(ตร.ม)	ฝนเรดาร์			
		ฝนตกทั้งหมด		ฝนหลวง	
		ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)	ปริมาณฝน เฉลี่ย(มม.)	ปริมาณฝน(ลบ.ม)
15/9/2021	796811708722	8.6	53573710.4	5.7	4514046.9
16/9/2021	126738759621	2.5	15354361.8	5.2	655100.6
19/9/2021	705061182960	20.4	127506858.2	21.3	14987823.2
20/9/2021		11.7	73085832.8		
21/9/2021	771450922547	9.2	57846797.6	17.1	13226686.6
ผลรวมปริมาณฝนเรดาร์ (ลบ.ม.)					664,132,353.62

หมายเหตุ: ข้อมูลได้รับอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยที่ 2

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายปีโดยวิธีการประเมินปริมาณน้ำฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงที่แตกต่างกันทั้ง 3 วิธีการ ของปฏิบัติการฝนหลวงย้อนหลัง 4 ปี ได้แก่ปี พ.ศ. 2561, 2562, 2563 และ 2564 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ข้อมูลปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวงรายปี ประกอบด้วย พ.ศ.2561, 2562, 2563 และ 2564 โดยวิธีการประเมินที่แตกต่างกัน 3 วิธี

ปริมาณฝนสะสมรายปี (ลบ.ม.)			
ปี	ฝนสถานี	ฝนเรดาร์	ฝนดาวเทียม
2561	92,161,656.05	267,673,968.26	179,904,499.31
2562	295,836,939.73	840,266,578.93	375,657,303.95
2563	458,187,212.90	1,006,841,405.82	633,276,684.96
2564	178,449,145.06	644,527,894.50	664,132,353.62

หมายเหตุ ปริมาณฝนราย 12 ชั่วโมงทั้ง 3 วิธีการประเมิน

จากผลการศึกษาดังกล่าวจะสังเกตได้ว่า ปริมาณฝนรายปีที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงโดยการประเมินจากฝนเรดาร์มีปริมาณมากกว่าปริมาณฝนรายปีโดยการประเมินด้วยวิธีอื่น อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ.2563 มีปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวงปริมาณสูงที่สุด ซึ่งจะส่งผลในลักษณะผกผันต่อการประเมินค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์

2.การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

จากการรวบรวมข้อมูล ข้อมูลทรัพยากร, ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) และ ผลผลิตหรือเป้าหมายคือปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวง สามารถนำมาจัดทำเป็นตารางบัญชีรายการสำหรับคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยแบ่งตารางบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมออกเป็น 2 ระบบย่อยได้แก่ 1.ตารางบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการได้มาซึ่งเชื้อเพลิงและสารฝนหลวง 2.ตารางบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการปฏิบัติการบินฝนหลวง ดังตารางที่ 10.1 และ 10.2

ตารางที่ 10.1 ตารางบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการได้มาซึ่งเชื้อเพลิงและสารฝนหลวง

บัญชีรายการ				ผลกระทบ	
รายการ		ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission
Input	รายละเอียด				
การขนส่ง					
ปริมาณสาร			ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง		เที่ยว		
	ระยะทาง		กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุกทุก		ตัน		
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง		เที่ยว		
	ระยะทาง		กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุกทุก		ตัน		
การบดสารฝนหลวง					
สารฝนหลวง	ยูเรีย		ตัน		
	น้ำแข็งแห้ง		ตัน		
อัตราการบดสาร			ตัน/ชม.		
อัตราการสิ้นเปลือง	อ้างอิงจากคู่มือ		ลิตร/ชม.		
น้ำมันดีเซล	ใช้ในการเผาไหม้		ลิตร		
การขนส่งลำเลียงขึ้นเครื่องบิน					
ขนส่งขึ้นเครื่องบิน	จำนวนครั้ง		เที่ยว		
	ระยะทาง		กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุกทุก		ตัน		
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง		เที่ยว		
	ระยะทาง		กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุกทุก		ตัน		
รวม					

ตารางที่ 10.2 ตารางบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการปฏิบัติการขึ้นบิน

บัญชีรายการ				ผลกระทบ	
รายการ		ระยะทาง	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission
input	รายละเอียด				
น้ำมันเครื่องบิน (jetA1)			ตัน		
การบินโดยสาร	ชั่วโมงในการบิน		ชั่วโมง		
	ระยะทางในการบิน		กิโลเมตร		
สารปนหลวงสูตรเย็น					
ยูเรีย			ตัน		
น้ำแข็งแห้ง			ตัน	-	
สารปนหลวงสูตรร้อน					
แคลเซียมออกไซด์			ตัน	-	
แคลเซียมคลอไรด์			ตัน	-	
สารปนหลวงสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ					
เกลือแข็ง			ตัน		
รวม					

ภาคผนวก ข

3.การคำนวณ

จากการรวบรวมข้อมูล ข้อมูลทรัพยากร, ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) และ ผลผลิตหรือเป้าหมายคือปริมาณฝนจากปฏิบัติการฝนหลวง นำมาจัดทำเป็นตารางบัญชีรายการ สำหรับคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ในขั้นตอนการคำนวณจะแยกการคำนวณออกเป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ 1.การคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂ Emission) 2.การคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprints) ของปฏิบัติการฝนหลวง

3.1.การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ Emission)

จากการรวบรวมรายละเอียดปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในปฏิบัติการฝนหลวง และ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) สามารถใช้สำหรับคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂ Emission) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปฏิบัติการฝนหลวงในแต่ละปี โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 โดยแยกการคำนวณออกเป็น 3 ส่วนหลักได้แก่ 1.การคำนวณในขั้นตอนการขนส่ง 2.การคำนวณในขั้นตอนการเตรียมสาร 3.การคำนวณในขั้นตอนการปฏิบัติการบินฝนหลวง

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \text{Activity data} \times \text{Emission Factor} \quad (1)$$

โดย CO₂ Emission คือ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Activity data คือ ข้อมูลกิจกรรม หรือปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในกิจกรรม ซึ่งก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Emission Factor คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.1.1 การคำนวณในขั้นตอนการขนส่ง

