

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่โดยเทคนิค O-LCA Environmental Impact Assessment of Chiang Mai University Based on O-LCA Technique

จารุวรรณ มั่นอำ^{1*}, ณัฐณี วรยศ² และ ณัฐ วรยศ²
Charuwan Manam^{1*}, Natanee Vorayos² and Nat Vorayos²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่เกิดจากกิจกรรมของคณะ สถาบัน และ หน่วยงานต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยทั้ง 44 หน่วยงาน ไม่ว่าจะเป็นการใช้พลังงาน การใช้น้ำ การใช้สารเคมี/สารทำความสะอาด การใช้ปุ๋ยในการจัดการพื้นที่สีเขียว และการจัดการขยะของเสีย โดยอาศัยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตในระดับองค์กร หรือที่เรียกว่า O-LCA ร่วมกับระเบียบวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เรียกว่า ReCiPe โดยได้ทำการประเมินผลกระทบแบ่งออกเป็นทั้งหมด 11 ด้านด้วยกัน ได้แก่ ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้านการเกิดภาวะฝนกรดและความเป็นกรดในดิน ด้านการลดลงของชั้นโอโซน ด้านการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชในแหล่งน้ำจืด ด้านการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน ด้านการเกิดภาวะก่อตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ ด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด ด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน ด้านการลดลงของทรัพยากรเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป และ ด้านความขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค ซึ่งนอกจากจะทำการประเมินแยกเป็นรายผลกระทบแล้วในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการประเมินผลกระทบโดยภาพรวมที่ทุกผลกระทบจะถูกนำมาให้น้ำหนักและแสดงผลออกมาในหน่วย “Point: Pt” จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติย้อนหลัง 4 ปีระหว่าง พ.ศ. 2556 – 2559 พบว่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยภาพรวมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 5,185.94 kPt/ปี หรือเทียบเป็น 3.55 kPt/คน/ปี โดยผลกระทบที่มากที่สุดเกิดจากการใช้พลังงานโดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าซึ่งผลกระทบในส่วนดังกล่าวมีค่าสูงถึงร้อยละ 75 ของผลกระทบทั้งหมด และเมื่อนำข้อมูลในแต่ละปีมาทำประเมินแนวโน้มของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในอีก 5 ปีข้างหน้าพบว่าในปี 2565 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 6,883.83 kPt/ปี หรือเทียบเป็น 3.78 Pt/คน/ปี แต่ทั้งนี้หากมหาวิทยาลัยสามารถดำเนินตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ติดตั้งแหล่งพลังงานทดแทน และ ปรับเปลี่ยนการจัดการขยะและของเสียให้เป็นไปตามแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 60 ของแผนทั้งหมดของมหาวิทยาลัยก็จะสามารถลดผลกระทบในปี 2565 ให้เหลือเพียง 5,466.68 kPt/ปี หรือสามารถลดลงได้ถึงร้อยละ 20.59

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิตขององค์กร/ ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม/ ความเข้มของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

Abstract

This investigation is to bring the principle of organizational life cycle assessment to determine the environmental impacts from various activities of higher educational institute whereas Chiang Mai University (CMU) is selected as a case study. Impacts of pertinent activities around the campus is analyzed through the

¹ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹ Science and Technology Research Institute, Chiang Mai, Thailand

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

* Corresponding author: charuwan070@hotmail.com

records provided by all 44 academic faculties, business offices, research and service centers. This requires the utilization data of energy, water, chemical substances, refrigeration, fertilizer for green area, and also the wastes generated within the boundary of the campus. Environmental impacts are then examined using ReCipe method and the results are displayed into 11 categories; climate change, terrestrial acidification, ozone layer depletion, freshwater eutrophication, particulate matter formation, photochemical oxidant formation, human toxicity, freshwater ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, fossil fuel depletion, and water scarcity. The total impact from all those is also weighted and determined in terms of points: pt. From the baseline campus activities during 2013–2015, the environmental impacts of CMU is 5,185.94 kPt/y or 3.55 kPt/person/y by average. The most influential impact is the campus electricity utilization and is reported as much as 75 % of all impacts. The projection from forecasting model through 2022 suggests that the campus environmental impact will reach 6,883.83 kPt/year without any counter measures or new energy or environment improvement projects. However, with only 60% success of CMU's energy and environment strategic plan: renewable energy use and waste-powered energy sources, the environment impact of 5,466.68 is tentatively achieved such that 20.59% can be reduced in comparison with based-line impact.

