

การประเมินรอยเท้าคาร์บอนขององค์กร กรณีศึกษาของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร*

Assessing organizational carbon footprint: a case study for department of environmental science, faculty of science, Silpakorn University

ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์ (Bhanupong Phrommarat)**

บทคัดย่อ

การประเมินรอยเท้าคาร์บอนขององค์กร คือ การวัดปริมาณรวมของก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมขององค์กรทั้งทางตรง (direct) และทางอ้อม (indirect) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงข้อมูลการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการดำเนินงานจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กรอย่างเป็นระบบ และเป็นจุดเริ่มต้นที่จะนำไปสู่การสร้างแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น องค์กรการศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งมหาวิทยาลัย ไม่ได้เป็นหน่วยงานที่เป็นศูนย์กลางการศึกษาในระดับอุดมศึกษาที่มุ่งเน้นเพียงการเรียนการสอนเพียงอย่างเดียว หากแต่เป็นหน่วยงานขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยกิจกรรมที่มีความหลากหลายที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การใช้น้ำมัน การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า กระจก วัสดุเคมีบางชนิด การเผาไหม้ เป็นต้น การศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้กรณีศึกษาของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในระยะเวลาการประเมิน 1 ปีการศึกษา (2559) โดยแบ่งขอบเขตการศึกษาออกเป็น 3 ขอบเขตตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ISO/TR 14069: 2013 คือ การปลดปล่อยทางตรง การปลดปล่อยทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (ที่ซื้อ) และการปลดปล่อยทางอ้อมอื่นๆ โดยผลการศึกษาพบว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาควิชาใน 1 ปีการศึกษา มีค่ารวมเท่ากับ 237 tCO₂-eq (ต้นเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์) หรือคิดเป็น 1.29 tCO₂-eq ต่อคน โดยขอบเขตการปลดปล่อยในขอบเขตที่ 2 คือ การปลดปล่อยทางอ้อมรวมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า มีสัดส่วนในการปลดปล่อยมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขอบเขตอื่นคิดเป็นร้อยละ 58.1 ของการปลดปล่อยทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการใช้อุปกรณ์ปรับอากาศและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการและเพื่อการทำวิจัย รองลงมาคือขอบเขตที่ 3 การปลดปล่อยทางอ้อมจากกระบวนการอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 41.2 โดยมีสัดส่วนหลักมาจากการเดินทางไป-กลับของนักศึกษาและบุคลากร

คำสำคัญ : การประเมินรอยเท้าคาร์บอนขององค์กร ก๊าซเรือนกระจก สถาบันการศึกษา

* เพื่อเผยแพร่งานวิจัย

For publishing research

** อาจารย์ ดร. ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Lecturer Dr., Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University,

phrommarat_b@su.ac.th, +66 3424 5330

Abstract

Assessment of carbon footprint of an organisation is an environmental method to measure total emission of greenhouse gases in the form of carbon dioxide equivalent from organisation's activities in both direct and indirect ways. As a result, the assessment reveals an inventory of operating activities relating to greenhouse gas emissions and absorptions and the result can be used as an initiative to manage and reduce greenhouse gas emission of an organisation more efficiently. Academic institution particularly university is not only an academic centre for high education level, but also be a large-scale organisation consisted of a variety of activities associated with greenhouse gas emissions, e.g. energy consumption, transportation, incineration, use of some chemicals, etc. In this study, department of environmental science, faculty of science, Silpakorn University was selected to be a case study. Activity-related emissions of the department were divided into 3 scopes according to ISO/TR 14069: 2013: 1) direct emissions, 2) indirect emissions from purchased energy and 3) other indirect emissions. The results found that total emissions of greenhouse gases of the department assessed in one academic year (2016) was 237 tCO₂-eq (tonnes CO₂-equivalent) or 1.29 tCO₂-eq per capita (total emissions divided by a number of department's staff members and students). The emissions in scope 2, indirect emissions from purchased energy, showed the largest portion, 58.1 percent of total emissions, contributed mainly by uses of air conditioning equipment together with research and laboratory equipment. The emissions in scope 3, other indirect emissions, played a less important role accounted for 41.2 percent of total emissions. The main source of emissions was from commutes of staff members and students.

Keywords: Organisational carbon footprint, Greenhouse gas, Academic institution

บทนำ

เป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบันว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ทั้งจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม รวมทั้งการทำการแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ เช่น การเปลี่ยนแปลงที่ดินจากป่า เป็นพื้นที่ทางการเกษตร เป็นสาเหตุหลักในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนอันเป็นผลมาจากปรากฏการณ์เรือนกระจกที่มีความรุนแรงเพิ่มขึ้น มีผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่มีความรุนแรงและมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและการดำรงชีวิตของมนุษย์ในอนาคต ในปี 1992 หลายประเทศทั่วโลก (192 ประเทศ) ได้ร่วมลงสัตยาบรรณในพิธีสารเกียวโต (Kyoto protocol) โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อให้รัฐสมาชิกออกมาตรการควบคุม และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศโดยยึดเอาอัตราการผลิตปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี 1990 เป็นปีฐาน จากปัจจัยดังกล่าวทำให้สังคมโลกเกิดความตระหนักและตื่นตัวในการดำเนินการหาวิธีการเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งการประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก การรายงานผลที่มีความแม่นยำ การติดตามตรวจสอบ การจัดการ การปรับตัวขององค์กร และการคำนวณการดูดกลับของก๊าซเรือนกระจก เป็นต้น ภายใต้กรอบวิธีการที่กำหนดโดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)