ในขั้นตอนการขนส่งจะคำนวณย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559- พ.ศ.2564 เนื่องจากสารฝนหลวงที่ถูกใช้ในปัจุบันนั้นบางส่วนถูกเก็บไว้ก่อนปีที่เราพิจารณาเพื่อให้การคำนวณที่ถูกต้องจึงจำเป็นต้องคำนวณย้อนหลังถึงปีที่มีการขนส่งสารฝนหลวงมาเก็บไว้ การคำนวณในขั้นตอนการขนส่งจะสามารถคำนวณได้จากระยะทางในขนส่ง คูณกับน้ำหนักบรรทุก และคูณกับ สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ตามประเภทของรถที่ใช้ในการขนส่ง ซึ่งทำการคำนวณทั้งขาไปและขากลับ กำหนดประเภทการขนส่งเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 16 ตัน ตามกฎหมายกำหนด และคำนวณเฉพาะการขนส่งในประเทศ พิจารณาการขนส่งจากบริษัทถึงศูนย์ฝนหลวงหัวหิน ดังแสดงในตารางที่ 11

ตัวอย่างการคำนวณ

แสดงตัวอย่างการคำนวณจากค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในขั้นตอนการขนส่งสารปนหลง พ.ศ.2559

จากสมการที่ 1

$$\begin{aligned} \text{CO2 Emission} &= (\text{Activity data}) \times \text{Emission Factor} \\ &= (\text{ระยะทาง} \times \text{น้ำหนักบรรทุก} \times \text{เที่ยว}) \times \text{Emission Factor ของรถบรรทุก} \end{aligned}$$

ขนส่ง(ขาไป) 100 ตัน บรรทุก 16ตัน 6เที่ยว 4ตัน 1 เที่ยว

$$\begin{aligned} \text{CO2 Emission} &= (\text{Activity data}) \times \text{Emission Factor} \\ &= [(190 \times 16 \times 6) \times 0.0533] + [(190 \times 4 \times 1) \times 0.0972] \\ &= 972.192 + 73.872 \\ &= 1046.064 \text{ kg CO}_2\text{eq} \end{aligned}$$

ขนส่ง(ขากลับ) 0 ตัน 7 เที่ยว

$$\begin{aligned} \text{CO2 Emission} &= (\text{Activity data}) \times \text{Emission Factor} \\ &= [(189 \times 7) \times 0.5900] \\ &= 780.570 \text{ kg CO}_2\text{eq} \end{aligned}$$

จากการคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในขั้นตอนการขนส่งสารปนหลง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559- พ.ศ.2564 นำมาคำนวณรวมกันของสารแต่ละชนิด หารด้วยปริมาณสารที่ถูกจัดส่งตลอด 6 ปี ดังแสดงในตารางที่ 11 (ข)

ตัวอย่างการคำนวณ

แสดงตัวอย่างการคำนวณจากค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในขั้นตอนการขนส่งสารปนหลง แคลเซียมคลอไรด์ เฉลี่ยทั้ง 6 ปี

$$\begin{aligned} \text{CO2 Emission เฉลี่ย} &= \text{CO2 Emission ของสารแต่ละชนิดรวม 6 ปี} / \text{ปริมาณสารแต่ละชนิดรวม 6 ปี} \\ &= \text{CO2 Emission ของแคลเซียมคลอไรด์} / \text{ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์} \\ &= 3194.34 / 180 \\ &= 17.75 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{ตัน} \end{aligned}$$

ตารางที่ 11 ตัวอย่างการคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO2 Emission) ในขั้นตอนการขนส่งสารปนหลวง (ก) พ.ศ. 2559 (ข) พ.ศ. 2560 (ค) พ.ศ. 2561 (ง) พ.ศ. 2562 (จ) พ.ศ. 2563 (ฉ) พ.ศ. 2564 (ช) เฉลี่ย 6 ปี

(ก)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ	
รายการ		ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission
Input	รายละเอียด				
การขนส่งสารแคลเซียมคลอไรด์					
ปริมาณสาร		100.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	190.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุกทุก	4.00	ตัน	0.0972	73.872
	น้ำหนักบรรทุกทุก	16.00	ตัน	0.0533	972.192
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	189.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุกทุก	-	ตัน	0.5900	780.570
รวม					1,826.63

(๑)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ	
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission	
Input	รายละเอียด				
การขนส่งสารเคลือบคลอโรไซด์					
ปริมาณสาร		80.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	5.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	190.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	16.00	ตัน	0.0533	810.160
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	5.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	189.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	557.550
การขนส่งน้ำแข็งแห้ง					
ปริมาณสาร		80.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	342.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	5.00	ตัน	0.0972	166.212
	น้ำหนักบรรทุก	10.00	ตัน	0.0691	708.966
	น้ำหนักบรรทุก	15.00	ตัน	0.0533	820.287
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	360.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	1,486.800
การขนส่งสารเคลือบออกไซด์					
ปริมาณสาร		100.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	330.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	4.00	ตัน	0.0972	128.304
	น้ำหนักบรรทุก	16.00	ตัน	0.0533	1,688.544
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	333.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	1,375.290
การขนส่งสารเกลือแป้ง					
ปริมาณสาร		100.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	58.70	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	4.00	ตัน	0.0972	22.823
	น้ำหนักบรรทุก	16.00	ตัน	0.0533	300.356
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	58.40	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	241.192
การขนส่งสารยูเรีย					
ปริมาณสาร		100.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	186.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	4.00	ตัน	0.0972	72.317
	น้ำหนักบรรทุก	16.00	ตัน	0.0533	951.725
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	188.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	776.440
รวม					10,106.97

(ค)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ	
รายการ		ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission
Input	รายละเอียด				
การขนส่งน้ำแข็งแห้ง					
ปริมาณสาร		25.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	2.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	342.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	10.00	ตัน	0.0691	236.322
	น้ำหนักบรรทุก	15.00	ตัน	0.0533	273.429
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	2.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	360.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	424.800
การขนส่งสารยูเรีย					
ปริมาณสาร		100.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	186.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	4.00	ตัน	0.0972	72.317
	น้ำหนักบรรทุก	16.00	ตัน	0.0533	951.725
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	188.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	776.440
รวม					2,735.03