Keywords: Organization Life Cycle Assessment/ Environmental Impact/ Impact Intensity

1. บทนำ

การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนมีองค์ประกอบที่ต้องพิจารณาพร้อมกันอยู่หลายด้านไม่ว่าจะเป็นด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งในกรณีของการพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อมนั้น ในปัจจุบันมีองค์กรมากมาย ซึ่งรวมไปถึงองค์กรทางการศึกษา เช่น มหาวิทยาลัยต่าง ๆ ที่ได้เริ่มมีการเก็บรวบรวมข้อมูลและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กรทั้งทางตรงและทางอ้อม แต่ทั้งนี้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่แต่ละองค์กรพิจารณานั้นโดยส่วนใหญ่มักจะจำกัดอยู่ที่ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global warming) หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) เท่านั้น [1], [2], [3] ซึ่งถึงแม้บางองค์กรหรือบางมหาวิทยาลัยจะมีการประเมินปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณการใช้น้ำ และปริมาณขยะของเสียที่เกิดขึ้น[4], [5] แต่ประเด็นเหล่านี้ก็ยังไม่ได้ถูกนำมาประเมินเป็นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เช่น ปัญหาด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ ความขาดแคลนน้ำ หรือปัญหาด้านสุขอนามัยและอื่น ๆ นอกจากนั้นประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ถูกนำมาพิจารณาก็มักจะได้รับการพิจารณาแยกรายประเด็น ซึ่งในการตั้งมาตรการหรือจัดตั้งโครงการแก้ไขปัญหาล้างสิ่งแวดล้อมด้านใดด้านหนึ่งอาจนำมาสู่การก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านอื่น ๆ ได้ ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำแนวคิดของการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ซึ่งเป็นหลักการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่

พิจารณาในทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการถ่ายโอนปัญหาจากกระบวนการหนึ่งไปสู่อีกกระบวนการหนึ่งหรือการถ่ายโอนปัญหาด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง มาประยุกต์ใช้กับการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในระดับองค์กร หรือที่เรียกว่าการประเมินวัฏจักรชีวิตในระดับองค์กร (Organizational Life Cycle Assessment: O-LCA [6], [7] ซึ่งในปัจจุบันได้มีองค์กรบางส่วนได้เริ่มนำหลักการ O-LCA มาประยุกต์ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมขององค์กรในบางประเด็น เช่น โรงแรมไนเคือ Accor SA ได้มีการประเมินผลกระทบด้าน Climate Change และ Eutrophication จากการใช้พลังงาน การใช้น้ำ และการจัดการของเสีย ของโรงแรม [8] หรือ Tianjin Polytechnical University ได้นำหลักการ Ecological footprint (EFE) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ LCA มาใช้ในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมออกมาในหน่วยของเฮกตาร์ (ha) [9] ซึ่งเป็นการประเมินตามแนวทางที่แต่ละองค์กรได้พัฒนาขึ้น โดยไม่ได้เป็นไปตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้งหมด ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีเป้าหมายเพื่อที่จะทำการศึกษาและประยุกต์ใช้แนวทางในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในระดับองค์กรที่พิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นหลาย ๆ ด้านซึ่งเกิดจากกิจกรรมทั้งทางและทางอ้อม โดยอาศัยหลักการการประเมินวัฏจักรชีวิตในระดับองค์กร หรือ O-LCA โดยใช้มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นกรณีศึกษา

2. วัสดุและวิธีการ

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการโดยอาศัยหลักการของเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตขององค์กร (Organizational Life Cycle Assessment) หรือที่เรียกว่า O-LCA ร่วมกับหลักการของการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระดับองค์กร (Carbon Footprint Organization) หรือที่เรียกว่า CFO ซึ่งจะทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมครอบคลุมทั้งผลกระทบทางตรงและทางอ้อมที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ การใช้เชื้อเพลิง การใช้พลังงาน การใช้วัสดุ การใช้สารเคมี การใช้น้ำ รวมไปถึงการปล่อยมลพิษทางอากาศ ทางน้ำ และ ทางดินผ่านกิจกรรมต่าง ๆ ของหน่วยงาน โดยขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยจะประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนได้แก่ การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน การเก็บรวบรวมข้อมูล และการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการในแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