หนึ่งในวิธีการที่จะแสดงข้อมูลการปล่อยและการดูดซับก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ หรือองค์กรใด องค์กรหนึ่งได้อย่างเป็นภาพรวมภายใต้แนวคิดแบบวัฏจักรชีวิต (life cycle thinking) คือ การประเมินรอยเท้าคาร์บอน หรือ Carbon footprint โดย Wiedmann and Minx (2008) ได้ให้คำจำกัดความสำหรับรอยเท้าคาร์บอนว่า เป็นการวัดปริมาณรวมของก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมขององค์กร หรือ หน่วยมวล (mass unit) ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ทั้งทางตรง (direct) และทางอ้อม (indirect) ทั้งนี้ โดยเปรียบเทียบค่าผลกระทบเป็นศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนในกรอบเวลา 100 ปี (Global Warming Potential: GWP100-yr) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2554) การประเมินรอยเท้าคาร์บอนขององค์กรจะทำให้ทราบถึงข้อมูลการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการดำเนินงานจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กรอย่างเป็นระบบ และเป็นจุดเริ่มต้นที่จะนำไปสู่การสร้างแนวทางในการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งแสดงถึงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมขององค์กรและอาจจะมีผลต่อการภาพลักษณ์ขององค์กรในแง่ของข้อได้เปรียบในการแข่งขันทางธุรกิจ (de Vries, 2011)

นอกเหนือจากองค์กรทางธุรกิจที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้ว องค์กรการศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มหาวิทยาลัย ไม่ได้เป็นหน่วยงานที่เป็นศูนย์กลางการศึกษาในระดับอุดมศึกษาที่มุ่งเน้นเพียงการเรียนการสอนเพียงอย่างเดียว หากแต่เป็นหน่วยงานขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยกิจกรรมที่มีความหลากหลายที่มีความเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การใช้ยานพาหนะ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า กระจกอาคาร สารเคมีบางชนิด การเผาไหม้ เป็นต้น ซึ่งหากหน่วยงานเพิกเฉยละเลยให้กิจกรรมดังกล่าวดำเนินไปโดยขาดการจัดการทางสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ ก็อาจจะทำให้ภาพลักษณ์ทางสิ่งแวดล้อมของสถาบันมีความเสียหาย อีกทั้งยังไม่สอดคล้องกับนโยบายของรัฐในฐานะเป็นหนึ่งในประเทศสมาชิกของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC) ที่ได้ให้สัตยาบรรณในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 20-25 เปอร์เซ็นต์ภายในปี ค.ศ. 2030 ในการประชุมรัฐ

ภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 21 (COP21) ที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส มีผลบังคับใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 เป็นต้นมา (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2559)

การประเมินรอยเท้าคาร์บอนในสถานศึกษาที่ผ่านมา มีผลการศึกษาทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ทั้งในระดับภาควิชา ไปจนถึงระดับมหาวิทยาลัย ตัวอย่างการศึกษาในประเทศไทย เช่น ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ธนัท และคณะ, 2554) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (บุญจิรา, 2554) และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ไพรัช และหาญผล, 2557) รวมถึงมหาวิทยาลัยในต่างประเทศ เช่น University College Cork (Dunphy, 2013) และ University of Cape Town (Rippon, 2014) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นหน่วยงานที่มีการเรียนการสอน และงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังผลิตบัณฑิตด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่มีคุณภาพออกสู่ตลาดแรงงานจึงเป็นองค์กรที่ถูกเลือกให้เป็นกรณีศึกษา ด้วยเหตุผลประการแรกคือองค์กรที่มีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไปที่จะเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนขององค์กรการศึกษา และยังเป็นหน่วยงานที่ผู้ทำการวิจัยมีความคุ้นเคย ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการวางแผนขอขอบเขตของงานวิจัย ติดตามผล และกำหนดสถานการณ์ (scenario) ในการทำแบบจำลองได้อย่างเหมาะสมและใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงขององค์กรได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและทำบัญชีสิ่งแวดล้อมของกิจกรรมต่างๆ ในภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่มีความเกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งทางตรงและทางอ้อม
- 2) เพื่อสร้างแบบจำลองในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของภาควิชา (ประมาณการณ์จากข้อมูลรายปี) โดยคำนวณออกมาเป็นหน่วยกิโลกรัมเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (kgCO_2 equivalence)

วิธีการวิจัย

ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตในการเก็บข้อมูลของการศึกษาในครั้งนี้ คือ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ซึ่งเป็นภาควิชาหนึ่งของคณะวิทยาศาสตร์ โดยตั้งอยู่ที่อาคารวิทยาศาสตร์ 4 มีจำนวนนักศึกษา อาจารย์และบุคลากรรวมทั้ง 184 คน โดยแบ่งเป็น นักศึกษาระดับปริญญาตรี (ยกเว้นนักศึกษาชั้นปีที่ 1) 164 คน อาจารย์ 15 คน และบุคลากร 5 คน ในการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานหรือกิจกรรมของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มีช่วงระยะเวลาในการเก็บข้อมูล คือ 16 สิงหาคม 2559 - 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2560 (ปีการศึกษา 2559) และได้กำหนดขอบเขตการรวบรวมแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก แบบควบคุมการดำเนินงาน (Operation Control Approach) ตามแนวทางที่ระบุใน ISO 14064-1 และ ISO/TR 14069 รวมทั้งแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของประเทศไทย โดยได้แบ่งขอบเขตการดำเนินงานในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของกิจกรรมต่างๆ ในองค์กร ออกได้เป็น 3 ระดับ คือ