(ง)

บัญชีรายการ			ผลกระทบ		
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission	
Input	รายละเอียด				
การขนส่งน้ำแข็งแห้ง					
ปริมาณสาร		35.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	4.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	342.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	5.00	ตัน	0.0972	166.212
	น้ำหนักบรรทุก	10.00	ตัน	0.0691	708.966
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	4.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	360.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	849.600
การขนส่งสารยูเรีย					
ปริมาณสาร		100.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	186.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	4.00	ตัน	0.0972	72.317
	น้ำหนักบรรทุก	16.00	ตัน	0.0533	951.725
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	188.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	776.440
รวม					3,525.26

(จ)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ	
รายการ		ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission
Input	รายละเอียด				
การขนส่งน้ำแข็งแห้ง					
ปริมาณสาร		20.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	3.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	342.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	5.00	ตัน	0.0972	332.424
	น้ำหนักบรรทุก	10.00	ตัน	0.0691	236.322
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	3.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	360.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	637.200
การขนส่งสารเกลือแป้ง					
ปริมาณสาร		70.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	5.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	58.70	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	6.00	ตัน	0.0972	34.234
	น้ำหนักบรรทุก	16.00	ตัน	0.0533	200.237
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	5.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	58.40	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	172.280
รวม					1,612.70

(จ)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ	
รายการ		ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission
Input	รายละเอียด				
การขนส่งน้ำแข็งแห้ง					
ปริมาณสาร		25.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	5.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	342.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	5.00	ตัน	0.0972	831.060
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	5.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	360.00	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	1,062.000
การขนส่งสารเกลือแปง					
ปริมาณสาร		100.00	ตัน		
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	58.70	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	4.00	ตัน	0.0972	22.823
	น้ำหนักบรรทุก	16.00	ตัน	0.0533	300.356
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว		
	ระยะทาง	58.40	กิโลเมตร		
	น้ำหนักบรรทุก	-	ตัน	0.5900	241.192
รวม					2,457.43

(ข)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ		
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission	Carbon Emission เฉลี่ย	
Input	รายละเอียด					
การขนส่งสารเคลือบเคลือบโรตี						
ปริมาณสาร		180.00	ตัน			
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	12.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	190.00	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	16.00	ตัน	0.0533	1,856.224	
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	12.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	189.00	กิโลเมตร		3,194.344	
	น้ำหนักบรรทุกทุก	-	ตัน	0.5900	1,338.120	
การขนส่งน้ำแข็งแห้ง						
ปริมาณสาร		185.00	ตัน			
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	21.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	342.00	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	5.00	ตัน	0.0972	1,495.908	
	น้ำหนักบรรทุกทุก	10.00	ตัน	0.0691	1,890.576	
	น้ำหนักบรรทุกทุก	15.00	ตัน	0.0533	1,093.716	
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	21.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	360.00	กิโลเมตร		8,940.600	
	น้ำหนักบรรทุกทุก	-	ตัน	0.5900	4,460.400	
การขนส่งสารเคลือบออกไซด์						
ปริมาณสาร		100.00	ตัน			
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	330.00	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	4.00	ตัน	0.0972	128.304	
	น้ำหนักบรรทุกทุก	16.00	ตัน	0.0533	1,688.544	
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	7.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	333.00	กิโลเมตร		3,192.138	
	น้ำหนักบรรทุกทุก	-	ตัน	0.5900	1,375.290	
การขนส่งสารเกลือแป้ง						
ปริมาณสาร		270.00	ตัน			
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	19.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	58.70	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	4.00	ตัน	0.0972	79.880	
	น้ำหนักบรรทุกทุก	16.00	ตัน	0.0533	800.949	
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	19.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	58.40	กิโลเมตร		1,535.493	
	น้ำหนักบรรทุกทุก	-	ตัน	0.5900	654.664	
การขนส่งสารยูเรีย						
ปริมาณสาร		200.00	ตัน			
ขนส่ง	จำนวนครั้ง	14.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	186.00	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	4.00	ตัน	0.0972	144.634	
	น้ำหนักบรรทุกทุก	16.00	ตัน	0.0533	1,903.450	
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	14.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	188.00	กิโลเมตร		5,153.843	
	น้ำหนักบรรทุกทุก	-	ตัน	0.5900	3,105.760	

3.1.2 การคำนวณในขั้นตอนการเตรียมสารฝนหลวง

ในขั้นตอนการเตรียมสารฝนหลวงจะคำนวณย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561- พ.ศ.2564 การคำนวณในขั้นตอนการเตรียมสารฝนหลวงจะสามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการบดสารฝนหลวง โดย กำหนด บดสารฝนหลวง 1 ตันใช้เวลา 30นาที คูณกับสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง บวกกับค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการลำเลียงสารขึ้นเครื่องบิน กำหนดประเภทของรถบรรทุกในการลำเลียงสารฝนหลวง คือ รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ ขนส่งครั้งละ 1 ตัน ระยะทาง 100 m ดังแสดงในตารางที่ 12

ตัวอย่างการคำนวณ

แสดงตัวอย่างการคำนวณจากค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในขั้นตอนการเตรียมสารฝนหลวง พ.ศ.2561

จากสมการที่ 1 การบดสาร

$$\text{CO2 Emission} = (\text{Activity data}) \times \text{Emission Factor}$$

$$= (\text{ปริมาณน้ำมัน}) \times \text{Emission Factorของการเผาไหม้น้ำมัน}$$

$$= (\text{ปริมาณสาร} \times \text{อัตราสิ้นเปลือง} / \text{อัตราการบดสาร}) \times \text{Emission Factorของการเผาไหม้น้ำมัน}$$

$$\text{CO2 Emission} = (\text{Activity data}) \times \text{Emission Factor}$$

$$= [(9.90 + 8.30) \times 3.52 / 2] \times 2.7080$$

$$= 86.844 \text{ kg CO}_2\text{eq}$$

จากสมการที่ 1 การขนส่งลำเลียงขึ้นเครื่องบิน

$$\text{CO2 Emission} = (\text{Activity data}) \times \text{Emission Factor}$$

$$= (\text{ระยะทาง} \times \text{น้ำหนักบรรทุก} \times \text{เที่ยว}) \times \text{Emission Factorของรถบรรทุก}$$

