

## การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรและการวิเคราะห์แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

### ORGANIZATION CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT AND HOTSPOT ANALYSIS OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS AT NAKHON SI THAMMARAT RAJABHAT UNIVERSITY

รอยหทัย แก้วใหม่<sup>1</sup>, เอกลักษณ์ กาญจนเพ็ญ<sup>2\*</sup>, ฉัตรชัย แก้วดี<sup>3</sup>, สันติ ขำตรี<sup>1</sup>, ศรีวรรณ ขำตรี<sup>4</sup>

Roihatai Kaewmai<sup>1</sup>, Ekkalak Kanchanapen<sup>2\*</sup>, Chatchai Kaewdee<sup>3</sup>, Santi Khamtree<sup>1</sup>, Sriwan Khamtree<sup>4</sup>

<sup>1</sup> หลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

<sup>2</sup> หลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

<sup>3</sup> หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

<sup>4</sup> หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

<sup>1</sup> Bachelor of Industrial Technology Program in Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

<sup>2</sup> Bachelor of Industrial Technology Program in Civil Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

<sup>3</sup> Doctor of Philosophy Program in Industrial Technology Innovation, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

<sup>4</sup> Bachelor of Technology Program in Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: ekkalak\_kan@nstru.ac.th

วันที่รับบทความ: 5 เมษายน 2569; วันที่ทบทวนบทความ: 8 เมษายน 2569; วันที่ตอบรับบทความ: 24 เมษายน 2569;

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 29 เมษายน 2569

**บทคัดย่อ:** การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ตามมาตรฐาน ISO 14064-1 และแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) 2) จำแนกและวิเคราะห์ แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญในแต่ละขอบเขต และ 3) จัดทำฐานข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรเพื่อใช้เป็น แนวทางในการวางแผนมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย การศึกษานี้ใช้ข้อมูลกิจกรรมของปีการศึกษา 2565 ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการปล่อยจากกิจกรรมการเดินทางไป-กลับของบุคลากรและ นักศึกษาในขอบเขตที่ 3 ได้ประเมินจากสมมติฐานรูปแบบการเดินทางร่วมกับข้อมูลประชากรจริงของมหาวิทยาลัย ผลการวิจัย พบว่า มหาวิทยาลัยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิรวมทั้งสิ้น 8,669.85 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO<sub>2</sub>e) ต่อปี คิดเป็นอัตราการปล่อยเฉลี่ย 0.94 tCO<sub>2</sub>e ต่อคนต่อปี โดยขอบเขตที่ 3 มีสัดส่วนสูงสุดร้อยละ 62.38 รองลงมาคือ ขอบเขตที่ 2 ร้อยละ 27.70 และขอบเขตที่ 1 ร้อยละ 9.92 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ พบว่า การเดินทางไป-กลับของบุคลากรและนักศึกษาด้วยยานพาหนะส่วนตัวเป็นแหล่งปล่อยสูงสุด คิดเป็น 3,629.61 tCO<sub>2</sub>e ต่อปี รองลงมาคือการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอาคารและส่วนกลาง คิดเป็น 2,401.54 tCO<sub>2</sub>e ต่อปี และการกำจัดขยะมูลฝอย

1,294.39 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะของมหาวิทยาลัยในพื้นที่ภูมิภาคที่มีข้อจำกัดด้านระบบขนส่งสาธารณะ ส่งผลให้กิจกรรมการเดินทางเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้สนับสนุนการกำหนดนโยบายและมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย ทั้งในด้านการจัดการการเดินทาง การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการจัดการของเสีย เพื่อขับเคลื่อนมหาวิทยาลัยสู่การเป็นองค์กรคาร์บอนต่ำอย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ:** คาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร, แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ, ก๊าซเรือนกระจก, มหาวิทยาลัยคาร์บอนต่ำ

**Abstract:** This research aimed to 1) assess the greenhouse gas emissions of Nakhon Si Thammarat Rajabhat University in accordance with ISO 14064-1 and the guidelines of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2) classify and analyze significant greenhouse gas emission sources within each scope, and 3) develop an organizational carbon footprint database to support greenhouse gas mitigation planning for the university. The study used activity data from the 2022 academic year together with greenhouse gas emission factors. Emissions from commuting by university personnel and students under Scope 3 were estimated using commuting pattern assumptions in combination with the university's actual population data. The results showed that the university's total net greenhouse gas emissions were 8,669.85 tCO<sub>2</sub>eq per year, with an average emission intensity of 0.94 tCO<sub>2</sub>eq per person per year. Scope 3 contributed the largest share of total emissions at 62.38%, followed by Scope 2 at 27.70% and Scope 1 at 9.92%. Hotspot analysis revealed that commuting by private vehicles was the largest emission source, accounting for 3,629.61 tCO<sub>2</sub>eq per year, followed by electricity consumption in buildings and central facilities at 2,401.54 tCO<sub>2</sub>eq per year, and solid waste disposal at 1,294.39 tCO<sub>2</sub>eq per year. These findings reflect the characteristics of a regional university where limitations in public transportation make commuting a significant source of greenhouse gas emissions. The database developed from this study can support the formulation of greenhouse gas reduction policies and measures for the university, particularly in transport management, energy efficiency improvement, and waste management, in order to drive the university toward becoming a sustainable low-carbon organization.

**Key words:** Organization carbon footprint, Greenhouse gas emission hotspots, Greenhouse gas, Low-carbon university

## 1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาสำคัญระดับโลกที่เกิดจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ เศรษฐกิจ และสังคมอย่างต่อเนื่อง ประเทศไทยในฐานะภาคีภายใต้กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)) ได้ประกาศเป้าหมายการบรรลุความเป็นกลางทาง

คาร์บอนภายในปี พ.ศ. 2593 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2608 [1] การขับเคลื่อนให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ถูกต้อง และเป็นระบบ เพื่อใช้เป็นฐานในการกำหนดมาตรการลดการปล่อยในระดับองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ [2]

สถาบันอุดมศึกษามีบทบาทสำคัญในการเป็นต้นแบบด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน อย่างไรก็ตาม มหาวิทยาลัยเป็นองค์กรที่มีกิจกรรมหลากหลายซึ่งก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ทั้งจากการใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงในกิจกรรมต่าง ๆ การรั่วไหลของสารทำความเย็น การจัดการของเสีย ตลอดจนการเดินทางของบุคลากรและนักศึกษา ดังนั้นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินปริมาณการปล่อย และระบุแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญ เพื่อสนับสนุนการวางแผนมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกในระดับองค์กร

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรในสถาบันอุดมศึกษาหลายแห่ง [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9] โดยช่วยให้เห็นภาพรวมของโครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแนวทางลดการปล่อยในระดับองค์กร อย่างไรก็ตามหลายการศึกษายังคงให้ความสำคัญกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 และขอบเขตที่ 2 มากกว่าการวิเคราะห์การปล่อยทางอ้อมอื่น ๆ ในขอบเขตที่ 3 อย่างเป็นระบบ ทั้งที่ในบริบทของสถาบันอุดมศึกษา กิจกรรมในขอบเขตที่ 3 เช่น การเดินทางไป-กลับของบุคลากรและนักศึกษา อาจเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญต่อผลรวมขององค์กรได้

งานวิจัยในต่างประเทศยังชี้ให้เห็นว่า โครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสถาบันอุดมศึกษาอาจแตกต่างกันไปตามบริบทของพื้นที่ ลักษณะกิจกรรม และรูปแบบการใช้พลังงานของมหาวิทยาลัย เช่น กรณีของ American University of Sharjah พบว่า ขอบเขตที่ 2 เป็นแหล่งปล่อยหลัก ขณะที่การเดินทางของประชากรมหาวิทยาลัยเป็นแหล่งปล่อยสำคัญในขอบเขตที่ 3 อย่างชัดเจน [9] อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเชิงประจักษ์เกี่ยวกับโครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยในพื้นที่ระดับภูมิภาคของประเทศไทยยังมีอยู่จำกัด โดยเฉพาะการวิเคราะห์บทบาทของกิจกรรมการเดินทางในฐานะแหล่งปล่อยสำคัญขององค์กร

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชเป็นสถาบันอุดมศึกษาในระดับภูมิภาคที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาท้องถิ่น และมีประชากรทั้งบุคลากรและนักศึกษาจำนวนมากใช้พื้นที่มหาวิทยาลัยในแต่ละวัน ลักษณะดังกล่าวอาจทำให้โครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยแตกต่างจากมหาวิทยาลัยในเขตเมือง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ระบบขนส่งสาธารณะยังไม่ครอบคลุมเพียงพอ ส่งผลให้การเดินทางด้วย

ยานพาหนะส่วนตัวมีแนวโน้มเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญขององค์กร อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมหาวิทยาลัยยังขาดฐานข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรที่อ้างอิงตามมาตรฐานสากล และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการกำหนดนโยบายด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมได้อย่างชัดเจน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชตามมาตรฐาน ISO 14064-1 [10] และแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [11] พร้อมทั้งวิเคราะห์แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญขององค์กร เพื่อชี้ให้เห็นบทบาทของแหล่งปล่อยหลักในแต่ละขอบเขต โดยเฉพาะกิจกรรมในขอบเขตที่ 3 ผลการศึกษานี้จะช่วยจัดทำฐานข้อมูลเชิงประจักษ์สำหรับใช้กำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย และสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับสถาบันอุดมศึกษาที่มีบริบทใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยในพื้นที่ภูมิภาค ในการขับเคลื่อนสู่การเป็นองค์กรคาร์บอนต่ำอย่างยั่งยืน

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ตามมาตรฐาน ISO 14064-1 และแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