1) ขอบเขตระดับที่ 1 การปล่อยและดูดก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร (Direct emissions) คือ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร

2) ขอบเขตระดับที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Indirect emissions from consumption of electricity, heat and steam) ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มาจากการผลิตไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำ สัมพันธ์กับปริมาณของพลังงานดังกล่าวที่ถูกนำเข้าเพื่อมาใช้ในองค์กร

3) ขอบเขตระดับที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากแหล่งอื่นๆ (All other indirect emissions) ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กรนอกเหนือไปจากที่ระบุไว้ในขอบเขตระดับที่ 1 และ 2

ในการศึกษาในครั้งนี้ ได้พิจารณากิจกรรมของภาควิชาที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจัดประเภทดัดแปลงตามขอบเขตที่แนะนำโดย TGO และตัวชี้วัดในการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามขอบเขตและตัวชี้วัดในการคำนวณ

ขอบเขต	กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ
ระดับที่ 1	การเดินทางด้วยยานพาหนะขององค์กร (คณะ)	ประเภทรถ/ประเภทเชื้อเพลิง/ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้/ระยะทาง
	การทำปฏิกิริยาเคมีของสารเคมีบางชนิดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	ปริมาณสารเคมีที่ใช้/ปริมาณมวลสาร สัมพันธ์ของปฏิกิริยา
	การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในกิจกรรมการเรียนการสอนหรือปฏิบัติการ	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้/ประเภทของ เชื้อเพลิง
ระดับที่ 2	การใช้พลังงานไฟฟ้า (ที่ซื้อจากภายนอก)	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย) สัมพันธ์กับ ค่าใช้จ่าย
ระดับที่ 3	การเดินทางไป-กลับระหว่างองค์กรและที่พักของบุคลากรและนักศึกษา	ประเภทรถ/ประเภทเชื้อเพลิง/ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้/ระยะทาง
	การเดินทางไปราชการ (สัมมนา ดูงาน)	ประเภทรถ/ประเภทเชื้อเพลิง/ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้/ระยะทาง/ชั้นที่ นั่ง (กรณีเดินทางด้วยเครื่องบิน)
	การใช้น้ำประปา	ปริมาณน้ำประปาที่ใช้
	การใช้วัสดุสำนักงาน และวัสดุสิ้นเปลือง	ปริมาณวัสดุที่ใช้ (กระดาษ กระดาษ ชำระ ปากกา ดินสอ ฯลฯ)
	การกำจัดขยะ	ปริมาณขยะแยกตามองค์ประกอบ

การเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของภาควิชาได้มาโดย

1) ข้อมูลจากแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 1) ข้อมูลที่มีการบันทึก เช่น บัญชีการจัดซื้อ-จัดจ้าง ข้อมูลค่าไฟฟ้าและน้ำประปาที่ถูกใช้ภายในภาควิชา ปริมาณการใช้กระดาษและวัสดุสำนักงาน การเดินทางโดยยานพาหนะของคณะเพื่อไปราชการ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้ได้รับโดยการขอความอนุเคราะห์จากบุคคลที่เกี่ยวข้อง และ 2) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอน การทำวิจัย และพฤติกรรมส่วนบุคคลส่วนบุคคล ได้มาโดยการใช้แบบสอบถามที่มีคำถามเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆ ที่สัมพันธ์กับผู้ตอบแบบสอบถาม เช่น ประเภทของยานพาหนะและระยะทางเดินทางไป-กลับระหว่างจากภาควิชาและที่พัก การใช้เครื่องมือและสารเคมีในห้องปฏิบัติการ ชั่วโมงการทำงาน และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในสำนักงาน เป็นต้น

2) ข้อมูลจากการสำรวจและตรวจวัด ได้แก่

2.1) การตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อระยะทางของการเดินทางโดยรถจักรยานยนต์เพื่อหาสัมประสิทธิ์ในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยตรวจวัดการปลดปล่อยโดยใช้หลอดตรวจจับก๊าซ (Gas detector tube) ร่วมกับเครื่องปั๊มดูดก๊าซ RAE LP-1200

2.2) การกินไฟของเครื่องปรับอากาศ โดยประมาณค่าจากอัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio; EER) หรืออัตราส่วนของปริมาณความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ (Q) กับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ในการทำความเย็น (W) มีหน่วยเป็น BTU/h/W โดยตรวจวัดค่าความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ (Q) โดยใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ (Anemometer รุ่น ALNOR Model 8585) เพื่อหาอัตราการไหลของอากาศ ร่วมกับเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบอัตโนมัติ (Extech SD700) เพื่อหาเอนทัลปีก่อนและหลังการเปิดเครื่องปรับอากาศ