ขนส่ง(ขาไป) บรรทุก 1ตัน 156เที่ยว

$$\text{CO2 Emission} = (\text{Activity data}) \times \text{Emission Factor}$$

$$= (0.1 \times 1 \times 156) \times 0.2698$$

$$= 4.209 \text{ kg CO}_2\text{eq}$$

ขนส่ง(ซากลับ) 0 ตัน 156 เทียว

CO2 Emission = (Activity data) X Emission Factor

$$= (0.1 \times 156) \times 0.3131$$

$$= 4.884 \text{ kg CO}_2\text{eq}$$

จากการคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ย ในขั้นตอนการเตรียมสารปนหลวงในแต่ละปี โดยแยกคิดในส่วนของการบด และการลำเลียงขึ้นเครื่องบิน โดยคิดจากค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกหาร ปริมาณสารที่บด และปริมาณสารที่ลำเลียงขึ้นเครื่องบิน ในแต่ละปี ดังแสดงในตารางที่ 12

ตัวอย่างการคำนวณ

แสดงตัวอย่างการคำนวณจากค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในขั้นตอนการเตรียมสารปนหลวงของปี พ.ศ. 2561

การบดสาร

CO2 Emission เฉลี่ย = CO2 Emission ของการบดสาร / ปริมาณสารปนหลวงที่ถูกบด

$$= \text{CO2 Emission ของการบดสาร} / \text{ปริมาณยูเรียและน้ำแข็งแห้ง}$$

$$= 86.844 / 18.20$$

$$= 4.7716 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{ตัน}$$

การลำเลียงขึ้นเครื่องบิน

CO2 Emission เฉลี่ย = CO2 Emission ของการลำเลียงขึ้นเครื่องบิน / ปริมาณสารปนหลวงทั้งหมด

$$= \text{CO2 Emission ของการลำเลียงทั้งขาไปและซากลับ} / \text{ปริมาณสารปนหลวงทั้งหมด}$$

$$= 9.093 / 58.90$$

$$= 0.15 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{ตัน}$$

ตารางที่ 12 ตัวอย่างการคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO2 Emission) ในขั้นตอนการเตรียมสารผสมหลวง (ก) พ.ศ. 2561 (ข) พ.ศ. 2562 (ค) พ.ศ. 2563 (ง) พ.ศ. 2564

(ก)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ		
รายการ		ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission	Carbon Emission เฉลี่ย
Input	รายละเอียด					
การบดสารผสมหลวง						
สารผสมหลวง	ยูเรีย	9.90	ตัน		47.239	
	น้ำแข็งแห้ง	8.30	ตัน		39.605	
อัตราการผลิต		2.00	ตัน/ชม.			
อัตราการผลิต	อ้างอิงจากคู่มือ	3.52	ลิตร/ชม.			
น้ำมันดีเซล	ใช้ในการเผาไหม้	32.07	ลิตร	2.7080	86.844	4.771626506
การขนส่งลำเลียงขึ้นเครื่องบิน						
ขนส่งขึ้นเครื่องบิน	จำนวนครั้ง	156.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	0.10	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	1.00	ตัน	0.2698	4.209	
ขั้วรถกลับ	จำนวนครั้ง	156.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	0.10	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	-	ตัน	0.3131	4.884	0.15
รวม					95.94	สารทั้งหมด 58.9 ตัน

(ข)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ		
รายการ		ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission	Carbon Emission เฉลี่ย
Input	รายละเอียด					
การบดสารผสมหลวง						
สารผสมหลวง	ยูเรีย	34.30	ตัน		163.667	
	น้ำแข็งแห้ง	30.10	ตัน		143.626	
อัตราการผลิต		2.00	ตัน/ชม.			
อัตราการผลิต	อ้างอิงจากคู่มือ	3.52	ลิตร/ชม.			
น้ำมันดีเซล	ใช้ในการเผาไหม้	113.48	ลิตร	2.7080	307.293	4.771626506
การขนส่งลำเลียงขึ้นเครื่องบิน						
ขนส่งขึ้นเครื่องบิน	จำนวนครั้ง	289.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	0.10	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	1.00	ตัน	0.2698	7.797	
ขั้วรถกลับ	จำนวนครั้ง	289.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	0.10	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	-	ตัน	0.3131	9.049	0.08
รวม					324.14	สารทั้งหมด 198.8 ตัน

(ค)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ		
รายการ		ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission	Carbon Emission เฉลี่ย
Input	รายละเอียด					
การบดสารฝนหลวง						
สารฝนหลวง	ยูเรีย	16.10	ตัน		76.823	
	น้ำแข็งแห้ง	13.20	ตัน		62.985	
อัตราการบดสาร		2.00	ตัน/ชม.			
อัตราการสิ้นเปลือง	อ้างอิงจากคู่มือ	3.52	ลิตร/ชม.			
น้ำมันดีเซล	ใช้ในการเผาไหม้	51.63	ลิตร	2.7080	139.809	4.771626506
การขนส่งลำเลียงขึ้นเครื่องบิน						
ขนส่งขึ้นเครื่องบิน	จำนวนครั้ง	195.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	0.10	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	1.00	ตัน	0.2698	5.261	
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	195.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	0.10	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	-	ตัน	0.3131	6.105	0.09
รวม					151.18	สารทั้งหมด 131.4 ตัน

(ง)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ		
รายการ		ปริมาณ	หน่วย	Emission Factor	Carbon Emission	Carbon Emission เฉลี่ย
Input	รายละเอียด					
การบดสารฝนหลวง						
สารฝนหลวง	ยูเรีย	35.70	ตัน		170.347	
	น้ำแข็งแห้ง	10.90	ตัน		52.011	
อัตราการบดสาร		2.00	ตัน/ชม.			
อัตราการสิ้นเปลือง	อ้างอิงจากคู่มือ	3.52	ลิตร/ชม.			
น้ำมันดีเซล	ใช้ในการเผาไหม้	82.11	ลิตร	2.7080	222.358	4.771626506
การขนส่งลำเลียงขึ้นเครื่องบิน						
ขนส่งขึ้นเครื่องบิน	จำนวนครั้ง	178.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	0.10	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	1.00	ตัน	0.2698	4.802	
ขับรถกลับ	จำนวนครั้ง	178.00	เที่ยว			
	ระยะทาง	0.10	กิโลเมตร			
	น้ำหนักบรรทุกทุก	-	ตัน	0.3131	5.573	0.06
รวม					232.73	สารทั้งหมด 175.75 ตัน