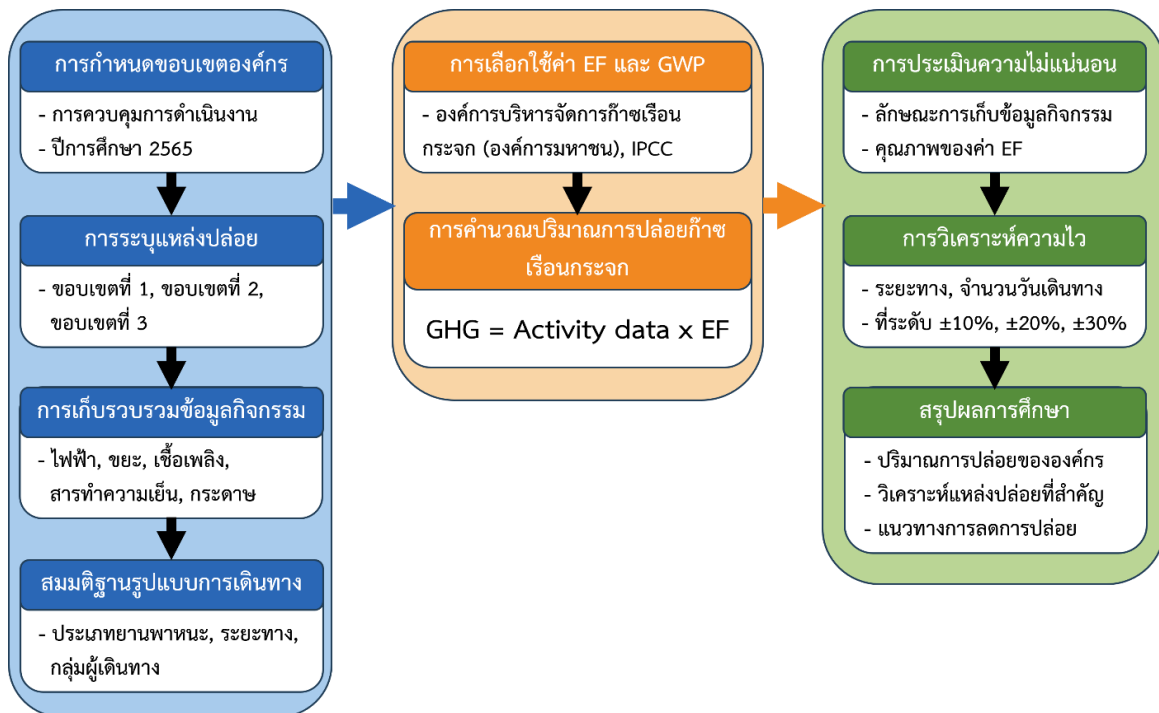
2.2 เพื่อจำแนกและวิเคราะห์แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญในแต่ละขอบเขต

2.3 เพื่อจัดทำฐานข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรสำหรับใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและกำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชดำเนินการตามมาตรฐานสากล ISO 14064-1 [10] และข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [11] กระบวนการวิจัยครอบคลุมขั้นตอนการกำหนดขอบเขตองค์กร การระบุแหล่ง

ปล่อยก๊าซเรือนกระจก การเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรม การกำหนดสมมติฐานรูปแบบการเดินทาง การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การประเมินความไม่แน่นอน (Uncertainty assessment) และการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) ของสมมติฐานรูปแบบการเดินทาง โดยแผนผังกระบวนการวิจัยเชิงเทคนิค แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังกระบวนการวิจัยเชิงเทคนิค

**3.1 การกำหนดขอบเขตองค์กร** การกำหนดขอบเขตองค์กรใช้หลักการควบคุมการดำเนินงาน (Operational control) เพื่อให้ครอบคลุมกิจกรรมทั้งหมดที่มหาวิทยาลัยสามารถกำหนดนโยบายและบริหารจัดการได้โดยตรง โดยปีฐานของการศึกษาคือปีการศึกษา 2565 เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2565 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 เพื่อให้สอดคล้องกับวงจรการดำเนินงานจริงของสถาบันอุดมศึกษา

**3.2 การระบุแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก** การศึกษานี้จำแนกแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 3 ขอบเขต ดังนี้

**3.2.1 ขอบเขตที่ 1** การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ประกอบด้วยการใช้เชื้อเพลิงในการตัดหญ้า การใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของมหาวิทยาลัย การเกิดก๊าซมีเทนจากถังบำบัดสิ่งปฏิกูล (Septic tank) และการรั่วไหลของสารทำความเย็นจากระบบปรับอากาศ

**3.2.2 ขอบเขตที่ 2** การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ได้แก่ การซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อใช้ภายในมหาวิทยาลัย

**3.2.3 ขอบเขตที่ 3** การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ได้แก่ การใช้กระจก A4 การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าสำรองของระบบเครือข่ายมหาวิทยาลัยที่ซื้อบริการมาจากหน่วยงานภายนอก การได้มาซึ่งเชื้อเพลิงและพลังงาน การกำจัดขยะมูลฝอยที่นำไปฝังกลบภายนอก และการเดินทางไป-กลับระหว่างมหาวิทยาลัยและที่พักของบุคลากรและนักศึกษา (ทั้งภาคปกติและภาคพิเศษ) ด้วยยานพาหนะส่วนตัว ซึ่งการพิจารณากิจกรรมในขอบเขตที่ 3 ของการศึกษานี้ อ้างอิงแนวทางการประเมินขององค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [11] ร่วมกับการรอบการบัญชีและการรายงานของ Greenhouse Gas Protocol Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard [12]

กิจกรรมที่นับรวมในการคำนวณเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานตามปกติของมหาวิทยาลัย ซึ่งอยู่ภายใต้ขอบเขตการควบคุมการดำเนินงาน และมีข้อมูลกิจกรรมเพียงพอสำหรับการประเมินอย่างน่าเชื่อถือ ส่วนกิจกรรมที่ไม่นับรวมเป็นกิจกรรมที่ยังไม่มีข้อมูลเพียงพอ ไม่สามารถกำหนด

ขอบเขตข้อมูลได้ชัดเจนในพื้นฐาน หรืออยู่นอกกรอบการรวบรวมข้อมูลของการศึกษาครั้งนี้ เช่น กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง อาคารหรือการบริโภค และกิจกรรมทางอ้อมบางหมวดในขอบเขตที่ 3 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** การกำหนดขอบเขตการศึกษาและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF)

| รายการ                                                              | การนับรวม | ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ค่า EF)      |                               |                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                     |           | หน่วย                                               | kgCO <sub>2</sub> eq ต่อหน่วย | แหล่งที่มา                                                                                              |
| ขอบเขตที่ 1                                                         |           |                                                     |                               |                                                                                                         |
| 1. การใช้เชื้อเพลิง สำหรับการตัดหญ้าภายในมหาวิทยาลัย                | ✓         |                                                     |                               |                                                                                                         |
| 1.1. น้ำมันเบนซิน (การเผาไหม้แบบอยู่กับที่)                         |           | L                                                   | 2.1894                        | CFO (เมษายน 2565), IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE [13]                                                      |
| 1.2. น้ำมันหล่อลื่น (การเผาไหม้แบบอยู่กับที่)                       |           | L                                                   | 3.2457*                       | CFO (เมษายน 2565), IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE ของ Fuel oil C [13]                                       |
| 2. การใช้เชื้อเพลิง สำหรับยานพาหนะของมหาวิทยาลัย                    | ✓         |                                                     |                               |                                                                                                         |
| 2.1. น้ำมันดีเซล (การเผาไหม้แบบเคลื่อนที่)                          |           | L                                                   | 2.7406                        | CFO (เมษายน 2565), IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE [13]                                             |
| 2.2. น้ำมันเบนซิน (การเผาไหม้แบบเคลื่อนที่)                         |           | L                                                   | 2.2394                        | CFO (เมษายน 2565), IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE [13]                                             |
| 3. การเกิดก๊าซมีเทนจากถังบำบัดสิ่งปฏิกูล (Septic tank) ของประชากร** | ✓         | kgBOD                                               | 8.4000                        | คำนวณจาก IPCC Guideline Vol.5, 2006. chapter 6 Wastewater: Equation 6.2 [14]                            |
| 4. การรั่วไหลของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ                    | ✓         |                                                     |                               |                                                                                                         |
| 4.1. สารทำความเย็น R410a                                            |           | kg                                                  | 1,923.5                       | CFO (เมษายน 2565), IPCC 2013, AR5 [13]                                                                  |
| 4.2. สารทำความเย็น R-32                                             |           | kg                                                  | 677                           | CFO (เมษายน 2565), IPCC 2013, AR5 [13]                                                                  |
| 4.3. สารทำความเย็น R-22                                             |           | kg                                                  | 1,760                         | CFO (เมษายน 2565), IPCC 2013, AR5 [13]                                                                  |
| 5. การบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัย                                    | ×         | ไม่นับรวม เนื่องจากมหาวิทยาลัยไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย |                               |                                                                                                         |
| 6. การใช้สารดับเพลิงของมหาวิทยาลัย                                  | ×         | ไม่นับรวม เนื่องจากมหาวิทยาลัยไม่มีการเก็บข้อมูล    |                               |                                                                                                         |
| 7. การใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อดูแลต้นไม้ภายในมหาวิทยาลัย                   | ×         | ไม่นับรวม เนื่องจากมหาวิทยาลัยไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมี   |                               |                                                                                                         |
| ขอบเขตที่ 2                                                         |           |                                                     |                               |                                                                                                         |
| 1. ไฟฟ้า                                                            | ✓         | kWh                                                 | 0.4999                        | CFO (เมษายน 2565), Thai National LCI Database, TIISMEC-NSTDA, AR5 (with TGO electricity 2016-2018) [13] |
| ขอบเขตที่ 3                                                         |           |                                                     |                               |                                                                                                         |
| หมวด 1. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการซื้อวัตถุดิบและบริการ    | ✓         |                                                     |                               |                                                                                                         |
| 1.1. การใช้กระดาษ A4                                                |           | kg                                                  | 0.6677                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 590 [15]                                                                      |