2.3) การกินไฟของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าอัตโนมัติ (Micro power monitor) ซึ่งจากการตรวจวัดสามารถอ่านค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้สะสมในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลเฉพาะ กล่าวคือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์, V) และค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์, A) จากฉลากไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เพื่อนำมาประกอบคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์, W) ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่สามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า

2.4) การตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการต่างๆ โดยใช้เครื่องตรวจวัดก๊าซจากการเผาไหม้อัตโนมัติรุ่น KANE 905 และตรวจวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยเครื่องตรวจวัดความเร็วลมอัตโนมัติ ALNOR Model 8585 และ

2.5) องค์ประกอบของขยะของภาควิชาได้ทำการศึกษาขยะที่รวบรวมไว้ก่อนเคลื่อนย้ายไปจุดพักขยะของมหาวิทยาลัยเป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน โดยทำการชั่งเพื่อหาน้ำหนักรวมของขยะในแต่ละวัน และหลังจากนั้นจึงสุ่มตัวอย่างด้วยวิธี Quartering (दारुंग, 2555) เมื่อทราบองค์ประกอบของขยะจึงนำมาคำนวณร่วมกับข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยจากการกองขยะแบบดิน (kgCO₂-eq ต่อกิโลกรัมมูลฝอย) ของ IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories-Volume 5: Waste (IPCC, 2006) ดังตารางที่ 2 หากกากของเสียเป็นวัสดุที่ไม่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบให้คิดเป็นศูนย์

ตารางที่ 2 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากกองขยะแบบตันตามประเภทของขยะ

ประเภทของมูลฝอย	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกองขยะแบบตัน (kgCO ₂ -eq ต่อ kg มูลฝอย)
กระดาษ	2.93
ผ้า	2.00
อาหาร	2.53
เศษไม้	3.33
กิ่งไม้ ต้นหญ้า (จากสวน)	3.27
ผ้าอ้อมเด็ก (ทำด้วยกระดาษ)	4.00
ยางและหนัง	3.13

ที่มา: IPCC (2006)

3) ข้อมูลจากซอฟต์แวร์และฐานข้อมูล นอกจากข้อมูลการเดินทาง การใช้ไฟฟ้า และวัสดุสำนักงาน ที่ได้จากแบบสอบถามซึ่งเป็นข้อมูลที่จะนำมาคำนวณร่วมกับสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยของแต่ละกิจกรรมเพื่อให้ได้มาซึ่งการปลดปล่อยทางอ้อม (ขอบเขตที่ 2 และ 3 ยกเว้นในกรณีของการปลดปล่อยจากรถจักรยานยนต์ที่ได้ทำการตรวจวัดจากเครื่องมือโดยตรง) จะใช้ข้อมูลชั้นทุติยภูมิจากฐานข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต Ecoinvent 3.1 ในซอฟต์แวร์วิเคราะห์วัฏจักรชีวิต OpenLCA 1.6 ซึ่งพัฒนาโดย GreenDelta GmbH ประเทศเยอรมนี ซึ่งฐานข้อมูลดังกล่าวมีการรวบรวมข้อมูลที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อประเทศ ภูมิภาค หรือทั่วโลก วิธีการที่ใช้ประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากบัญชีรายการอ้างอิงจากวิธี IPCC2007

ผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ของภาควิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โดยใช้ข้อมูลของปีการศึกษา 2559 มีค่ารวมเท่ากับ 237,057 kgCO₂-eq โดยแจกแจงตามกิจกรรมในขอบเขตการประเมินได้ดังนี้

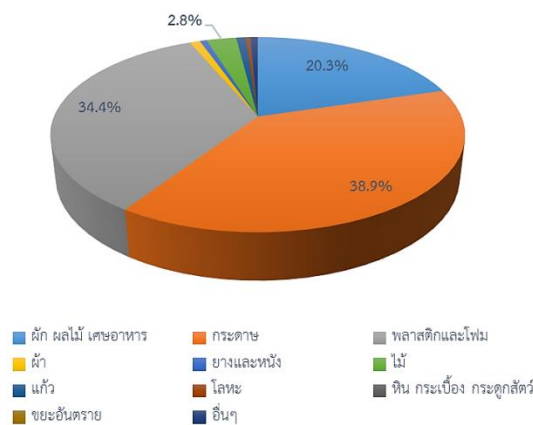
1) ขอบเขตที่ 1 การปลดปล่อยทางตรงขององค์กรโดยมีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องคือ การเดินทางโดยใช้นานพาหนะที่องค์กรเป็นเจ้าของ ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง จากการเดินทาง (ไป-กลับ) โดยใช้นานพาหนะที่องค์กรเป็นเจ้าของ คือ รถตู้ (ของคณะวิทยาศาสตร์) ซึ่งเป็นรถตู้เครื่องยนต์ดีเซลขนาด 3,000 cc ยี่ห้อ Toyota รุ่น Commuter จากข้อมูลการใช้ของภาควิชาพบว่า ตลอดทั้งภาคการศึกษาได้มีการใช้รถตู้ เพื่อรับ-ส่งวิทยากรจากภายนอกมหาวิทยาลัย เก็บตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ และเพื่อศึกษาดูงานนอกสถานที่ มีระยะทางรวมทั้งสิ้นตลอดปีการศึกษาเท่ากับ 4,224 กิโลเมตร ปัจจัยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของรถตู้จากฐานข้อมูลมีค่าการปลดปล่อยต่อระยะทาง (รวมขั้นตอนการได้มาซึ่งเชื้อเพลิง และการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์) เท่ากับ 0.3932 kgCO₂-eq/km ดังนั้น การเดินทางโดยใช้นานพาหนะขององค์กรจึงมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 1,661 kgCO₂eq