3.1.3 การคำนวณในขั้นตอนการปฏิบัติการบินฝนหลวง

ในขั้นตอนการปฏิบัติการบินฝนหลวงจะคำนวณย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561- พ.ศ.2564 การคำนวณในขั้นตอนการปฏิบัติการบินฝนหลวงจะสามารถคำนวณได้ในส่วนของการสารฝนหลวงและเชื้อเพลิงจากปริมาณทรัพยากรการใช้ในปฏิบัติการบินฝนหลวงคูณกับ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของทรัพยากรที่ใช้ และในส่วนของการเผาของเครื่องบิน โดยคำนวณจากชั่วโมงบิน และเที่ยวบินคูณกับ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของเครื่องบินชนิดนั้นๆ

เมื่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกครบทั้ง 3 ขั้นตอนแล้ว สามารถนำมารวมกัน ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยขั้นตอนที่ 1.การคำนวณในขั้นตอนการขนส่งนำค่าที่ได้จากทั้ง6ปี มาเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งสารฝนหลวงแต่ละชนิด 2.การคำนวณในขั้นตอนการเตรียมสาร นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยในแต่ละปีเพื่อเป็นค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเตรียมสารฝนหลวง 3.การคำนวณขั้นตอนการปฏิบัติการบินฝนหลวงจะคำนวณย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561- พ.ศ.2564

ตัวอย่างการคำนวณ

แสดงตัวอย่างการคำนวณจากค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในขั้นตอนการปฏิบัติการบินฝนหลวง พ.ศ.2561

จากสมการที่ 1 การเผาไหม้น้ำมันเครื่องบินขณะบิน

$$\begin{aligned} \text{CO2 Emission} &= \text{Activity data} \times \text{Emission Factor} \\ &= \text{ชั่วโมงบิน(ชั่วโมง:นาที)} \times \text{Emission Factor ของเครื่องบินแต่ละชนิดขณะบิน} \\ &= 105:20 \times 593.300 \\ &= 62,494.267 \text{ kg CO}_2\text{eq} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 1 การเผาไหม้น้ำมันเครื่องบินขณะบินขึ้นและลง

$$\begin{aligned} \text{CO2 Emission} &= \text{Activity data} \times \text{Emission Factor} \\ &= \text{เที่ยวบิน(เที่ยว)} \times \text{Emission Factor ของเครื่องบินแต่ละชนิดขณะบินขึ้นและลง} \\ &= 156 \times 136.531 \\ &= 21,298.883 \text{ kg CO}_2\text{eq} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 1 การใช้ น้ำมันเครื่องบิน

$$\begin{aligned} \text{CO2 Emission} &= \text{Activity data} \times \text{Emission Factor} \\ &= \text{ปริมาณสาร(ตัน)} \times \text{Emission Factor ของสารแต่ละชนิด} \end{aligned}$$

$$= 16.94 \times 328.400$$
$$= 5,562.306 \text{ kg CO}_2\text{eq}$$

จากสมการที่ 1 การใช้ยูเรีย

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \text{Activity data} \times \text{Emission Factor}$$
$$= \text{ปริมาณสาร(ตัน)} \times \text{Emission Factor ของสารแต่ละชนิด}$$
$$= 9.90 \times 3,282.600$$
$$= 32,497.740 \text{ kg CO}_2\text{eq}$$

จากสมการที่ 1 การใช้น้ำแข็งแห้ง

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \text{Activity data} \times \text{Emission Factor}$$
$$= \text{ปริมาณสาร(ตัน)} \times \text{Emission Factor ของสารแต่ละชนิด}$$
$$= 8.30 \times 1,000.000$$
$$= 8,300.000 \text{ kg CO}_2\text{eq}$$

จากสมการที่ 1 การใช้แคลเซียมออกไซด์

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \text{Activity data} \times \text{Emission Factor}$$
$$= \text{ปริมาณสาร(ตัน)} \times \text{Emission Factor ของสารแต่ละชนิด}$$
$$= 15.40 \times 1,021.500$$
$$= 15,731.100 \text{ kg CO}_2\text{eq}$$

จากสมการที่ 1 การใช้เกลือแป้ง

$$\text{CO}_2 \text{ Emission} = \text{Activity data} \times \text{Emission Factor}$$
$$= \text{ปริมาณสาร(ตัน)} \times \text{Emission Factor ของสารแต่ละชนิด}$$
$$= 25.30 \times 5.600$$
$$= 141.680 \text{ kg CO}_2\text{eq}$$

ตารางที่ 13 ตัวอย่างการคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO2 Emission) ของปฏิบัติการฝนหลวง โดยพิจารณาทั้ง 3 ขั้นตอนของปฏิบัติการ (ก) พ.ศ. 2561 (ข) พ.ศ. 2562 (ค) พ.ศ. 2563 (ง) พ.ศ. 2564

(ก)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ												Total CO2 Emission	
				การขนส่งสารฝนหลวง				การเตรียมสาร				การขึ้นบินปฏิบัติการ					
				Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission			
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect			
Input	รายละเอียด																
สารฝนหลวงสูตรเย็น																	
ยูเรีย	สูตร4	9.90	ตัน	25.7700		255.123		4.9216		48.724			3,282.6000		32,497.740	32,801.59	
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	8.30	ตัน	48.3300		401.139		4.9216		40.849			1,000.0000		8,300.000	8,741.99	
สารฝนหลวงสูตรร้อน																	
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	15.40	ตัน	31.9200		491.568		0.1500		2.310			1,021.5000		15,731.100	16,224.98	
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	-	ตัน	17.7500		-		0.1500		-			872.9000		-	-	
สารฝนหลวงสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ																	
เกลือแปะ	สูตร1	25.30	ตัน	5.6900		143.957		0.1500		3.795			5.6000		141.680	289.43	
เชื้อเพลิง																	
การเผาไม่เชื้อเพลิง																	
ชั่วโมงบิน	Cruising	105:20:00	ชั่วโมง										593.3000		62,494.267	62,494.267	
เที่ยวบิน	LTO	156.00	เที่ยว										136.5313		21,298.883	21,298.883	
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	16.94	ตัน			-		0.1500		2.541			328.4000		5,562.306	5,564.85	
Total CO2 Emission						1,291.79	-			98.22	-				83,793.15	62,232.83	147,415.98