| รายการ                                                                                                 | การนับรวม | ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ค่า EF) |                               |                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                        |           | หน่วย                                          | kgCO <sub>2</sub> eq ต่อหน่วย | แหล่งที่มา                                                                                                              |
| 1.2. การผลิตกระแสไฟฟ้าสำรองของระบบเครือข่ายมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่ซื้อบริการมาจากหน่วยงานภายนอก |           |                                                |                               |                                                                                                                         |
| 1.2.1. น้ำมันดีเซล (การได้มา)                                                                          |           | kg                                             | 0.3522                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 55 [15]                                                                                       |
| 1.2.2. น้ำมันดีเซล (การเผาไหม้แบบอยู่กับที่)                                                           |           | L                                              | 2.7078                        | CFO (เมษายน 2565), IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE [13]                                                                      |
| <b>หมวด 2.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากสินค้าประเภททุน                                         | ×         | ไม่นับรวมภายในขอบเขตที่พิจารณา                 |                               |                                                                                                                         |
| <b>หมวด 3.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงและพลังงาน             | ✓         |                                                |                               |                                                                                                                         |
| 3.1. ไฟฟ้า (การได้มา)                                                                                  |           | kWh                                            | 0.0987                        | CFO (เมษายน 2565), Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA, AR5 (with TGO electricity 2016-2018) [13]                |
| 3.2. น้ำมันเบนซิน (การได้มา)                                                                           |           | kg                                             | 0.4024                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 52 [15]                                                                                       |
| 3.3. น้ำมันหล่อลื่น (การได้มา)                                                                         |           | kg                                             | 0.8319                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 598: [15]                                                                                     |
| 3.4. น้ำมันดีเซล (การได้มา)                                                                            |           | kg                                             | 0.3522                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 55 [15]                                                                                       |
| <b>หมวด 4.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการขนส่ง และกระจายสินค้าต้นน้ำ                          | ✓         |                                                |                               |                                                                                                                         |
| 4.1. การขนส่งกระดาด A4 ด้วยรถตู้บรรทุก 4 ล้อ วิ่งแบบปกติ 100% loading                                  |           | tkm                                            | 0.1835                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 77 [15]                                                                                       |
| 4.2. การขนส่งกระดาด A4 ด้วยรถตู้บรรทุก 4 ล้อ วิ่งแบบปกติ 0% loading                                    |           | km                                             | 0.3345                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 74 [15]                                                                                       |
| <b>หมวด 5.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการกำจัดของเสียที่เกิดจากการดำเนินกิจกรรมขององค์กร      | ✓         |                                                |                               |                                                                                                                         |
| 5.1. การฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนแบบถูกหลักสุขาภิบาล                                                        |           | kg                                             | 0.7933                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 575 [15]                                                                                      |
| 5.2. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกองขยะแบบต้น                                                             |           | kg                                             | 2.3200                        | ของเสียอื่นๆ ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนคำนวณจากข้อมูลที่เก็บโดย The Joint Graduate School of Energy and Environment [11] |
| 5.3. การขนส่งขยะ ด้วยรถบรรทุกขยะ 6 ล้อ วิ่งปกติ 100% loading                                           |           | tkm                                            | 0.0475                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 237 [15]                                                                                      |
| 5.4. การขนส่งขยะ ด้วยรถบรรทุกขยะ 6 ล้อ วิ่งปกติ 0% loading (การขนส่ง)                                  |           | km                                             | 0.4923                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 234 [15]                                                                                      |
| <b>หมวด 6.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการเดินทางเพื่อธุรกิจ                                   | ×         | ไม่นับรวมภายในขอบเขตที่พิจารณา                 |                               |                                                                                                                         |

| รายการ                                                                                | การนับรวม | ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ค่า EF) |                               |                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                                                                       |           | หน่วย                                          | kgCO <sub>2</sub> eq ต่อหน่วย | แหล่งที่มา                                                  |
| <b>หมวด 7.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการเดินทางของพนักงาน                   | ✓         |                                                |                               |                                                             |
| 7.1 การเดินทางไป-กลับของประชากร**                                                     |           |                                                |                               |                                                             |
| 7.1.1. น้ำมันดีเซล (การได้มา)                                                         |           | kg                                             | 0.3522                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 55 [15]                           |
| 7.1.2. น้ำมันดีเซล (การเผาไหม้แบบเคลื่อนที่)                                          |           | L                                              | 2.7406                        | CFO (เมษายน 2565), IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE [13] |
| 7.1.3. น้ำมันเบนซิน (การได้มา)                                                        |           | kg                                             | 0.4024                        | CFP (กรกฎาคม 2565), ลำดับ 52 [15]                           |
| 7.1.4. น้ำมันเบนซิน (การเผาไหม้แบบเคลื่อนที่)                                         |           | L                                              | 2.2394                        | CFO (เมษายน 2565), IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE [13] |
| <b>หมวด 8.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้สินทรัพย์ที่เช่า                 | ×         | ไม่นับรวมภายในขอบเขตที่พิจารณา                 |                               |                                                             |
| <b>หมวด 9.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการขนส่ง และกระจายสินค้า               | ×         | ไม่นับรวมภายในขอบเขตที่พิจารณา                 |                               |                                                             |
| <b>หมวด 10.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการแปรรูปสินค้าที่องค์กรจำหน่าย       | ×         | ไม่นับรวมภายในขอบเขตที่พิจารณา                 |                               |                                                             |
| <b>หมวด 11.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่องค์กรจำหน่าย | ×         | ไม่นับรวมภายในขอบเขตที่พิจารณา                 |                               |                                                             |
| <b>หมวด 12.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ที่องค์กรจำหน่าย  | ×         | ไม่นับรวมภายในขอบเขตที่พิจารณา                 |                               |                                                             |
| <b>หมวด 13.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการปล่อยเช่าสินทรัพย์ขององค์กร        | ×         | ไม่นับรวมภายในขอบเขตที่พิจารณา                 |                               |                                                             |
| <b>หมวด 14.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากแฟรนไชส์                              | ×         | ไม่นับรวมภายในขอบเขตที่พิจารณา                 |                               |                                                             |
| <b>หมวด 15.</b> การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการลงทุน                              | ×         | ไม่นับรวมภายในขอบเขตที่พิจารณา                 |                               |                                                             |

หมายเหตุ : \*พิจารณาเลือกใช้ค่า EF สูงสุดในหมวดตามหลักความระมัดระวัง (Conservative Principle)

\*\*บุคลากร 723 คน จำนวน 255 วัน/ปี, นักศึกษาภาคปกติ จำนวน 206 วัน/ปี, นักศึกษาภาคพิเศษ จำนวน 85 วัน/ปี โดยจำนวนนักศึกษาทั้งภาคปกติและภาคพิเศษ คิดแยกรายเดือนตามการลงทะเบียนในแต่ละภาคเรียนของปีการศึกษา 2565

**3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรม** การเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรม แบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

**3.3.1 ข้อมูลกิจกรรมจริงขององค์กร** ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมเชิงปริมาณรายเดือนจากหลักฐานการจัดซื้อ ใบเสร็จรับเงิน และบันทึกการเบิกจ่ายต่างๆ

**3.3.2 ข้อมูลจากการกำหนดสมมติฐานรูปแบบการเดินทาง** การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม

การเดินทางไป-กลับของบุคลากรและนักศึกษาในขอบเขตที่ 3 ใช้วิธีการกำหนดสมมติฐานรูปแบบการเดินทาง (Commuting pattern assumptions) ของผู้เดินทางแต่ละกลุ่มร่วมกับข้อมูลกิจกรรมจริงของมหาวิทยาลัย เนื่องจากประชากรมีจำนวนมาก และไม่สามารถเก็บข้อมูลรายบุคคลได้ครบทั้งหมด ผู้วิจัยจึงทำการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นด้วยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบตามความสะดวก (Convenience sampling) จำนวน 161 คน

ประกอบด้วย บุคลากร 42 คน นักศึกษาภาคปกติ 106 คน และ นักศึกษาภาคพิเศษ 13 คน เพื่อใช้สะท้อนลักษณะการเดินทาง ประเภทยานพาหนะ และช่วงระยะทางของผู้เดินทางในแต่ละกลุ่ม ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาพิจารณาพร้อมกับข้อมูลประชากรที่พักอาศัยภายในมหาวิทยาลัย (ทั้งบ้านพักบุคลากรและหอพักนักศึกษา) ตลอดจนการกระจายตัวของที่พักอาศัยภายนอกโดยรอบมหาวิทยาลัย เพื่อกำหนดสมมติฐานรูปแบบการเดินทางของแต่ละกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2

ทั้งนี้ การเก็บข้อมูลดังกล่าวมิได้เป็นการสุ่มตัวอย่างเชิงสถิติอย่างเคร่งครัด จึงอาจไม่สะท้อนโครงสร้างประชากรทาง

สถิติได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้นำสมมติฐานรูปแบบการเดินทางของแต่ละกลุ่มไปประยุกต์ใช้ร่วมกับฐานข้อมูลประชากรจริงของมหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2565 และหลักความระมัดระวัง (Conservative principle) เพื่อให้การประเมินสอดคล้องกับบริบทของมหาวิทยาลัยและป้องกันการประเมินค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้ เพื่อประเมินผลของความเปลี่ยนแปลงของสมมติฐานหลักในตารางที่ 2 ต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ความไวของสมมติฐานรูปแบบการเดินทางเพิ่มเติม ดังอธิบายในหัวข้อ 3.6

ตารางที่ 2 สมมติฐานรูปแบบการเดินทางของบุคลากรและนักศึกษาที่ใช้ในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

| กลุ่มผู้เดินทาง          | ประเภทยานพาหนะ                       | สมมติฐานสัดส่วนระยะทาง<br>(ขาเดียว) | สมมติฐานสัดส่วนตาม<br>กลุ่ม |
|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1. บุคลากร               | 1. รถยนต์ (80%)                      |                                     |                             |
|                          | 1.1. น้ำมันเบนซิน (60%)              | - ระยะ 5 km (35%)                   | 21%                         |
|                          |                                      | - ระยะ 15 km (35%)                  | 21%                         |
|                          |                                      | - ระยะ 25 km (20%)                  | 12%                         |
|                          |                                      | - ระยะ 40 km (10%)                  | 6%                          |
|                          | 1.2. น้ำมันดีเซล (20%)               | - ระยะ 5 km (35%)                   | 7%                          |
|                          |                                      | - ระยะ 15 km (35%)                  | 7%                          |
|                          |                                      | - ระยะ 25 km (20%)                  | 4%                          |
|                          |                                      | - ระยะ 40 km (10%)                  | 2%                          |
|                          | 2. รถจักรยานยนต์ -น้ำมันเบนซิน (20%) | - ระยะ 1 km (45%)                   | 9%                          |
| 2. นักศึกษา<br>(ภาคปกติ) | 1. รถยนต์ (10%)                      |                                     |                             |
|                          | 1.1. น้ำมันเบนซิน (5%)               | - ระยะ 5 km (20%)                   | 1%                          |
|                          |                                      | - ระยะ 15 km (40%)                  | 2%                          |
|                          |                                      | - ระยะ 25 km (40%)                  | 2%                          |
|                          | 1.2. น้ำมันดีเซล (5%)                | - ระยะ 5 km (20%)                   | 1%                          |
|                          |                                      | - ระยะ 15 km (40%)                  | 2%                          |
|                          |                                      | - ระยะ 25 km (40%)                  | 2%                          |
|                          | 2. รถจักรยานยนต์ -น้ำมันเบนซิน (60%) | - ระยะ 2 km (40%)                   | 24%                         |
|                          |                                      | - ระยะ 5 km (40%)                   | 24%                         |
|                          |                                      | - ระยะ 15 km (15%)                  | 9%                          |
|                          |                                      | - ระยะ 25 km (5%)                   | 3%                          |
|                          | 3. เดิน (30%)                        | - ระยะ 0.5-1 km (30%)               | 30%                         |
| 3. นักศึกษา              | 1. รถยนต์ (80%)                      |                                     |                             |

| กลุ่มผู้เดินทาง | ประเภทยานพาหนะ                       | สมมติฐานสัดส่วนระยะทาง<br>(ขาเดียว) | สมมติฐานสัดส่วนตาม<br>กลุ่ม |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| (ภาคพิเศษ)      | 1.1. น้ำมันเบนซิน (60%)              | - ระยะ 30 km (35%)                  | 21%                         |
|                 |                                      | - ระยะ 40 km (35%)                  | 21%                         |
|                 |                                      | - ระยะ 50 km (30%)                  | 18%                         |
|                 | 1.2. น้ำมันดีเซล (20%)               | - ระยะ 30 km (35%)                  | 7%                          |
|                 |                                      | - ระยะ 40 km (35%)                  | 7%                          |
|                 |                                      | - ระยะ 50 km (30%)                  | 6%                          |
|                 | 2. รถจักรยานยนต์ -น้ำมันเบนซิน (20%) | - ระยะ 20 km (35%)                  | 7%                          |
|                 |                                      | - ระยะ 30 km (35%)                  | 7%                          |
|                 |                                      | - ระยะ 40 km (30%)                  | 6%                          |