นอกจากการปลดปล่อยทางตรงจากการเดินทางแล้วยังมีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องคือ การเผาไหม้จากตะเกียงแอลกอฮอล์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจากการตรวจวัดพบว่า มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ $0.0052 \text{ kgCO}_2/\text{ชั่วโมง}$ และผลจากการสำรวจพบว่า ห้องปฏิบัติการสองห้องมีการใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์รวม 348 ชั่วโมง ดังนั้นการปลดปล่อยทางตรงจากการใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์ในห้องปฏิบัติการจึงสามารถคำนวณได้เป็น $2 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$ รวมการปลดปล่อยทางตรงในขอบเขตที่ 1 เท่ากับ $1,663 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$ ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับขอบเขตอื่นๆ

2) ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน โดยการสำรวจและวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้แบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้ออกเป็น 4 วัตถุประสงค์ ได้แก่ 1) อุปกรณ์ปรับอากาศ 2) อุปกรณ์ส่องสว่าง 3) อุปกรณ์เครื่องใช้ในสำนักงานและเพื่อการเรียนการสอน และ 4) อุปกรณ์เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ จากผลการศึกษาพบว่า การปลดปล่อยรวมในขอบเขตที่ 2 มีค่า $137,624 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$ และเมื่อแจกแจงตามประเภทการใช้จะพบว่าส่วนใหญ่มาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ปรับอากาศคิดเป็น 57.5% ของการปลดปล่อยในขอบเขตที่ 2 ทั้งหมด รองลงมาคือการใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ซึ่งคิดเป็น 34.4% ดังแสดงในตารางที่ 3

3) ขอบเขตที่ 3 การปลดปล่อยทางอ้อมจากกิจกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากการใช้พลังงานซึ่งมีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องได้แก่ การเดินทางไป-กลับของบุคลากรและนักศึกษาโดยยานพาหนะส่วนตัวที่องค์กรไม่ได้เป็นเจ้าของ การใช้วัสดุสิ้นเปลือง (กระดาษสำนักงาน กระดาษชำระ) และการกำจัดขยะ การคำนวณการปลดปล่อยเนื่องจากยานพาหนะใช้วิธีการเดียวกับการเดินทางโดยยานพาหนะขององค์กร กล่าวคือใช้ค่าการปัจจัยการปลดปล่อยของยานพาหนะแต่ละประเภทคูณกับตัวแปรด้านระยะทางต่อคันสำหรับรถส่วนตัว (vehicle-kilometer; vkm) หรือระยะทางสัมพันธ์กับจำนวนผู้โดยสารสำหรับรถโดยสารสาธารณะ (passenger-kilometer; pkm) รวมค่าการปลดปล่อยจากยานพาหนะในขอบเขตที่ 3 เท่ากับ $96,457 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$

วัสดุสิ้นเปลืองในสำนักงานที่พิจารณาในการวิเคราะห์ ได้แก่ กระดาษขนาด A4 สำหรับเครื่องพิมพ์ในสำนักงานและห้องพักอาจารย์ จากข้อมูลการจัดซื้อและการใช้กระดาษของภาควิชาพบว่า ในแต่ละปีการศึกษาจะมีการสั่งซื้อกระดาษขนาด A4 (8 แกรม) จำนวน 315 รีม หรือคิดเป็น 787.5 กิโลกรัม โดยค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตกระดาษที่ใช้ในสำนักงานได้มาจากฐานข้อมูล LCI ของการผลิตกระดาษสำหรับปรินท์จากทั่วโลกในฐานข้อมูล Ecoinvent 3.1 ซึ่งมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GWP100) ตามวิธีการประเมินแบบ IPCC2007 เท่ากับ $1.5533 \text{ kgCO}_2\text{-eq/kg}$ ดังนั้นในปีการศึกษาหนึ่งจะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยทางอ้อมจากการผลิตกระดาษเพื่อใช้ในภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เท่ากับ $1,223 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$ อีกหนึ่งวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในภาควิชาคือกระดาษชำระ ซึ่งกระดาษชำระที่ใช้เป็นกระดาษชำระม้วนกลมขนาดหนาพิเศษมีน้ำหนักต่อม้วน (รวมแกน) 137.5 กรัม ในแต่ละปีการศึกษามีการสั่งซื้อกระดาษชำระมาใช้จำนวน 96 ม้วน ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเยื่อกระดาษสำหรับใช้เป็นกระดาษชำระได้มาจากฐานข้อมูล LCI ของการผลิตกระดาษชำระจากทั่วโลกในฐานข้อมูล Ecoinvent 3.1 ซึ่งมีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ $0.6086 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$ ต่อ kg ของกระดาษชำระ ดังนั้นค่าการปลดปล่อยจากการใช้กระดาษชำระของภาควิชาจึงคิดเป็น $8 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$