การกำหนดขอบเขตการดำเนินงาน

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนของการกำหนดขอบเขตขององค์กรที่พิจารณาพร้อมทั้งระบุกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กรที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการของการกำหนดขอบเขตองค์กร (Organization boundaries) ของการประเมินก๊าซเรือนกระจกในระดับองค์กรอ้างอิงจาก ISO14064-1 [10], GHG Protocol ของ WBCSD [11] และแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรที่จัดทำโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [12] มาประยุกต์ใช้ โดยยึดตามแนวทางที่เรียกว่าการกำหนดขอบเขตตามการควบคุมการดำเนินงาน (Operational Control) ร่วมกับการขอบเขตตามภูมิศาสตร์ (Geographical Boundaries) ซึ่งเมื่อพิจารณาตามแนวทางดังกล่าวพบว่าภายใต้มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ตั้งอยู่ภายในเขตภาคเหนือตอนบนจะมีศูนย์การศึกษาที่อยู่ภายใต้การควบคุมการดำเนินงานของมหาวิทยาลัยจำนวนทั้งสิ้น 4 ศูนย์การศึกษา ได้แก่ ศูนย์การศึกษาสวนสัก ศูนย์การศึกษาสวนดอก และศูนย์การศึกษาแม่เหียะ ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ และ ศูนย์การศึกษาหริภุญไชย ซึ่งตั้งอยู่ในจังหวัดลำพูน โดยจะครอบคลุมคณะ สถาบันและหน่วยงานต่าง ๆ รวมทั้งหมด 44 หน่วยงาน ซึ่งกิจกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ

หน่วยงานเหล่านี้ที่จะนำมาพิจารณาจะประกอบไปด้วย (1) กิจกรรมการใช้พลังงานทั้งในรูปของเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้าภายในอุปกรณ์/เครื่องจักร/ยานพาหนะที่หน่วยงานต่าง ๆ เป็นเจ้าของหรือที่อยู่ภายใต้การควบคุมดูแลของหน่วยงานเหล่านั้น (2) การใช้น้ำในอุปกรณ์/เครื่องจักร/อาคารที่หน่วยงานเป็นเจ้าของหรือที่อยู่ภายใต้การควบคุมดูแลของหน่วยงานเหล่านั้น (3) การใช้ปุ๋ยและสารเคมีเพื่อการบำรุงพื้นที่สีเขียวที่อยู่ภายใต้การควบคุมดูแลของหน่วยงานต่าง ๆ (4) การใช้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นที่หน่วยงานต่าง ๆ เป็นเจ้าของหรือที่อยู่ภายใต้การควบคุมดูแลของหน่วยงานเหล่านั้น (5) การจัดการขยะชุมชนที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ภายใต้การดูแลของหน่วยงานต่าง ๆ (6) การจัดการน้ำเสียชุมชนที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่การดูแลของหน่วยงานต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้จะยังไม่พิจารณาครอบคลุมถึงการจัดการของเสียอันตราย การจัดการขยะติดเชื้อ การใช้สารเคมีในกระบวนการเรียนการสอนและงานวิจัยต่าง ๆ นอกจากนี้ถึงแม้ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงในยานพาหนะแต่ก็จะพิจารณาเฉพาะยานพาหนะที่หน่วยงานต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยเป็นเจ้าของหรือควบคุมการดำเนินงาน จะยังไม่นับรวมถึงยานพาหนะที่บุคลากรและนักศึกษาเป็นเจ้าของที่ถูกใช้ในการเดินทางมาทำกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ของมหาวิทยาลัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