**3.4 วิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก**  
การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรมใช้สมการพื้นฐานตามหลักการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ [11] โดยนำข้อมูลกิจกรรม (Activity data) คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor (EF)) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$GHG = AD \times EF \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่ *GHG* คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emissions) มีหน่วยเป็นตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO<sub>2</sub>eq)

*AD* คือ ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) เช่น ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือปริมาณเชื้อเพลิง

*EF* คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)

สำหรับการเลือกใช้ค่า EF ผู้วิจัยได้สืบค้นและอ้างอิงจากฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [13], [15] ซึ่งค่า EF ทั้งหมดที่พิจารณาเลือกใช้ในการศึกษานี้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1 ผลการคำนวณจะถูกแปลงค่าให้อยู่ในหน่วยตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO<sub>2</sub>eq) โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential (GWP)) ตามรายงานการประเมินฉบับที่ 5 (Fifth Assessment

Report (AR5)) ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการคำนวณขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [11]

**3.4.1 การคำนวณการเกิดก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>)** จากถังบำบัดสิ่งปฏิกูล (Septic tank) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนภายในถังบำบัดสิ่งปฏิกูล อ้างอิงแนวทางการคำนวณตาม IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006) [14] โดยปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนคำนวณจากปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสีย (Total Organics in Wastewater (TOW)) ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซมีเทนของระบบบำบัด ตามสมการของ IPCC [14] ดังนี้

$$CH_4 \text{ Emission} = [\sum(U_i \times T_{i,j} \times EF_j)] \times (TOW - S - R)(2)$$

โดยที่ *CH<sub>4</sub> Emission* คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน (kgCH<sub>4</sub> ต่อปี), *U<sub>i</sub>* คือ สัดส่วนประชากรในกลุ่ม *i*, *T<sub>i,j</sub>* คือ ระดับการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียชนิด *j*, *EF<sub>j</sub>* คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซมีเทนของระบบบำบัด (kgCH<sub>4</sub> / kgBOD), *TOW* คือ ปริมาณสารอินทรีย์รวมในน้ำเสีย (kgBOD ต่อปี), *S* คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดออกในรูปตะกอน และ *R* คือ ปริมาณก๊าซมีเทนที่กู้คืนกลับมาใช้ประโยชน์

สำหรับการศึกษานี้ มหาวิทยาลัยใช้ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลแบบ Septic tank เพียงระบบเดียว จึงกำหนดค่า  $T = 1$  และเนื่องจากประชากรที่ใช้ระบบมีลักษณะเป็นกลุ่มเดียวในแต่ละชุดการคำนวณ จึงกำหนดค่า  $U = 1$  นอกจากนี้ ไม่มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดออกในรูปตะกอน และไม่พบการกักเก็บก๊าซมีเทนกลับมาใช้ประโยชน์ จึงกำหนด  $S = 0$  และ  $R = 0$  ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซมีเทนของระบบบำบัด คำนวณจากสมการที่ (3) ดังต่อไปนี้

$$EF = B_0 \times MCF \dots \dots \dots (3)$$

โดยที่  $B_0$  คือ ค่าความสามารถสูงสุดในการผลิตก๊าซมีเทน (การศึกษานี้ใช้  $B_0$  เท่ากับ  $0.6 \text{ kgCH}_4 / \text{kgBOD}$ ) และ  $MCF$  คือ ค่าตัวประกอบการปรับแก้ก๊าซมีเทน ( $0.5$  สำหรับระบบ Septic tank) ทำให้ได้ค่า  $EF$  เท่ากับ  $0.3 \text{ kgCH}_4 / \text{kgBOD}$  สำหรับปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำเสีย ( $TOW$ ) ถูกคำนวณจากสมการที่ (4) ดังต่อไปนี้

$$TOW = \sum (P_i \times BOD \times 0.001 \times I \times D_i) \dots \dots \dots (4)$$

โดยที่  $P_i$  คือ จำนวนประชากรแต่ละกลุ่ม  $i$ ,  $BOD$  คือ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีต่อคนต่อวัน (การศึกษานี้ใช้  $BOD$  เท่ากับ  $40 \text{ g/person/day}$ ),  $0.001$  คือ ค่าคงที่สำหรับแปลงหน่วยจากกรัมเป็นกิโลกรัม,  $I$  คือ ค่าปรับแก้กรณีมีน้ำเสียจากกิจกรรมอื่นเพิ่มเติมเข้าสู่ระบบ (สำหรับการศึกษานี้เท่ากับ  $1$ ), และ  $D_i$  คือ จำนวนวันเข้าใช้งานพื้นที่จริงของแต่ละกลุ่มประชากร  $i$  ได้แก่ บุคลากร ( $255 \text{ วัน/ปี}$ ) นักศึกษาภาคปกติ ( $206 \text{ วัน/ปี}$ ) และนักศึกษาภาคพิเศษ ( $85 \text{ วัน/ปี}$ ) เพื่อให้สอดคล้องกับตารางการปฏิบัติงานและการเรียนการสอนจริง ท้ายที่สุด ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน ( $\text{kgCH}_4$  ต่อปี) จะถูกนำไปคูณด้วยค่า GWP เพื่อแปลงค่าการปล่อยก๊าซทั้งหมดให้อยู่ในรูปของ  $\text{tCO}_2\text{eq}$  ก่อนนำไปรวมในบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย

**3.4.2 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของบุคลากรและนักศึกษา** การศึกษานี้ใช้จำนวนประชากรจริงของแต่ละกลุ่มร่วมกับสมมติฐานรูปแบบการ

เดินทางตามตารางที่ 2 โดยจำแนกผู้เดินทางเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ บุคลากร นักศึกษาภาคปกติ และนักศึกษาภาคพิเศษ ระยะทางที่กำหนดในตารางที่ 2 เป็นระยะทางขาเดียว ซึ่งในการคำนวณได้แปลงเป็นระยะทางไป-กลับโดยสมมติให้ระยะทางขาไปและขากลับเท่ากัน จากนั้นคูณด้วยจำนวนวันเดินทางต่อปีของแต่ละกลุ่ม เพื่อหาระยะทางเดินทางรวมต่อปี กล่าวคือ ในปีการศึกษา 2565 บุคลากรใช้จำนวนวันทำงาน 255 วันต่อปี นักศึกษาภาคปกติ และนักศึกษาภาคพิเศษ ใช้จำนวนวันที่มีการจัดการเรียนการสอน 206 และ 85 วันต่อปี ตามลำดับ

ระยะทางเดินทางรวมดังกล่าวถูกแปลงเป็นปริมาณการใช้เชื้อเพลิงตามประเภทยานพาหนะและชนิดเชื้อเพลิง โดยใช้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [11] ได้แก่ น้ำมันเบนซินของรถยนต์เฉลี่ยทุกขนาด  $14.763 \text{ กิโลเมตรต่อลิตร}$  น้ำมันดีเซลของรถกระบะส่วนบุคคลขนาด  $1 \text{ ตัน } 11.111 \text{ กิโลเมตรต่อลิตร}$  และน้ำมันเบนซินของรถจักรยานยนต์  $4 \text{ จังหวะเฉลี่ยทุกขนาด } 37.64 \text{ กิโลเมตรต่อลิตร}$  แล้วนำปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ได้ไปคูณกับค่า  $EF$  ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของการได้มาซึ่งเชื้อเพลิงและการเผาไหม้เชื้อเพลิง เพื่อคำนวณเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูป  $\text{tCO}_2\text{eq}$

**3.5 การประเมินความไม่แน่นอน** การศึกษานี้ได้ดำเนินการประเมินความไม่แน่นอนของบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกเชิงคุณภาพตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [11] เพื่อบ่งชี้ระดับความน่าเชื่อถือของผลการคำนวณ โดยพิจารณาจาก 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ (1) ระดับคุณภาพของลักษณะการเก็บข้อมูลกิจกรรม และ (2) ระดับคุณภาพของค่า  $EF$  ที่เลือกใช้ ซึ่งมีการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับแต่ละปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** คะแนนระดับคุณภาพของลักษณะการเก็บข้อมูลและการเลือกใช้ค่า  $EF$

| รายการ                 | คะแนนระดับคุณภาพ |                                                     |
|------------------------|------------------|-----------------------------------------------------|
| 1. ลักษณะการเก็บข้อมูล | X = 6 คะแนน      | เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องด้วยการติดตั้งระบบอัตโนมัติ |
|                        | Y = 3 คะแนน      | เก็บข้อมูลจากมิเตอร์และใบเสร็จ                      |

| รายการ               | คะแนนระดับคุณภาพ |                                  |
|----------------------|------------------|----------------------------------|
|                      | Z = 1 คะแนน      | เก็บข้อมูลจากการประมาณค่า        |
| 2. การเลือกใช้ค่า EF | A = 4 คะแนน      | EF จากการวัดที่มีคุณภาพ          |
|                      | B = 3 คะแนน      | EF จากผู้ผลิตหรือ EF ระดับประเทศ |
|                      | C = 2 คะแนน      | EF ระดับภูมิภาค                  |
|                      | D = 1 คะแนน      | EF ระดับสากล                     |

ที่มา: (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2565) [11]