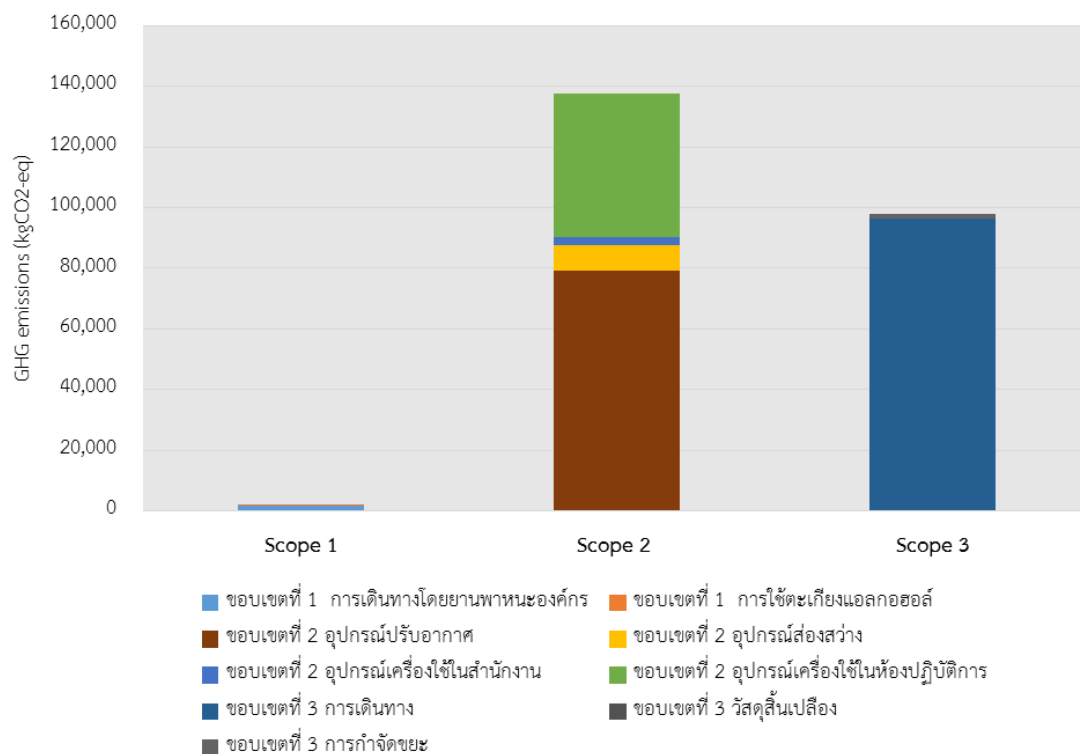
รูปที่ 1 ร้อยละองค์ประกอบของมูลฝอยขององค์กร

จากการศึกษาน้ำหนักรวมขยะมูลฝอย (solid waste) และองค์ประกอบของมูลฝอยขององค์กร โดยเลือกสุ่มวิเคราะห์ตัวอย่างขยะ 5 วันติดต่อกันในภาคการศึกษา โดยพบว่า น้ำหนักมูลฝอยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในภาควิชาคือ 2,922 กรัมต่อวัน หรือคิดเป็น 730.5 กิโลกรัมต่อปี (250 วันทำการ) โดยมีร้อยละสัดส่วนขององค์ประกอบดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อคำนวณการปลดปล่อยจากการปลดปล่อยโดยใช้ค่าแฟกเตอร์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดขยะแบบฝังกลบตาม IPCC Guideline (ตารางที่ 2) พบว่าค่าการปลดปล่อยทางอ้อมรวมจากการกำจัดขยะของภาควิชาในปีการศึกษา 2559 เท่ากับ 1,305 kgCO₂-eq

ค่าการปลดปล่อยแบ่งตามขอบเขตและกิจกรรมดังสรุปในตารางที่ 3 และรูปที่ 2 แสดงผลการปลดปล่อยเปรียบเทียบจากทั้งสามขอบเขต

ตารางที่ 3 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามขอบเขตและกิจกรรม

	รายการกิจกรรม	ค่าการปลดปล่อย (kgCO ₂ -eq)	ร้อยละการปลดปล่อย
ขอบเขตที่ 1	การเดินทางโดยยานพาหนะองค์กร	1,661	0.7
	การใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์	2	
	รวม	1,663	
ขอบเขตที่ 2	อุปกรณ์ปรับอากาศ	79,146	58.1
	อุปกรณ์ส่องสว่าง	8,471	
	อุปกรณ์เครื่องใช้ในสำนักงาน	2,655	
	อุปกรณ์เครื่องใช้ในห้องปฏิบัติการ	47,352	
	รวม	137,624	
ขอบเขตที่ 3	การเดินทาง	96,457	41.2
	การใช้วัสดุสิ้นเปลือง	8	
	การกำจัดขยะ	1305	
	รวม	97,770	
รวมทั้งหมด		237,057	100.0



รูปที่ 2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเปรียบเทียบจาก 3 ขอบเขต