(ข)

บัญชีรายการ			ผลกระทบ													Total CO2 Emission	
			การขนส่งสารปนหลว				การเตรียมสาร				การขึ้นบินปฏิบัติการ						
			Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission				
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect			
Input	รายละเอียด																
สารปนหลวสูตรเย็น											-				-		
ยูเรีย	สูตร4	34.30	ตัน	25.7700		883.911		4.8516		166.410			3,282.6000		112,593.180	113,643.50	
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	30.10	ตัน	48.3300		1,454.733		4.8516		146.033			1,000.0000		30,100.000	31,700.77	
สารปนหลวสูตรร้อน																	
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	0.70	ตัน	31.9200		22.344		0.0800		0.056			1,021.5000		715.050	737.45	
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	28.70	ตัน	17.7500		509.425		0.0800		2.296			872.9000		25,052.230	25,563.95	
สารปนหลวสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ																	
เกลือแข็ง	สูตร1	105.00	ตัน	5.6900		597.450		0.0800		8.400			5.6000		588.000	1,193.85	
เชื้อเพลิง																	
การเผาไหม้เชื้อเพลิง																	
ชั่วโมงบิน	Cruising	360:50:00	ชั่วโมง										593.3000		214,082.417	214,082.417	
เที่ยวบิน	LTO	289.00	เที่ยว										136.5313		39,457.546	39,457.546	
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	58.01	ตัน			-		0.0800		4.641			328.4000		19,050.484	19,055.12	
Total CO2 Emission						3,467.86	-			327.84	-				253,539.96	188,098.94	445,434.61

(ค)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ												Total CO2 Emission
				การขนส่งสารฟนหลวง				การเตรียมสาร				การขึ้นบินปฏิบัติการ				
				Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect		
Input	รายละเอียด															
สารฟนหลวงสูตรเย็น																
ยูเรีย	สูตร4	16.10	ตัน	25.7700		414.897		4.8616		78.272			3,282.6000		52,849.860	53,343.03
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	13.20	ตัน	48.3300		637.956		4.8616		64.173			1,000.0000		13,200.000	13,902.13
สารฟนหลวงสูตรร้อน																
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	4.60	ตัน	31.9200		146.832		0.0900		0.414			1,021.5000		4,698.900	4,846.15
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	34.80	ตัน	17.7500		617.700		0.0900		3.132			872.9000		30,376.920	30,997.75
สารฟนหลวงสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ																
เกลือแป้ง	สูตร1	62.70	ตัน	5.6900		356.763		0.0900		5.643			5.6000		351.120	713.53
เชื้อเพลิง																
การเผาไม่เชื้อเพลิง																
ชั่วโมงบิน	Cruising	200:15:00	ชั่วโมง										593.3000		118,808.325	118,808.325
เที่ยวบิน	LTO	195.00	เที่ยว										136.5313		26,623.604	26,623.604
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	32.20	ตัน			-		0.0900		2.898	-		328.4000		10,574.480	10,577.38
Total CO2 Emission						2,174.15	-			154.53	-			145,431.93	112,051.28	259,811.89

(ง)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ												Total CO2 Emission
				การขนส่งสารมลพิษ				การเตรียมสาร				การขึ้นบินปฏิบัติการ				
				Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect		
Input	รายละเอียด															
สารมลพิษสุตรเย็น												-			-	
ยูเรีย	สูตร4	35.70	ตัน	25.7700		919.989		4.8316		172.488			3,282.6000		117,188.820	118,281.30
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	10.90	ตัน	48.3300		526.797		4.8316		52.664			1,000.0000		10,900.000	11,479.46
สารมลพิษสุตรร้อน																
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	64.95	ตัน	31.9200		2,073.204		0.0600		3.897			1,021.5000		66,346.425	68,423.53
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	-	ตัน	17.7500		-		0.0600		-			872.9000		-	-
สารมลพิษสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ																
เกลือแป็ง	สูตร1	64.20	ตัน	5.6900		365.298		0.0600		3.852			5.6000		359.520	728.67
เชื้อเพลิง																
การเผาไม่เชื้อเพลิง																
ชั่วโมงบิน	Cruising	262:55:00	ชั่วโมง										659.1604		173,304.255	173,304.255
เที่ยวบิน	LTO	178.00	เที่ยว										295.2886		52,561.371	52,561.371
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	42.28	ตัน			-		0.0600		2.537		-	328.4000		13,884.752	13,887.29
Total CO2 Emission						3,885.29	-			235.44	-			225,865.63	208,679.52	438,665.87

3.2.การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint)

นำผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO2 Emission) มาใช้คำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) ของฝนหลวงโดยใช้ค่าปริมาณฝนที่ประเมินได้จากปฏิบัติการฝนหลวง ซึ่งอ้างอิงจากโครงการวิจัยย่อยที่ 1 และ 2 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2 จากตัวอย่างการคำนวณในตารางที่ 13 สามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 14

$$\text{Carbon Footprint} = (\text{CO2 Emission}) / (\text{Rainfall Data}) \quad (2)$$

โดย Carbon Footprint คือ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อ หน่วยของผลผลิต

CO2 Emission คือ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Rainfall Data คือ ปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง

ตัวอย่างการคำนวณ

แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของปฏิบัติการฝนหลวง พ.ศ.2561 โดยเลือกชนิดของฝนที่เกิดจากฝนหลวงด้วยวิธีประเมินที่แตกต่างกัน คือ ฝนเรดาร์ หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร

จากสมการที่ 2 การเผาไหม้น้ำมันเครื่องบินขณะบิน

$$\text{Carbon Footprint} = (\text{CO2 Emission}) / (\text{Rainfall Data})$$

$$= \text{การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก} / \text{ปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง}$$

$$= 62,494.267 / 267.674$$

$$= 233.47 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{ปริมาณฝน 1 ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