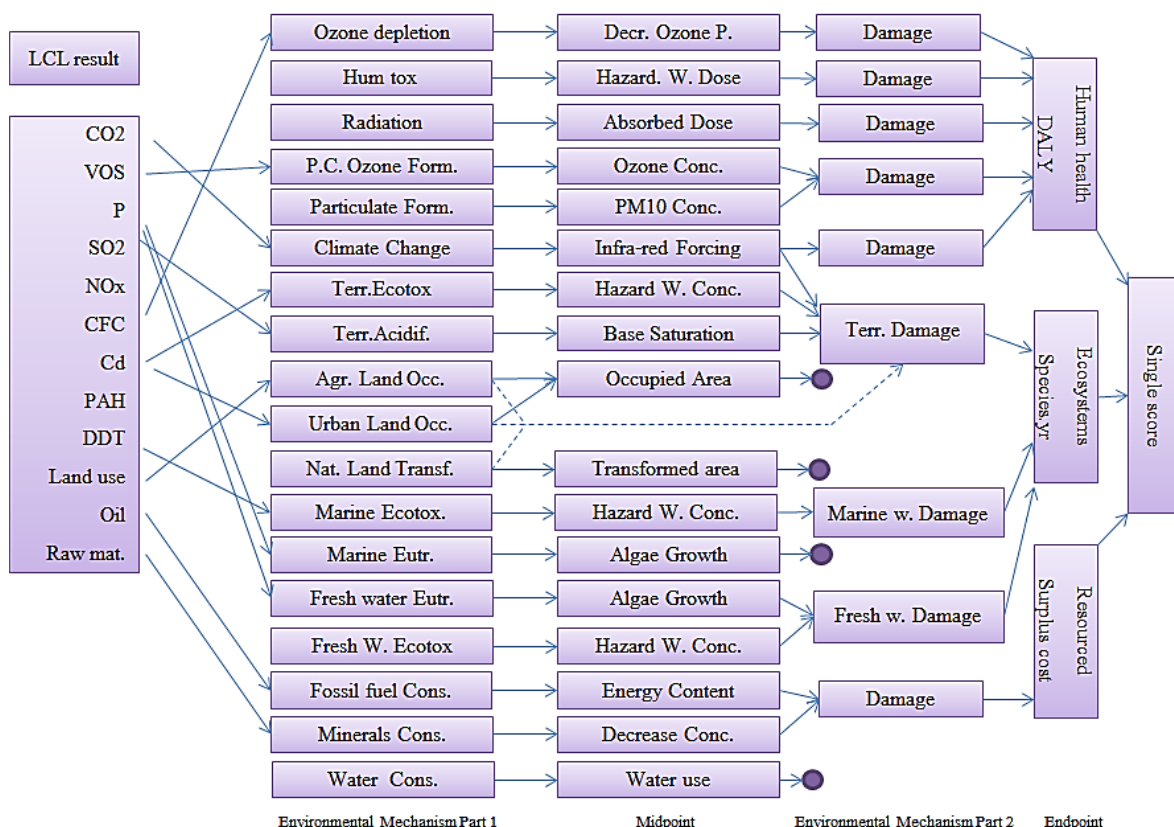
เมื่อทำการกำหนดขอบเขตขององค์กรและระบุกิจกรรมต่าง ๆ ที่จะนำมาพิจารณาผลกระทบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการเก็บรวบรวมข้อมูลของกิจกรรมต่าง ๆ โดยข้อมูลที่ทำการเก็บรวบรวมจะประกอบไปด้วยปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแยกรายชนิด ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณการใช้ปุ๋ยและสารเคมี ปริมาณการใช้และรั่วซึมของสารทำความเย็น ทั้งในส่วนที่แต่ละหน่วยงานจัดหาเองและที่หน่วยงานกลางของมหาวิทยาลัยเป็นผู้จัดหาให้ ปริมาณขยะแยกรายชนิดและวิธีการจัดการ ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดพร้อมทั้งคุณภาพน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด โดยคุณภาพน้ำเสียที่มีการตรวจวัดได้แก่ BOD, COD, SS แต่สำหรับปริมาณมลพิษทางอากาศต่าง ๆ ที่นำมาพิจารณาซึ่งประกอบไปด้วย CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC, SO₂, PM, NH₃, Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้จะประเมินโดยอาศัย ค่าแฟคเตอร์การปล่อยมลพิษ (Emission Factor: EF) ที่อ้างอิงจาก IPCC และ

EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013 ส่วนปริมาณการปล่อยมลพิษทางอากาศและทางน้ำทางอ้อมที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า น้ำ ปุ๋ย สารเคมี ต่าง ๆ ที่มีการนำมาใช้ในมหาวิทยาลัยจะอาศัยค่าแฟคเตอร์จากการปล่อยมลพิษจากฐานข้อมูลฐานวิจัยชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ และฐานข้อมูล Ecoinvent 3.01 โดยข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะเก็บในลักษณะแยกรายกิจกรรมของแต่ละหน่วยงาน

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้จะอาศัยระเบียบวิธีที่เรียกว่า ReCiPe ซึ่งเป็นระเบียบวิธีที่คิดค้นขึ้นโดย RIVM, CML, PRé Consultants, and Radboud Universiteit Nijmegen. [13] และเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในหลายประเทศทั่วโลก [14], [15] ซึ่งจะทำให้การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 11 ด้านได้แก่ ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) ด้านการเกิดภาวะฝนกรดและความเป็นกรดในดิน

(Terrestrial acidification) ด้านการลดลงของชั้นโอโซน (Ozone layer depletion) ด้านการเจริญเติบโตผิดปกติของพืชน้ำในแหล่งน้ำจืด (Freshwater eutrophication) ด้านการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (Particulate matter formation) ด้านการเกิดภาวะก่อตัวของสารโฟโตเคมีคอลออกซิแดนท์ (Photochemical oxidant formation) ด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Toxicity) ด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด (Freshwater ecotoxicity) ด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดิน (Terrestrial ecotoxicity) ด้านการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel depletion) และ ด้านความขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค (Water scarcity) โดยการประเมินด้วยระเบียบวิธีดังกล่าวจะสามารถประเมินได้ทั้งแบบแยกรายผลกระทบและแบบผลกระทบโดยรวมซึ่งผลกระทบทุกประเภทจะถูกประเมินให้อยู่ในหน่วยเดียวกันคือหน่วย “Point” หรือ “Pt”



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดตามระเบียบวิธี ReCiPe [13]

โดยในวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติย้อนหลัง 4 ปี ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ตามที่ระบุไว้ในหัวข้อการกำหนดขอบเขตการดำเนินงานและการเก็บรวบรวมข้อมูลนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 – พ.ศ. 2559 และนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการประเมินเป็นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เพื่อศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบในแต่ละปีและนำผลดังกล่าวมาประเมินเพื่อพยากรณ์แนวโน้มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 5 ปีต่อจากนี้หรือที่จะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2565 หากมหาวิทยาลัยไม่มีการดำเนินการมาตรการใด ๆ โดยกำหนดให้กรณีดังกล่าวเป็นกรณีฐาน (Business As Usual: BAU) จากนั้นจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลมาตรการต่าง ๆ ภายใต้แผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัย เพื่อนำมาประเมินถึงผลที่จะเกิดขึ้นหากมาตรการเหล่านั้นถูกนำมาดำเนินการในแต่ละปี ซึ่งผลกระทบทั้งหมดที่ทำการประเมินนอกจากจะแสดงผลในลักษณะของปริมาณต่อปีแล้ว ในการศึกษาวิจัยยังได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลของจำนวนบุคลากร จำนวนนักศึกษา และ จำนวนผู้ใช้บริการ ของหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อนำมาประเมินหาความเข้มของผลกระทบต่อจำนวนคน (Environmental Impact Intensity) เพื่อให้ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างหน่วยงานหรือระหว่างองค์กรได้