อภิปรายผล

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับผลการศึกษาที่ผ่านมาในสถาบันการศึกษาอื่นๆ พบว่า กิจกรรมหลักที่ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ การปลดปล่อยทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในขอบเขตที่ 2 ทั้งนี้สถาบันการศึกษาส่วนใหญ่เป็นองค์กรที่มีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงเนื่องจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การเรียนการสอนในชั่วโมงบรรยายและปฏิบัติการ การทำวิจัย กิจกรรมในสำนักงานและการบริหาร ล้วนแล้วแต่ใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งสิ้น และนอกจากนั้นสถาบันการศึกษายังมีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากเพื่ออุปกรณ์ปรับอากาศโดยเฉพาะในประเทศเขตร้อน ดังนั้นการปลดปล่อยจากขอบเขตที่ 2 จึงอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับขอบเขตอื่นๆ และผลการศึกษาโดยส่วนใหญ่พบว่า ขอบเขตที่มีสัดส่วนของการปลดปล่อยรองลงมาคือ การปลดปล่อยทางอ้อมอื่นๆ ในขอบเขตที่ 3 ซึ่งกิจกรรมหลักคือการเดินทาง (ยกเว้นการศึกษาในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่พบว่าการปลดปล่อยจากขอบเขตที่ 1 มากกว่าขอบเขตที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนการปลดปล่อยโดยภาพรวมของการศึกษาในครั้งนี้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของมหาวิทยาลัยในต่างประเทศจะพบว่า สัดส่วนการปลดปล่อยจากการเดินทางในขอบเขตที่ 3 จะน้อยกว่ามหาวิทยาลัยในประเทศไทยซึ่งมีสัดส่วนมากกว่า 40% ของการปลดปล่อยทั้งหมดในการศึกษาในครั้งนี้และในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กล่าวคือ 16% ใน University of Cape Town และ 33% ใน University College Cork ซึ่งอาจเป็นผลมาจากระบบขนส่งมวลชนที่มีประสิทธิภาพหรือนักศึกษาส่วนใหญ่อาศัยอยู่ที่พักภายในมหาวิทยาลัยในระหว่างปีการศึกษา

เมื่อพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัว (Greenhouse gas emissions per capita) ต่อปีจากจำนวนนักศึกษาและบุคลากรที่ใช้เป็นจำนวนในปีฐาน (baseline number) ของภาควิชา คือ 184 คน จะมีค่าเท่ากับ 1,288 kgCO₂-eq/person/year หรือ 1.29 tCO₂-eq/person/year(ตามหลักเกณฑ์การรายงานการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกจะใช้เลขนี้สำคัญสามหลัก) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากับสถาบันการศึกษาอื่นๆ พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการกำหนดขอบเขตของการศึกษา เช่น การศึกษาของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้คิดค่าการปลดปล่อยต่อหัวจากจำนวนของบุคลากร เป็นต้น จึงทำให้ค่าการปลดปล่อยต่อหัวสูงกว่าการศึกษาอื่นๆ นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น พฤติกรรมการเดินทางของนักศึกษาและบุคลากร หรือการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในการเรียนการสอน การปฏิบัติการ หรือการทำวิจัย ในมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่หรือบางคณะวิชา (วิศวกรรมศาสตร์) ที่ต้องใช้อุปกรณ์เหล่านี้เป็นจำนวนมาก หรือมีอุปกรณ์ขนาดใหญ่ มีความต้องการการไฟฟ้าในปริมาณที่สูงอาจเป็นจึงทำให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหัวสูงเมื่อเปรียบเทียบกับมหาวิทยาลัยขนาดเล็กถึงกลาง หรือบางคณะวิชาที่ใช้อุปกรณ์เหล่านี้น้อยกว่า นอกจากนั้นแล้วขอบเขตในการศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้รวมการใช้ไฟฟ้าจากการเรียนการสอนในห้องบรรยายที่ภาควิชาไม่ได้ดูแลซึ่งหากคิดรวมค่าการปลดปล่อยในส่วนนี้ก็อาจทำให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาควิชาและต่อหัวสูงขึ้นได้

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าองค์กรการศึกษา มีบทบาทในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่น้อยกว่าองค์กรในภาคส่วนอื่น อันเนื่องมาจากกิจกรรมที่มีความหลากหลายประกอบกับจำนวนสมาชิกองค์กรที่มีจำนวนมาก ผลการศึกษาที่ผ่านมาและในครั้งนี้พบว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไฟฟ้ารวมในขอบเขตที่ 2 มีสัดส่วนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขอบเขตการปลดปล่อยอื่น นอกจากนั้นแล้วการปลดปล่อยทางอ้อมจากการเดินทางมายังภาควิชาของบุคลากรและนักศึกษาในขอบเขตที่ 3 มีสัดส่วนที่รองลงมา การปลดปล่อยทางตรงจากการศึกษาในครั้งนี้มีสัดส่วนในการปลดปล่อยน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามยังต้องการการศึกษาในขอบเขตที่กว้างขึ้น เช่น ในระดับคณะ หรือระดับมหาวิทยาลัย ที่อาจมีกิจกรรมในความรับผิดชอบที่มีการปลดปล่อยทางตรงและทางอ้อมในกรณีอื่นๆ ได้ เช่น การผลิตไฟฟ้า การเผาขยะ การปลดปล่อยจากบ่อบำบัดน้ำเสีย หรือปฏิบัติการในรูปแบบอื่น ๆ นอกจากนี้การศึกษานี้ไม่ได้รวมการใช้ไฟฟ้าจากการเรียนการสอนในห้องบรรยายที่ภาควิชาไม่ได้ดูแลซึ่งหากคิดรวมค่าการปลดปล่อยในส่วนนี้ก็อาจทำให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาควิชาและต่อหัวสูงขึ้นได้ การจัดทำการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ปีการศึกษา 2559 ในครั้งนี้ เป็นการจัดทำขึ้นเป็นครั้งแรก และยังไม่ได้เป็นนโยบายขององค์กรโดยตรงจึงทำให้ข้อมูลบางส่วนยังไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถตรวจวัดได้โดยตรงหรืออยู่ภายใต้ข้อสันนิษฐานภายใต้ข้อแม้ต่าง ๆ การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการวางกรอบการทำงานเบื้องต้น ทำให้การศึกษาในครั้งต่อไปสามารถเตรียมความพร้อมและเก็บข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างเป็นระบบมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลการวิจัยเบื้องต้นนี้สามารถนำมาใช้เสนอแนะมาตรการ เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของภาควิชาฯ สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบผลการประเมินและวางแผนแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อม