จากสมการที่ 2 การเผาไหม้น้ำมันเครื่องบินขึ้นและลง

$$\text{Carbon Footprint} = (\text{CO2 Emission}) / (\text{Rainfall Data})$$

$$= \text{การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก} / \text{ปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง}$$

$$= 21,298.883 / 267.674$$

$$= 79.57 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{ปริมาณฝน 1 ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

จากสมการที่ 2 การใช้ น้ำมันเครื่องบิน

$$\text{Carbon Footprint} = (\text{CO2 Emission}) / (\text{Rainfall Data})$$

$$= \text{การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก} / \text{ปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง}$$

$$= 5,564.85 / 267.674$$

$$= 20.79 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{ปริมาณฝน 1 ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

จากสมการที่ 2 การใช้ยูเรีย

$$\text{Carbon Footprint} = (\text{CO}_2 \text{ Emission}) / (\text{Rainfall Data})$$

$$= \text{การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก} / \text{ปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง}$$

$$= 32,801.59 / 267.674$$

$$= 122.54 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{ปริมาณฝน 1 ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

จากสมการที่ 2 การใช้น้ำแข็งแห้ง

$$\text{Carbon Footprint} = (\text{CO}_2 \text{ Emission}) / (\text{Rainfall Data})$$

$$= \text{การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก} / \text{ปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง}$$

$$= 8,741.99 / 267.674$$

$$= 32.66 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{ปริมาณฝน 1 ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

จากสมการที่ 2 การใช้แคลเซียมออกไซด์

$$\text{Carbon Footprint} = (\text{CO}_2 \text{ Emission}) / (\text{Rainfall Data})$$

$$= \text{การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก} / \text{ปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง}$$

$$= 16,224.98 / 267.674$$

$$= 60.61 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{ปริมาณฝน 1 ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

จากสมการที่ 2 การใช้เกลือแป้ง

$$\text{Carbon Footprint} = (\text{CO}_2 \text{ Emission}) / (\text{Rainfall Data})$$

$$= \text{การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก} / \text{ปริมาณฝนที่ได้จากปฏิบัติการฝนหลวง}$$

$$= 289.43 / 267.674$$

$$= 1.08 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{ปริมาณฝน 1 ล้านลูกบาศก์เมตร}$$

ตารางที่ 14 ตัวอย่างการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprints) ของปฏิบัติการฝนหลวง (ก) พ.ศ. 2561 (ข) พ.ศ. 2562 (ค) พ.ศ. 2563 (ง) พ.ศ. 2564

(ก)

บัญชีรายการ			ผลกระทบ													Carbon Footprints				
			การขนส่งสารฝนหลวง				การเตรียมสาร				การขึ้นบินปฏิบัติการ								Total CO2 Emission	
			Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission			สถานี	เรดาร์	ดาวเทียม		
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect						
Input	รายละเอียด																			
สารฝนหลวงสูตรเย็น																				
ยูเรีย	สูตร4	9.90	ตัน	25.7700		255.123		4.9216		48.724			3,282.6000		32,497.740		32,801.59	355.91	122.54	182.33
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	8.30	ตัน	48.3300		401.139		4.9216		40.849			1,000.0000		8,300.000		8,741.99	94.85	32.66	48.59
สารฝนหลวงสูตรร้อน																				
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	15.40	ตัน	31.9200		491.568		0.1500		2.310			1,021.5000		15,731.100		16,224.98	176.05	60.61	90.19
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	-	ตัน	17.7500		-		0.1500		-			872.9000		-		-	-	-	-
สารฝนหลวงสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ																				
เกลือแบริ่ง	สูตร1	25.30	ตัน	5.6900		143.957		0.1500		3.795			5.6000		141.680		289.43	3.14	1.08	1.61
เชื้อเพลิง																				
การเผาไม่เชื้อเพลิง																		-	-	-
ชั่วโมงบิน	Cruising	105:20:00	ชั่วโมง										593.3000		62,494.267		62,494.267	678.09	233.47	347.37
เที่ยวบิน	LTO	156.00	เที่ยว										136.5313		21,298.883		21,298.883	231.10	79.57	118.39
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	16.94	ตัน			-		0.1500		2.541		-	328.4000		5,562.306		5,564.85	60.38	20.79	30.93
Total CO2 Emission						1,291.79	-			98.22	-			83,793.15	62,232.83	147,415.98	1,599.54	550.73	819.41	
Output	รายละเอียด			Carbon Footprints (kgCO2/million m3)																
ฝน	สถานี	92,161,656	ลบ.ม.			14.02	-			1.07	-			909.20	675.26	1,599.54				
ฝน	เรดาร์	267,673,968	ลบ.ม.			4.83	-			0.37	-			313.04	232.49	550.73				
ฝน	ดาวเทียม	179,904,499	ลบ.ม.			7.18	-			0.55	-			465.76	345.92	819.41				

(ข)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ														Carbon Footprints			
				การขนส่งสารมลพิษ				การเตรียมสาร				การขึ้นบินปฏิบัติการ									Total CO2 Emission
				Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission				สถานี	เรดาร์	ดาวเทียม	
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Indirect				
Input	รายละเอียด																				
สารมลพิษสุดขั้ว										-						-					
ยูเรียม	สูตร4	34.30	ตัน	25.7700		883.911		4.8516		166.410			3,282.6000		112,593.180		113,643.50	384.14	135.25	302.52	
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	30.10	ตัน	48.3300		1,454.733		4.8516		146.033			1,000.0000		30,100.000		31,700.77	107.16	37.73	84.39	
สารมลพิษสุดร้อน																					
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	0.70	ตัน	31.9200		22.344		0.0800		0.056			1,021.5000		715.050		737.45	2.49	0.88	1.96	
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	28.70	ตัน	17.7500		509.425		0.0800		2.296			872.9000		25,052.230		25,563.95	86.41	30.42	68.05	
สารมลพิษสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ																					
เกลือแข็ง	สูตร1	105.00	ตัน	5.6900		597.450		0.0800		8.400			5.6000		588.000		1,193.85	4.04	1.42	3.18	
เชื้อเพลิง																					
การเผาไหม้เชื้อเพลิง																					
ชั่วโมงบิน	Cruising	360:50:00	ชั่วโมง										593.3000		214,082.417		214,082.417	723.65	254.78	569.89	
เที่ยวบิน	LTO	289.00	เที่ยว										136.5313		39,457.546		39,457.546	133.38	46.96	105.04	
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	58.01	ตัน			-		0.0800		4.641		-	328.4000		19,050.484		19,055.12	64.41	22.68	50.72	
Total CO2 Emission						3,467.86		-		327.84		-			253,539.96		188,098.94	445,434.61	1,505.68	530.11	1,185.75
Output	รายละเอียด			Carbon Footprints (kgCO2/million m3)																	
ฝน	สถานี	295,836,940	ลบ.ม.			11.72		-		1.11		-			857.03		635.82	1,505.68			
ฝน	เรดาร์	840,266,579	ลบ.ม.			4.13		-		0.39		-			301.74		223.86	530.11			
ฝน	ดาวเทียม	375,657,304	ลบ.ม.			9.23		-		0.87		-			674.92		500.72	1,185.75			