การประเมินระดับความไม่แน่นอนโดยรวมของแต่ละแหล่งปล่อย ดำเนินการโดยการนำคะแนนระดับคุณภาพของลักษณะการเก็บข้อมูลมาคูณกับคะแนนการเลือกใช้ค่า EF ดังความสัมพันธ์ต่อไปนี้

1) คะแนนประเมินความไม่แน่นอน ใช้สูตรคือ

คะแนนประเมินความไม่แน่นอน = คะแนนลักษณะการเก็บข้อมูลกิจกรรม ×  
คะแนนการเลือกใช้ค่า EF.....(5)

2) ผลลัพธ์ของคะแนนที่ได้จะถูกนำมาจัดลำดับคุณภาพเพื่อสะท้อนระดับความไม่แน่นอนของข้อมูล ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 ข้อมูลส่วนนี้จะถูกใช้เป็นแนวทางสำคัญในการพิจารณาวางแผนปรับปรุงคุณภาพการจัดเก็บข้อมูลขององค์กรในอนาคต

ตารางที่ 4 ระดับคะแนนและเกณฑ์ที่ใช้ประเมินความไม่แน่นอน

| ระดับ | ระดับคะแนน<br>โดยรวมของข้อมูล | คำอธิบาย                                          |
|-------|-------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1     | 1-6                           | มีความไม่แน่นอนสูง<br>คุณภาพของข้อมูลไม่ดี        |
| 2     | 7-12                          | มีความไม่แน่นอนเล็กน้อย<br>คุณภาพของข้อมูลปานกลาง |
| 3     | 13-18                         | มีความไม่แน่นอนต่ำ<br>คุณภาพของข้อมูลดี           |
| 4     | 19-24                         | มีความไม่แน่นอนต่ำ<br>คุณภาพของข้อมูลดีเยี่ยม     |

ที่มา: (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2565) [11]

### 3.6 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของสมมติฐานรูปแบบการเดินทาง

เพื่อประเมินผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงพฤติกรรมการเดินทางที่ได้จากการสำรวจเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ความไวของสมมติฐานรูปแบบการเดินทางที่ใช้ในการคำนวณจากตารางที่ 2 โดยการใช้การจำลองสถานการณ์ (Scenario analysis) กำหนดให้สมมติฐานหลัก ได้แก่ ระยะทางการเดินทางและจำนวนวันเดินทาง มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงที่ระดับร้อยละ  $\pm 10$ ,  $\pm 20$  และ  $\pm 30$  จากค่าฐาน (Baseline scenario)

การวิเคราะห์นี้ใช้แนวทางการวิเคราะห์ความไวแบบทางเดียว (One-way sensitivity analysis) โดยปรับเปลี่ยนสมมติฐานทีละรายการภายใต้ระดับที่กำหนด ขณะที่สมมติฐานอื่นคงเดิม แล้วพิจารณาผลที่เกิดขึ้นต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการเดินทางและค่าการปล่อยรวมขององค์กร เพื่อใช้ประกอบการตีความความน่าเชื่อถือของผลการศึกษาและประเมินอิทธิพลของสมมติฐานต่อข้อสรุปของงานวิจัย

## 4. ผลการศึกษาวิจัย

4.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกตามขอบเขต จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ประจำปีการศึกษา 2565 ภายใต้ขอบเขตการควบคุมการดำเนินงาน พบว่ามหาวิทยาลัยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิรวมทั้งสิ้น 8,669.85 tCO<sub>2</sub>e ต่อปี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

เมื่อจำแนกตามขอบเขตการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่า ขอบเขตที่ 3 (การปล่อยทางอ้อมอื่น ๆ) มีสัดส่วนสูงที่สุด โดยมีปริมาณ 5,408.65 tCO<sub>2</sub>e ต่อปี คิดเป็นร้อยละ 62.38 ของการปล่อยทั้งหมด รองลงมาคือ ขอบเขตที่ 2 (การใช้พลังงานไฟฟ้า) มีปริมาณ 2,401.54 tCO<sub>2</sub>e ต่อปี คิดเป็นร้อยละ 27.70 และขอบเขตที่ 1 (การปล่อยทางตรง) มีปริมาณต่ำที่สุด 859.66 tCO<sub>2</sub>e ต่อปี คิดเป็นร้อยละ 9.92 ตามลำดับ ข้อสังเกตสำคัญเพิ่มเติมเกี่ยวกับสารทำความเย็นที่นอกเหนือจากการรายงานในขอบเขตที่ 1 พบการรั่วไหลของ

สารทำความเย็น R-22 311.17 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี ซึ่งต้องรายงาน 3,629.61 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี (ร้อยละ 67.11 ของขอบเขตที่ 3) แยกตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก รองลงมาคือ การกำจัดขยะมูลฝอยที่นำไปฝังกลบภายนอก (องค์การมหาชน) โดยไม่นับรวมในปริมาณการปล่อยรวม มหาวิทยาลัย และการได้มาซึ่งเชื้อเพลิงและพลังงาน คิดเป็น เนื่องจาก R-22 เป็นสารควบคุมภายใต้พิธีสารมอนทรีออล ร้อยละ 23.93 และ 8.84 ของขอบเขตที่ 3 ตามลำดับ (Montreal Protocol) ดังนั้น หากพิจารณาการรั่วไหลของ ผลดังกล่าวบ่งชี้ว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ สารทำความเย็นทั้งหมดจากตารางที่ 5 จะมีปริมาณสูงถึง มหาวิทยาลัยไม่ได้อยู่ที่กิจกรรมการใช้พลังงานภายในองค์กร เพียงอย่างเดียว แต่มีลักษณะเด่นที่การปล่อยทางอ้อมใน

สำหรับขอบเขตที่ 3 แหล่งปล่อยหลักมาจากการ ขอบเขตที่ 3 ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยรวม เดินทางไป-กลับระหว่างมหาวิทยาลัยและที่พักของบุคลากร ของมหาวิทยาลัย และนักศึกษาด้วยยานพาหนะส่วนตัวมีปริมาณสูงถึง

ตารางที่ 5 บัญชีรายการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

| ขอบเขต                                                | แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก                                                                                             | ปริมาณการปล่อย (tCO <sub>2</sub> eq ต่อปี) | สัดส่วนการปล่อยทั้งหมด (%) |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|
| ประเภทที่ 1                                           | 1. การเผาไหม้แบบอยู่กับที่จากการใช้เชื้อเพลิง สำหรับการตัดหญ้า ภายในมหาวิทยาลัย                                      | 9.16 (1.06%)                               | 0.11                       |
|                                                       | 2. การเผาไหม้แบบเคลื่อนที่จากการใช้เชื้อเพลิง สำหรับยานพาหนะของ มหาวิทยาลัย                                          | 24.76 (2.88%)                              | 0.29                       |
|                                                       | 3. การเกิดก๊าซมีเทนจากถังบำบัดสิ่งปฏิกูล                                                                             | 626.16 (72.84%)                            | 7.22                       |
|                                                       | 4. การรั่วไหลของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ                                                                     | 199.58 (23.22%)                            | 2.30                       |
| รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขอบเขตที่ 1         |                                                                                                                      | 859.66 (100%)                              | 9.92                       |
| รายงานแยก*                                            | 1. การรั่วไหลของสารทำความเย็น R-22                                                                                   | 311.17 (100%)                              | -                          |
| ประเภทที่ 2                                           | 1. การใช้ไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย                                                                                       | 2,401.54 (100%)                            | 27.70                      |
|                                                       | รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขอบเขตที่ 2                                                                        | 2,401.54 (100%)                            | 27.70                      |
| ประเภทที่ 3                                           | 1. การใช้กระดาษ A4                                                                                                   | 4.38 (0.08%)                               | 0.05                       |
|                                                       | 2. การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าสำรองของระบบ เครื่องขั้วมหาวิทยาลัยที่ซื้อบริการมาจากหน่วยงานภายนอก | 2.11 (0.04%)                               | 0.02                       |
|                                                       | 3. การได้มาซึ่งเชื้อเพลิงและพลังงาน                                                                                  | 478.18 (8.84%)                             | 5.52                       |
|                                                       | 4. การกำจัดขยะมูลฝอยที่นำไปฝังกลบภายนอกมหาวิทยาลัย                                                                   | 1,294.39 (23.93%)                          | 14.93                      |
|                                                       | 5. การเดินทางไป-กลับระหว่างมหาวิทยาลัยและที่พักของบุคลากรและ นักศึกษาด้วยยานพาหนะส่วนตัว                             | 3,629.61 (67.11%)                          | 41.86                      |
| รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของขอบเขตที่ 3         |                                                                                                                      | 5,408.65 (100%)                            | 62.38                      |
| ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด (ขอบเขตที่ 1+2+3) |                                                                                                                      | 8,669.85                                   | 100                        |

หมายเหตุ : \*การรั่วไหลของสารทำความเย็น R-22 ซึ่งเป็นสารในกลุ่มไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs)) ภายใต้ ข้อกำหนดของพิธีสารมอนทรีออลถูกแยกรายงานต่างหากเพื่อความโปร่งใสในการรายงาน แม้ว่าจะเป็นปล่อยโดยตรงจากกิจกรรม ภายในองค์กร แต่ไม่ได้รวมในปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการรายงานขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือน กระจก (องค์การมหาชน) สำหรับสารทำความเย็นที่เป็นสารทำลายชั้นโอโซน (Ozone-depleting substances (ODS))

#### 4.2 แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ (Hotspots)

จากการวิเคราะห์แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา พบว่า แหล่งปล่อยหลัก 3 อันดับแรก ได้แก่ การเดินทางไป-กลับของบุคลากรและนักศึกษาด้วยยานพาหนะส่วนตัว การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอาคารและส่วนกลาง และการกำจัดขยะมูลฝอยที่นำไปฝังกลบภายนอกมหาวิทยาลัย ซึ่งรวมกันคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 84.49 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 5 ผลดังกล่าวสะท้อนว่าโครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยไม่ได้เกิดจากกิจกรรมด้านพลังงานภายในองค์กรเพียงด้านเดียว แต่ยังเกิดจากกิจกรรมทางอ้อมที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมการเดินทางและการใช้ทรัพยากรของประชากรภายในมหาวิทยาลัยอย่างชัดเจน

การใช้สมมติฐานรูปแบบการเดินทางร่วมกับข้อมูลประชากรจริงของมหาวิทยาลัย ช่วยให้สามารถประมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการเดินทางไป-กลับของบุคลากรและนักศึกษาในขอบเขตที่ 3 ได้อย่างเป็นระบบภายใต้ข้อจำกัดของข้อมูลรายบุคคล และนำไปสู่ข้อค้นพบว่ากิจกรรมดังกล่าวเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุดของมหาวิทยาลัย

**4.2.1 การเดินทางของบุคลากรและนักศึกษา** กิจกรรมการเดินทางไป-กลับระหว่างมหาวิทยาลัยและที่พักของบุคลากรและนักศึกษาด้วยยานพาหนะส่วนตัวเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด คิดเป็น 3,629.61 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี หรือร้อยละ 41.86 ของการปล่อยทั้งหมด ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่ากิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการเดินทางของประชากรภายในมหาวิทยาลัยมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร และบ่งชี้ถึงลักษณะเฉพาะของมหาวิทยาลัยในพื้นที่ภูมิภาคที่มีข้อจำกัดด้านระบบขนส่งสาธารณะ ส่งผลให้การพึ่งพายานพาหนะส่วนบุคคลกลายเป็นปัจจัยสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร

**4.2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้า** การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอาคารและส่วนกลางของมหาวิทยาลัยเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงเป็นอันดับที่สอง คิดเป็น 2,401.54 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี หรือร้อยละ 27.70 ของการปล่อยทั้งหมด

ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการดำเนินกิจกรรมหลักของมหาวิทยาลัย ทั้งด้านการเรียนการสอน การวิจัย การบริหารจัดการ และการใช้พื้นที่ส่วนกลาง ยังคงพึ่งพาการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย

**4.2.3 การกำจัดขยะมูลฝอย** การกำจัดขยะมูลฝอยที่นำไปฝังกลบภายนอกมหาวิทยาลัยเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงเป็นอันดับที่สาม คิดเป็น 1,294.39 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี หรือร้อยละ 14.93 ของการปล่อยทั้งหมด โดยการปล่อยหลักเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศในหลุมฝังกลบ ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซมีเทน ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการจัดการของเสียยังเป็นประเด็นสำคัญที่มีผลต่อคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมหาวิทยาลัยอย่างมีนัยสำคัญ และควรได้รับความสำคัญควบคู่กับการจัดการด้านพลังงานและการเดินทาง

**4.2.4 แหล่งปล่อยสำคัญในขอบเขตที่ 1** แม้ขอบเขตที่ 1 จะมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมต่ำกว่าขอบเขตที่ 2 และขอบเขตที่ 3 แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะกิจกรรมที่องค์กรสามารถควบคุมได้โดยตรง พบว่า การเกิดก๊าซมีเทนจากถังบำบัดสิ่งปฏิกูลเป็นแหล่งปล่อยที่ควรได้รับความสนใจเนื่องจากเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนภายในระบบสุขาภิบาลขององค์กร กิจกรรมดังกล่าวมีความสำคัญในเชิงการบริหารจัดการเนื่องจากการปล่อยทางตรงที่องค์กรสามารถกำหนดมาตรการควบคุมและลดการปล่อยได้ในระดับหนึ่ง ทั้งนี้ การศึกษาครั้งนี้พิจารณาเฉพาะการปล่อยจากถังบำบัดสิ่งปฏิกูล และไม่รวมระบบบำบัดน้ำเสียรวมขององค์กรเนื่องจากมหาวิทยาลัยไม่มีระบบดังกล่าวภายในขอบเขตการศึกษา

โดยสรุป แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญของมหาวิทยาลัยในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยกิจกรรมการเดินทาง การใช้พลังงานไฟฟ้า การกำจัดขยะมูลฝอย และแหล่งปล่อยทางตรงบางส่วนในขอบเขตที่ 1 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าโครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยเกิดจากทั้งกิจกรรมภายในองค์กรและกิจกรรมทางอ้อมของประชากรภายในมหาวิทยาลัยร่วมกันอย่างชัดเจน โดยเฉพาะบทบาท

เด่นของการปล่อยในขอบเขตที่ 3 และกิจกรรมการเดินทางในบริบทของมหาวิทยาลัยภูมิภาค

**4.3 อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก** เมื่อวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบกับจำนวนประชากรทั้งบุคลากรและนักศึกษา (ภาคปกติและภาคพิเศษ) รวม 9,189 คน พบว่า อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.94 tCO<sub>2</sub>eq ต่อคนต่อปี

ค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อคนดังกล่าวสามารถใช้เป็นค่าฐานของมหาวิทยาลัยสำหรับการติดตามแนวโน้มการปล่อยในอนาคต และใช้เปรียบเทียบประสิทธิผลของมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกในปัดต่อไปได้อย่างเป็นระบบ

**4.4 การประเมินความไม่แน่นอน** ผลการประเมินความไม่แน่นอนของข้อมูลตามเกณฑ์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) แสดงดังตารางที่ 6 ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 ระดับหลัก ดังนี้

**4.4.1 ระดับความไม่แน่นอนสูง** คุณภาพ ข้อมูลไม่ดี (ระดับที่ 1) ครอบคลุมกิจกรรมในขอบเขตที่ 1 ทั้งหมด รวมถึงกิจกรรมการเดินทางของบุคลากรและนักศึกษา และการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้าสำรองในขอบเขตที่ 3 สาเหตุหลักเกิดจากการใช้ข้อมูลกิจกรรมที่ได้จากการ

ประมาณค่า การกำหนดสมมติฐาน และการใช้ค่า EF จากแหล่งอ้างอิงที่ไม่ใช่ข้อมูลเฉพาะระดับประเทศ จึงทำให้ผลการประเมินของกิจกรรมในกลุ่มนี้ควรได้รับการตีความด้วยความระมัดระวังมากกว่ากิจกรรมที่ใช้ข้อมูลกิจกรรมจริงจากมิเตอร์หรือใบเสร็จโดยตรง

**4.4.2 ระดับความไม่แน่นอนเล็กน้อย** คุณภาพข้อมูลปานกลาง (ระดับที่ 2) ครอบคลุมกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้กระดาษ A4 การได้มาซึ่งเชื้อเพลิงและพลังงาน และการกำจัดขยะมูลฝอย เนื่องจากกิจกรรมเหล่านี้เลือกใช้ค่า EF ของประเทศไทย และมีการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมจากมิเตอร์และใบเสร็จเป็นรายเดือน จึงมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลในระดับที่สูงกว่ากิจกรรมที่ต้องอาศัยการประมาณค่า

ผลการประเมินดังกล่าวสะท้อนว่า แม้ข้อมูลกิจกรรมบางส่วนของมหาวิทยาลัยมีความน่าเชื่อถือในระดับปานกลาง แต่กิจกรรมที่อาศัยการประมาณค่าและสมมติฐาน โดยเฉพาะกิจกรรมการเดินทางในขอบเขตที่ 3 ยังคงเป็นส่วนที่ควรได้รับการพัฒนาระบบการจัดเก็บข้อมูลให้มีความละเอียดและเป็นระบบมากขึ้นในอนาคต ทั้งนี้ สำหรับกิจกรรมการเดินทางซึ่งมีความไม่แน่นอนในระดับสูง ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความไวของสมมติฐานเพิ่มเติมในหัวข้อ 4.5 เพื่อประเมินผลกระทบต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย

**ตารางที่ 6** การประเมินความไม่แน่นอนจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร

| ขอบเขต      | แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก                                                      | การประเมินความไม่แน่นอน           |                                             |                    |                                      |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
|             |                                                                               | ระดับคุณภาพของลักษณะการเก็บข้อมูล | ระดับคุณภาพของค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (B) | ผลการประเมิน (AxB) | ระดับความไม่แน่นอนและคุณภาพของข้อมูล |
|             |                                                                               | (A)                               |                                             |                    |                                      |
| ประเภทที่ 1 | 1. การเผาไหม้แบบอยู่กับที่จากการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการตัดหญ้าภายในมหาวิทยาลัย | 3                                 | 1                                           | 3                  | 1                                    |
|             | 2. การเผาไหม้แบบเคลื่อนที่จากการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะของมหาวิทยาลัย     | 3                                 | 1                                           | 3                  | 1                                    |
|             | 3. การเกิดก๊าซมีเทนจากถังบำบัดสิ่งปฏิกูล                                      | 1                                 | 1                                           | 1                  | 1                                    |
|             | 4. การรั่วไหลของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ                              | 3                                 | 1                                           | 3                  | 1                                    |
| รายงานแยก*  | 1. การรั่วไหลของสารทำความเย็น R-22                                            | 3                                 | 1                                           | 3                  | 1                                    |
| ประเภทที่ 2 | 1. การใช้ไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย                                                | 3                                 | 3                                           | 9                  | 2                                    |

| ขอบเขต      | แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก                                                                                                      | การประเมินความไม่แน่นอน                          |                                                         |                           |                                                  |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|
|             |                                                                                                                               | ระดับคุณภาพ<br>ของลักษณะ<br>การเก็บข้อมูล<br>(A) | ระดับคุณภาพ<br>ของค่าการ<br>ปล่อยก๊าซเรือน<br>กระจก (B) | ผลการ<br>ประเมิน<br>(AxB) | ระดับความไม่<br>แน่นอนและ<br>คุณภาพของ<br>ข้อมูล |
| ประเภทที่ 3 | 1. การใช้กระดาษ A4                                                                                                            | 3                                                | 3                                                       | 9                         | 2                                                |
|             | 2. การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับการผลิต<br>กระแสไฟฟ้าสำรองของระบบเครือข่าย<br>มหาวิทยาลัยที่ซื้อบริการมาจากหน่วยงาน<br>ภายนอก | 3                                                | 1                                                       | 3                         | 1                                                |
|             | 3. การได้มาซึ่งเชื้อเพลิงและพลังงาน                                                                                           | 3                                                | 3                                                       | 9                         | 2                                                |
|             | 4. การกำจัดขยะมูลฝอยที่นำไปฝังกลบภายนอก<br>มหาวิทยาลัย                                                                        | 3                                                | 3                                                       | 9                         | 2                                                |
|             | 5. การเดินทางไป-กลับระหว่างมหาวิทยาลัยและ<br>ที่พักของบุคลากรและนักศึกษาด้วยยานพาหนะ<br>ส่วนตัว                               | 1                                                | 1                                                       | 1                         | 1                                                |
|             |                                                                                                                               |                                                  |                                                         |                           |                                                  |

**4.5 ผลการวิเคราะห์ความไวของสมมติฐานรูปแบบการเดินทาง** ผลการวิเคราะห์ความไวของสมมติฐานรูปแบบการเดินทางแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหลักได้แก่ ระยะทางการเดินทางและจำนวนวันเดินทาง ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการเดินทาง เมื่อปรับสมมติฐานที่ระดับร้อยละ  $\pm 10$ ,  $\pm 20$  และ  $\pm 30$  จากค่าฐาน พบว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมของมหาวิทยาลัยเปลี่ยนแปลงประมาณร้อยละ  $\pm 4.19$ ,  $\pm 8.37$  และ  $\pm 12.56$  ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7

ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของระยะทางการเดินทางและจำนวนวันเดินทางให้ผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมในลักษณะเดียวกัน เนื่องจากทั้งสองตัวแปรเป็นองค์ประกอบเชิงเส้นของข้อมูลกิจกรรมที่ใช้ในการคำนวณ อย่างไรก็ตาม แม้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมของมหาวิทยาลัยจะเปลี่ยนแปลงตามระดับของสมมติฐาน แต่ข้อสรุปหลักของงานวิจัยยังไม่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือ กิจกรรมการเดินทางไป-กลับของบุคลากรและนักศึกษา ยังคงเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุดของมหาวิทยาลัย

**ตารางที่ 7** ผลการวิเคราะห์ความไวของสมมติฐานรูปแบบการเดินทางต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย

| สถานการณ์<br>จำลอง | การปล่อยจากการ<br>เดินทาง (tCO <sub>2</sub> eq<br>ต่อปี) | การปล่อยรวม<br>ขององค์กร<br>(tCO <sub>2</sub> eq ต่อปี) | การ<br>เปลี่ยนแปลง<br>ของการปล่อย<br>รวม (%) |
|--------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| -30%               | 2,540.73                                                 | 7,580.97                                                | -12.56                                       |
| -20%               | 2,903.69                                                 | 7,943.93                                                | -8.37                                        |
| -10%               | 3,266.65                                                 | 8,306.89                                                | -4.19                                        |
| <b>ค่าฐาน</b>      | <b>3,629.61</b>                                          | <b>8,669.85</b>                                         | <b>-</b>                                     |
| 10%                | 3,992.57                                                 | 9,032.81                                                | 4.19                                         |
| 20%                | 4,355.53                                                 | 9,395.77                                                | 8.37                                         |
| 30%                | 4,718.49                                                 | 9,758.73                                                | 12.56                                        |

## 5. การอภิปรายผลและสรุป

คณะผู้วิจัยสามารถสรุปและอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

**5.1 สรุปผล** การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชตามมาตรฐาน ISO 14064-1 และแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) พร้อมทั้งวิเคราะห์แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญขององค์กร และจัดทำฐานข้อมูลเพื่อใช้สนับสนุนการกำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย ผลการศึกษาพบว่า มหาวิทยาลัยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิรวมทั้งสิ้น 8,669.85 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี หรือคิดเป็นอัตราการปล่อยเฉลี่ย 0.94 tCO<sub>2</sub>eq ต่อคนต่อปี

เมื่อจำแนกตามขอบเขตการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่า ขอบเขตที่ 3 มีสัดส่วนสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 62.38 ของการปล่อยทั้งหมด รองลงมาคือ ขอบเขตที่ 2 ร้อยละ 27.70 และขอบเขตที่ 1 ร้อยละ 9.92 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า แหล่งปล่อยทางอ้อมอื่น ๆ มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยมากกว่าการปล่อยทางตรงและการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

เมื่อวิเคราะห์แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญพบว่า การเดินทางไป-กลับระหว่างมหาวิทยาลัยและที่พักของบุคลากรและนักศึกษาด้วยยานพาหนะส่วนตัวเป็นแหล่งปล่อยสูงสุด คิดเป็น 3,629.61 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี รองลงมาคือ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย 2,401.54 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี และการกำจัดขยะมูลฝอยที่นำไปฝังกลบภายนอกมหาวิทยาลัย 1,294.39 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี ผลการศึกษาดังนี้ชี้ให้เห็นว่า ประเด็นสำคัญของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยควรมุ่งเน้นที่การจัดการการเดินทาง การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า และการจัดการของเสียควบคู่กัน

นอกจากนี้ ฐานข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการกำหนดนโยบายและแผนปฏิบัติการด้านสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยในอนาคต รวมถึงใช้เป็นแนวทางสำหรับการขับเคลื่อนมหาวิทยาลัยสู่การเป็นองค์กรคาร์บอนต่ำอย่างยั่งยืน

**5.2 อภิปรายผล** การศึกษานี้ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

### 5.2.1 ลักษณะเฉพาะของโครงสร้างการปล่อยก๊าซ

**เรือนกระจก** ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชเกิดขึ้นในขอบเขตที่ 3 (ร้อยละ 62.38) ซึ่งแตกต่างจากสถาบันอุดมศึกษาอื่นๆ ที่มีแหล่งปล่อยหลักอยู่ในขอบเขตที่ 2 [5], [6], [9] ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษานี้ให้ความสำคัญกับการประเมินขอบเขตที่ 3 อย่างครอบคลุม นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสะท้อนถึงลักษณะเฉพาะของสถาบันอุดมศึกษาที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภูมิภาค ซึ่งระบบขนส่งสาธารณะยังไม่สามารถเข้าถึงพื้นที่พักอาศัยได้อย่างทั่วถึงและเพียงพอ ส่งผลให้การเดินทางไป-กลับของนักศึกษาและบุคลากรด้วยยานพาหนะส่วนบุคคลกลายเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลัก (ร้อยละ 41.86 ของการปล่อยทั้งหมด)

ผลดังกล่าวยังช่วยยืนยันว่าการวิเคราะห์การปล่อยทางอ้อมอย่างเป็นระบบมีความจำเป็นอย่างยิ่งในบริบทของมหาวิทยาลัย ซึ่งมีลักษณะการดำเนินงานแตกต่างจากองค์กรทั่วไป เนื่องจากมีประชากรจำนวนมากใช้พื้นที่ร่วมกัน และมีกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของบุคลากรและนักศึกษา เป็นองค์ประกอบสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม ดังนั้น บทบาทของขอบเขตที่ 3 ในการศึกษาจึงไม่ใช่เพียงผลเชิงปริมาณเท่านั้น แต่ยังเป็นข้อค้นพบที่สะท้อนลักษณะเฉพาะของระบบการดำเนินงานของมหาวิทยาลัยในฐานะองค์กรสาธารณะขนาดใหญ่ในพื้นที่ภูมิภาค

แม้ การเดินทางจะเป็นแหล่งปล่อยหลักของมหาวิทยาลัย แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอาคารและส่วนกลางยังคงเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีความสำคัญมาก (ร้อยละ 27.70) รองลงมาจากกิจกรรมการเดินทาง ซึ่งสะท้อนลักษณะของสถาบันอุดมศึกษาที่ต้องใช้อาคารเรียน อาคารสำนักงาน พื้นที่ส่วนกลาง และระบบสนับสนุนการเรียนการสอนอย่างต่อเนื่องตลอดปีการศึกษา ดังนั้น ผลการศึกษานี้จึงแสดงให้เห็นว่าการบริหารจัดการพลังงานยังคงเป็นองค์ประกอบหลักของการลดก๊าซเรือนกระจกในระดับองค์กร และไม่ควรถูกลดความสำคัญลงแม้ขอบเขตที่ 3 จะมีสัดส่วนการปล่อยสูงกว่า

ขณะที่การกำจัดขยะมูลฝอย (ร้อยละ 14.93) ซึ่งให้เห็ถึงความเป็นในการนำนโยบายเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และโครงการขยะเหลือศูนย์ (Zero Waste) มาปรับใช้ โดยเฉพาะการจัดการขยะอินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายในองค์กร

แม้ขอบเขตที่ 1 จะมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมต่ำกว่าขอบเขตที่ 2 และขอบเขตที่ 3 แต่ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า แหล่งปล่อยทางตรงบางกิจกรรมยังมีความสำคัญในเชิงการบริหารจัดการ โดยเฉพาะการเกิดก๊าซมีเทนจากถังบำบัดสิ่งปฏิกูล ซึ่งเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนในระบบสุขาภิบาลของมหาวิทยาลัย กิจกรรมลักษณะนี้มีความสำคัญเนื่องจากเป็นแหล่งปล่อยที่องค์กรสามารถควบคุม ดูแล และวางมาตรการลดการปล่อยได้โดยตรงมากกว่ากิจกรรมหลายประเภทในขอบเขตที่ 3 เช่น การปรับปรุงการบำรุงรักษาระบบสุขาภิบาล การควบคุมการสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ และการติดตามข้อมูลการใช้งานอย่างเป็นระบบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในระยะยาว

### 5.2.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการปล่อยก๊าซ

**เรือนกระจก มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช** มีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ย 0.94 tCO<sub>2</sub>eq ต่อคนต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับสถาบันอุดมศึกษาอื่นในประเทศไทย พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่มีอัตรา 0.93 และ 1.08 tCO<sub>2</sub>eq ต่อคนต่อปี ในปี 2566 และ 2567 ตามลำดับ [3] และต่ำกว่ามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตที่มีอัตรา 1.62 tCO<sub>2</sub>eq ต่อนักศึกษาหนึ่งคนต่อปี [4] และมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซียที่มีอัตรา 1.61 tCO<sub>2</sub>eq ต่อคนต่อปี [7] แต่สูงกว่ามหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิที่มีอัตรา 0.569 tCO<sub>2</sub>eq ต่อนักศึกษาหนึ่งคนต่อปี [8] และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน) ที่มีอัตรา 0.64 และ 0.71 tCO<sub>2</sub>eq ต่อนักศึกษาหนึ่งคนต่อปี ในปี 2555 และ 2556 ตามลำดับ [16]

อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระหว่างสถาบันการศึกษาต่างๆ นั้น ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรงอย่างเต็มที่ เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่แตกต่างกัน ได้แก่ ขอบเขตการศึกษา วิธีการเก็บ

ข้อมูล (ข้อมูลจริงหรือการประมาณค่า) ความทันสมัยของค่า EF ที่ใช้ (ฐานข้อมูลประเทศไทยหรือสากล) ตลอดจนลักษณะทางกายภาพและรูปแบบการดำเนินงานของแต่ละสถาบัน ดังนั้น การเปรียบเทียบที่มีความหมายควรคำนึงถึงบริบทและข้อจำกัดของแต่ละการศึกษา และมุ่งเน้นที่การเรียนรู้แนวทางการจัดการที่เหมาะสมมากกว่าการเปรียบเทียบตัวเลขเพียงอย่างเดียว