สำหรับการประเมินในครั้งต่อไปได้ จากผลการศึกษาที่ได้เสนอข้างต้น นำมาซึ่งข้อเสนอแนะในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมที่เป็นสาเหตุสำคัญ (hotspots) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปข้อเสนอแนะในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ประเด็นปัญหา	ข้อเสนอแนะการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
การใช้ไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ	- ลดชั่วโมงการใช้เครื่องปรับอากาศโดยกำหนดเวลาการเปิดเครื่องปรับอากาศในสำนักงาน เช่น 9.00 น. และกำหนดเวลาปิดก่อนเลิกงาน หนึ่งถึงครึ่งชั่วโมง - ปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมโดย ประมาณ 25-27 องศาเซลเซียส ลดการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงฤดูหนาวที่อากาศเย็น - จัดให้มีการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ - เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานนาน และมีประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าต่ำ เลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดของการทำความเย็น (BTU/h) ให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ของห้อง
การใช้ไฟฟ้าจากเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ	- มีการจัดการใช้ตู้ทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพ โดยลดการใช้ตู้ที่ไม่จำเป็นลง นำตัวอย่างหรือสารเคมีไปแช่รวมในตู้ทำความเย็นที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน - จัดให้มีการใช้อ่างทำความร้อน (water bath) โดยจัดให้นักศึกษาหรืออาจารย์ที่ทำงานวิจัยที่ใกล้เคียงกันใช้ร่วมกัน (ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิและเวลาเท่ากัน) หลีกเลี่ยงการใช้ที่ไม่มีประสิทธิภาพ เช่น ใช้พื้นที่ในอ่างน้อย หรือใช้ระยะเวลายาวนานเกินความจำเป็น เป็นต้น
การปลดปล่อยทางอ้อมจากการเดินทาง	- หลีกเลี่ยงการใช้รถส่วนตัว หากพักอาศัยอยู่พื้นที่ใกล้มหาวิทยาลัยควรเดินหรือปั่นจักรยานแทน - เดินทางโดยใช้รถโดยสารสาธารณะ หรือรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย - มหาวิทยาลัยควรมีนโยบายส่งเสริมการปั่นจักรยาน เช่น มีจักรยานให้เช่าในราคาถูก ย่อมเยา มีการซ่อมบำรุงฟรี จัดที่จอดพิเศษสำหรับจักรยาน เป็นต้น - จัดพื้นที่บาทวิถีให้ภายในมหาวิทยาลัยให้เพียงพอ และสร้างหลังคาทางเดินเพื่อให้ผู้เดินเท้ามีความสะดวกสบาย - มีการตรวจสภาพเครื่องยนต์อย่างสม่ำเสมอเพื่อรักษาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ - หากอยู่ที่พักใกล้เคียงกันควรเดินทางด้วยกัน ลดการใช้น้ำมันที่ไม่จำเป็น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับอาจารย์หลังสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก จากกองทุนวิจัยและสร้างสรรค์คณะวิทยาศาสตร์ (รหัสโครงการ SRF-PRG-2558-07) ประจำปีงบประมาณ 2558

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- ดาวรุ่ง สัมชทอง. (2555). *คู่มือปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เรื่อง การเก็บตัวอย่างมูลฝอย*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ฉันท พลประทีน, มนต์รี สว่างพฤษ และ อารัตน์ มุ่งเจริญ. (2554). การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ใน *รายงานการประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21*, สงขลา.
- บุญจิรา จนางคะกาญจน์. (2554). *รอยเท้าคาร์บอนขององค์กรการศึกษา: กรณีศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพรัช อุสุภรัตน์ และหาญพล พิงษ์ศรี. (2557). *การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต*. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 22 (1).
- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2559). *สรุปสาระสำคัญจากการประชุม COP 21 วันที่ 30 พฤศจิกายน – 11 ธันวาคม 2558 กรุงปารีส (ออนไลน์)*. เว็บไซต์: <http://www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/740-cop21> (19 มกราคม 2560).
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2554). *แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร*. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), กรุงเทพมหานคร.

ภาษาต่างประเทศ

- Dunphy, N. (2013). *University College Cork Carbon Footprint 2011-2012 Internal Report*. Building and Estates office, Cork.
- de Vries, I. (2011). *Sustainable Business Game*. Erasmus Universiteit Rotterdam, Rotterdam.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories-Volume 5: Waste*. (Available online) Source: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html> (25 May 2016)
- Rippon, S.D. (2014). *University of Cape Town Carbon Footprint Report 2013*. University of Cape Town, Cape Town.
- Wiedmann, T. and Minx, J. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1*, pp. 1-11. Nova Science Publishers, New York.