(ค)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ														Carbon Footprints		
				การขนส่งสารมลพิษ				การเตรียมสาร				การขึ้นบินปฏิบัติการ								
				Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		CO2 Emission		สถานี	เรดาร์	ดาวเทียม
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect						
Input	รายละเอียด																			
สารมลพิษสูงสุตรเย็น												-			-					
ยูเรีย	สูตร4	16.10	ตัน	25.7700		414.897		4.8616		78.272			3,282.6000		52,849.860	53,343.03	116.42	52.98	84.23	
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	13.20	ตัน	48.3300		637.956		4.8616		64.173			1,000.0000		13,200.000	13,902.13	30.34	13.81	21.95	
สารมลพิษสูงสุตรร้อน																				
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	4.60	ตัน	31.9200		146.832		0.0900		0.414			1,021.5000		4,698.900	4,846.15	10.58	4.81	7.65	
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	34.80	ตัน	17.7500		617.700		0.0900		3.132			872.9000		30,376.920	30,997.75	67.65	30.79	48.95	
สารมลพิษสูงสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ																				
เกลือแปปิง	สูตร1	62.70	ตัน	5.6900		356.763		0.0900		5.643			5.6000		351.120	713.53	1.56	0.71	1.13	
เชื้อเพลิง																				
การเผาไหม้เชื้อเพลิง																				
ชั่วโมงบิน	Cruising	200:15:00	ชั่วโมง										593.3000		118,808.325	118,808.325	259.30	118.00	187.61	
เที่ยวบิน	LTO	195.00	เที่ยว										136.5313		26,623.604	26,623.604	58.11	26.44	42.04	
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	32.20	ตัน			-		0.0900		2.898		-	328.4000		10,574.480	10,577.38	23.09	10.51	16.70	
Total CO2 Emission						2,174.15	-			154.53	-				145,431.93	112,051.28	259,811.89	567.04	258.05	410.27
Output	รายละเอียด																			
ฝน	สถานี	458,187,213	ลบ.ม.			4.75	-			0.34	-				317.41	244.55	567.04			
ฝน	เรดาร์	1,006,841,406	ลบ.ม.			2.16	-			0.15	-				144.44	111.29	258.05			
ฝน	ดาวเทียม	633,276,685	ลบ.ม.			3.43	-			0.24	-				229.65	176.94	410.27			

(ง)

บัญชีรายการ				ผลกระทบ																
				การขนส่งสารมลพิษ				การเตรียมสาร				การขึ้นบินปฏิบัติการ				Total CO2 Emission	Carbon Footprints			
				Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission		Emission Factor		CO2 Emission			สถานี	เรดาร์	ดาวเทียม	
รายการ	ปริมาณ	หน่วย	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect	Direct	Indirect						
Input	รายละเอียด																			
สารมลพิษสูงสุตรเย็น										-					-					
ยูเรีย	สูตร4	35.70	ตัน	25.7700		919.989		4.8316		172.488			3,282.6000		117,188.820	118,281.30	662.83	183.52	178.10	
น้ำแข็งแห้ง	สูตร3	10.90	ตัน	48.3300		526.797		4.8316		52.664			1,000.0000		10,900.000	11,479.46	64.33	17.81	17.28	
สารมลพิษสูงสุตรร้อน																				
แคลเซียมออกไซด์	สูตร8	64.95	ตัน	31.9200		2,073.204		0.0600		3.897			1,021.5000		66,346.425	68,423.53	383.43	106.16	103.03	
แคลเซียมคลอไรด์	สูตร6	-	ตัน	17.7500		-		0.0600		-			872.9000		-	-	-	-	-	
สารมลพิษสูงสร้างแกนกลั่นตัวของอากาศ																				
เกลือแข็ง	สูตร1	64.20	ตัน	5.6900		365.298		0.0600		3.852			5.6000		359.520	728.67	4.08	1.13	1.10	
เชื้อเพลิง																				
การเผาไหม้เชื้อเพลิง																				
ชั่วโมงบิน	Cruising	262:55:00	ชั่วโมง										659.1604		173,304.255	173,304.255	971.17	268.89	260.95	
เที่ยวบิน	LTO	178.00	เที่ยว										295.2886		52,561.371	52,561.371	294.55	81.55	79.14	
น้ำมันเครื่องบิน	jet A1	42.28	ตัน			-		0.0600		2.537	-		328.4000		13,884.752	13,887.29	77.82	21.55	20.91	
Total CO2 Emission						3,885.29	-			235.44	-				225,865.63	208,679.52	438,665.87	2,458.21	680.60	660.51
Output	รายละเอียด			Carbon Footprints (kgCO2/million m3)																
ฝน	สถานี	178,449,145	ลบ.ม.			21.77	-			1.32	-			1,265.71	1,169.41	2,458.21				
ฝน	เรดาร์	644,527,895	ลบ.ม.			6.03	-			0.37	-			350.44	323.77	680.60				
ฝน	ดาวเทียม	664,132,354	ลบ.ม.			5.85	-			0.35	-			340.09	314.21	660.51				