**5.2.3 ความไม่แน่นอนของข้อมูล** การประเมินพบความไม่แน่นอนสูงในแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขอบเขตที่ 1 การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้าสำรอง และการเดินทางของบุคลากรและนักศึกษาในขอบเขตที่ 3 เนื่องจากข้อจำกัดด้านฐานข้อมูลค่า EF ที่พัฒนาเฉพาะสำหรับบริบทของประเทศไทยในบางกิจกรรม การศึกษาจึงใช้ค่า EF จากฐานข้อมูลระดับสากลเป็นตัวแทนในการคำนวณ โดยค่า EF ดังกล่าวแม้จะได้รับการยอมรับในระดับสากล แต่ยังไม่สามารถสะท้อนลักษณะเฉพาะของกิจกรรม เทคโนโลยี และรูปแบบการใช้พลังงานในบริบทของประเทศไทยได้อย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนในผลการประเมิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของสถาบันอุดมศึกษาอื่น เช่น มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต [4] มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย [7] และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตบางเขน) [16]

นอกจากนี้ข้อมูลกิจกรรมที่ใช้ในการประเมินการเกิดก๊าซมีเทนจากถังบำบัดสิ่งปฏิกูล และการเดินทางไป-กลับระหว่างมหาวิทยาลัยและที่พักของบุคลากรและนักศึกษาด้วยยานพาหนะส่วนตัวเป็นเพียงข้อมูลที่ได้มาจากแบบจำลองเท่านั้น ขณะที่การใช้ไฟฟ้า กระดาษ และการกำจัดขยะ มีความไม่แน่นอนต่ำกว่าเนื่องจากใช้ค่า EF ของประเทศไทย และอ้างอิงข้อมูลจากใบเสร็จจริง ความโปร่งใสในการรายงานข้อจำกัดนี้แสดงถึงความรับผิดชอบทางวิชาการที่จะนำไปสู่การพัฒนากระบวนการจัดเก็บข้อมูลที่ดีขึ้นและการพัฒนาฐานข้อมูล EF ระดับประเทศที่จำเป็นต่อไป

**5.2.4 ความน่าเชื่อถือของข้อค้นพบ** จุดเด่นสำคัญของงานวิจัยนี้อยู่ที่การประยุกต์ใช้สมมติฐานรูปแบบการเดินทางร่วมกับข้อมูลประชากรจริงของมหาวิทยาลัย เพื่อ

ประมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการเดินทางในขอบเขตที่ 3 ภายใต้ข้อจำกัดของข้อมูลรายบุคคล วิธีการดังกล่าวช่วยให้สามารถสะท้อนลักษณะการเดินทางของบุคลากรและนักศึกษาในบริบทของมหาวิทยาลัยได้ดีกว่าการละเว้นกิจกรรมนี้ออกจากการประเมิน หรือการใช้ค่าประมาณแบบกว้างที่ไม่สอดคล้องกับพื้นที่ศึกษา แม้ว่าวิธีดังกล่าวจะไม่ได้เป็นการสุ่มตัวอย่างเชิงสถิติอย่างเคร่งครัด แต่การเชื่อมโยงข้อมูลสำรวจเบื้องต้นเข้ากับข้อมูลประชากรจริงจำนวนวันเดินทาง และหลักความระมัดระวัง ช่วยให้ผลการประเมินมีความสอดคล้องกับบริบทขององค์กรในระดับที่เหมาะสม

นอกจากนี้ การประเมินความไม่แน่นอนและการวิเคราะห์ความไวของสมมติฐานรูปแบบการเดินทางยังช่วยสนับสนุนความน่าเชื่อถือของผลการศึกษา โดยแม้ว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเปลี่ยนแปลงตามระดับของสมมติฐาน แต่ข้อสรุปหลักของงานวิจัยยังคงเดิม กล่าวคือกิจกรรมการเดินทางยังคงเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่สุดของมหาวิทยาลัย ผลดังกล่าวสะท้อนว่า ข้อค้นพบหลักของงานวิจัยมีเสถียรภาพในเชิงทิศทาง และสนับสนุนว่า การใช้สมมติฐานรูปแบบการเดินทางเป็นแนวทางที่มีประโยชน์สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมหาวิทยาลัยในกรณีที่ข้อมูลรายบุคคลยังไม่สมบูรณ์

### 5.2.5 แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร จำเป็นต้องใช้แนวทางแบบผสมผสาน ดังนี้

1) มาตรการที่องค์กรสามารถควบคุมได้โดยตรง เช่น (1) การทดแทนสารทำความเย็น R-22 ในระบบปรับอากาศด้วยสารทดแทนที่มีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ต่ำกว่า (2) การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งหากสามารถผลิตไฟฟ้าทดแทนการใช้ไฟฟ้าเดิมได้ร้อยละ 20-30 จะลดการปล่อยจากขอบเขตที่ 2 ได้ประมาณ 480-720 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี และ (3) นโยบายสำนักงานไร้กระดาษ หากสามารถลดปริมาณการใช้กระดาษลงได้ร้อยละ 80 จะสามารถลดการปล่อยได้ 3.50 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี เป็นต้น

2) มาตรการที่องค์กรสามารถส่งเสริมหรือจูงใจได้ เช่น นโยบายการจัดการขยะเชิงรุก หากส่งเสริมการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทางแทนการส่งไปฝังกลบได้ร้อยละ 50 จะสามารถลดการปล่อยได้ 647.20 tCO<sub>2</sub>eq ต่อปี การพัฒนาระบบขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัย นโยบายการทำงานที่ยืดหยุ่น และส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการเดินทางของบุคลากรและนักศึกษา

ความท้าทายสำคัญอยู่ที่การจัดการแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 3 แม้จะมีสัดส่วนสูงสุด แต่อยู่นอกเหนือการควบคุมโดยตรงขององค์กร อย่างไรก็ตามสถาบันอุดมศึกษามีบทบาทหลักในฐานะแหล่งสร้างความรู้และพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ จึงสามารถใช้กลไกทางการศึกษาและการสร้างจิตสำนึกในการส่งเสริมพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนเป็นต้นแบบในการดำเนินงานที่ยั่งยืนให้แก่สังคมและชุมชนโดยรอบได้

**5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้างต่อไป** การการศึกษาครั้งต่อไป ควรพัฒนาระบบเก็บข้อมูลกิจกรรมที่มีความละเอียดมากขึ้น โดยเฉพาะข้อมูลด้านการเดินทางของบุคลากรและนักศึกษา เช่น ระยะทางจริง ความถี่ในการเดินทาง ประเภทยานพาหนะ และชนิดเชื้อเพลิง เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 3 และลดความไม่แน่นอนของผลการศึกษา

นอกจากนี้ ควรมีการขยายขอบเขตการศึกษาไปสู่กิจกรรมทางอ้อมอื่น ๆ ที่ยังไม่ถูกรวมในการประเมินครั้งนี้ เพื่อให้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรมีความครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

อีกทั้ง ควรมีการศึกษาติดตามผลในปีถัดไปเพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยในระยะยาว และประเมินประสิทธิผลของมาตรการลดการปล่อยที่นำไปใช้จริง ทั้งนี้ ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาฐานข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัยให้มีความต่อเนื่อง และใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการกำหนดนโยบายด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Climate Change and Environment. 2024. *NDC Action Plan on Mitigation 2021–2030*. [Online]. Available: <https://www.dcce.go.th/datacenter/653/> (in Thai)
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change. [Online]. Available: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- [3] Suksatit, P. and et al. 2025. "Assessing carbon footprint for organization (CFO): Case study of the Faculty of Environment, Kasetsart University," *EnvironmentAsia*, 18(Special Issue): pp. 143-154. [Online]. Available: <https://doi.org/10.14456/ea.2025.30>
- [4] Usubharatana, P. and Phungrussami, H. 2014. "Carbon footprint of organization: Case study for Thammasat University," *Thai Science and Technology Journal*, 22(1): pp. 1-12. [Online]. Available: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/15101/13845> (in Thai)
- [5] Choenthanomwong, F. and Sumpuntamas, T. 2024. "Carbon footprint assessment of Walailak University," *Science, Technology, and*

- Social Sciences Procedia*, 2024(1): p. NCR2R19.  
[Online]. Available: <https://wjst.wu.ac.th/index.php/stssp/article/view/25831> (in Thai)
- [6] Thanatrakolsri, P. and Sirithian, D. 2024. "Evaluation of greenhouse gas emissions and mitigation measures at Thammasat University's Lampang campus in Thailand," *Environmental Health Insights*, 18: pp. 1-9.  
[Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/11786302241253589>
- [7] Maimun, T. and et al. 2018. "Organization carbon footprint assessment of Eastern Asia University," *EAU Heritage Journal: Science and Technology*, 12(2): pp. 195-209. [Online]. Available: <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/134724/105650> (in Thai)
- [8] Sudha, S. and Hirun, D. 2019. "Carbon footprint of an organization: Case study of Chaiyaphum Rajabhat University," *Engineering Journal Chiang Mai University*, 26(1): pp. 227-233.  
[Online]. Available: <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/EJCM/10990888.pdf> (in Thai)
- [9] Samara, F. and et al. 2022. "Carbon footprint at a United Arab Emirates university: GHG protocol," *Sustainability*, 14(5): p. 2522.  
[Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su14052522>
- [10] International Organization for Standardization. 2018. *Greenhouse gases—Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals* (ISO 14064-1:2018). Geneva, Switzerland: ISO.
- [11] Thailand Greenhouse Gas Management Organization. 2022. *Requirements for the calculation and reporting of carbon footprint for organization*, 8th ed. [Online]. Available: <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/tools/files.php?mod=YjNkblXNXBlbUYwYVc5dVgyUnZkMjVzYjJGaw&type=WDBaSlRFVlQ&files=TkRFPQ> (in Thai)
- [12] Greenhouse Gas Protocol. 2011. *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development. [Online]. Available: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard\\_041613\\_2.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf)
- [13] Thailand Greenhouse Gas Management Organization. 2022. *Carbon footprint for organization: Emission factor (CFO)*. [Online]. Available: <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=YjNkblXNXBlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ> (in Thai)
- [14] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. "Chapter 6: Wastewater treatment and discharge," in *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Waste*. [Online]. Available: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_6\\_Ch6\\_Wastewater.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf)
- [15] Thailand Greenhouse Gas Management Organization. 2022. *Carbon footprint of product: Emission factor (CFP)*. [Online]. Available: <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/>

index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5  
mWlcxcGMzTnBiMjQ9 (in Thai)

- [16] Mangkang, R. 2013. "Organizational carbon footprint of Kasetsart University to promote a green university," Research report. Bangkok, Thailand: Kasetsart University. (in Thai)