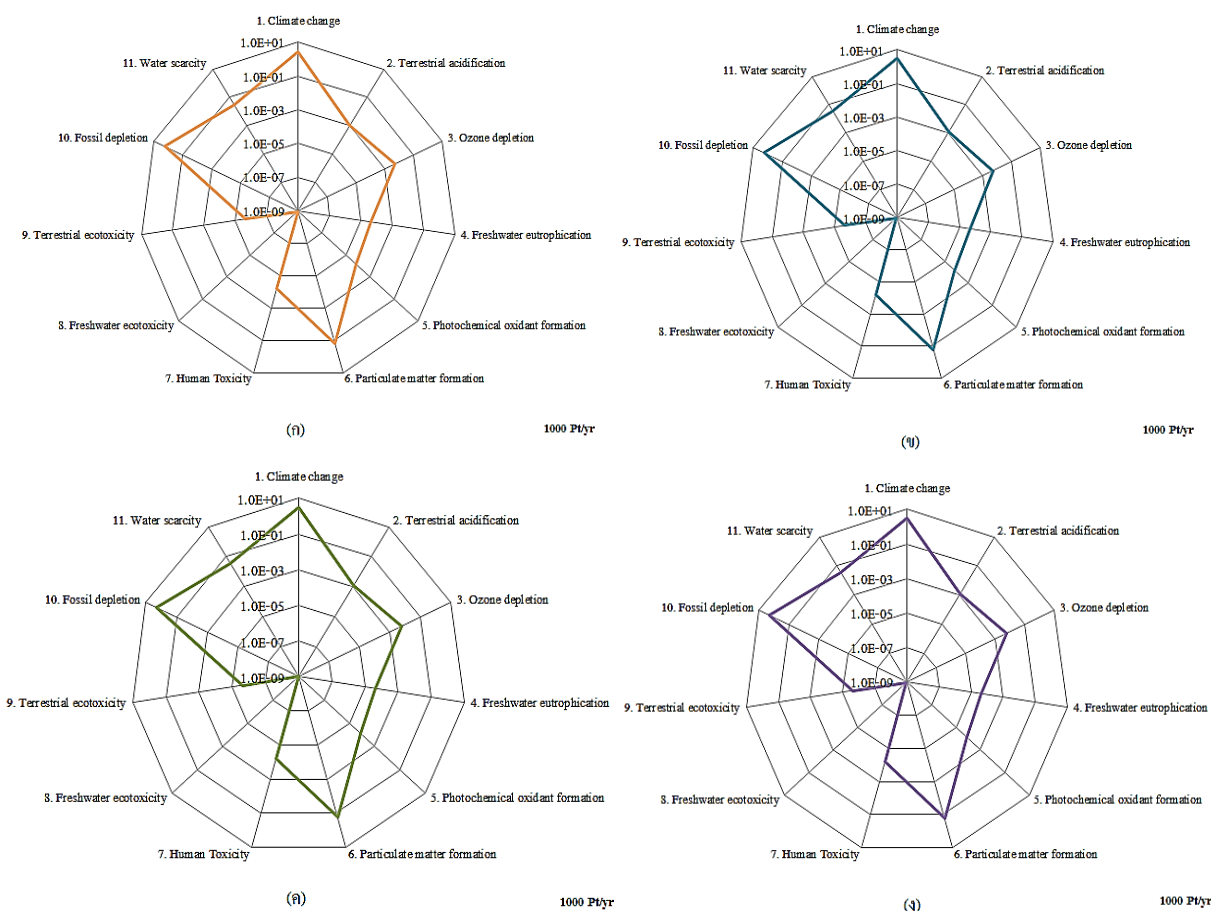
3. ผลการวิจัย และอภิปรายผล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและประเมินปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแยกรายชนิดในแต่ละกิจกรรม ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณการใช้ปุ๋ยและสารเคมี ปริมาณการใช้และรั่วซึมของสารทำความเย็น ปริมาณขยะแยกรายชนิดและวิธีการจัดการ ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดพร้อมทั้งคุณภาพน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด และปริมาณมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ พบว่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2556 – พ.ศ. 2559 มีค่าอยู่ที่ 5,185.94 kPt/ปี โดยแบ่งเป็นผลกระทบในด้านต่าง ๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ซึ่งจากผลที่แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีค่าสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ผลกระทบในกลุ่มของ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) รองลงมาคือ การลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel depletion), การเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน (Particulate matter formation), ความขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค (Water scarcity) และการลดลงของชั้นโอโซน (Ozone layer depletion) ตามลำดับ โดยลำดับของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจะอยู่ในลักษณะนี้ทุกปีดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยต่อปีโดยเฉลี่ยช่วงในปี พ.ศ.2556-พ.ศ.2559 (unit/year)

Environmental impact		Midpoint		Endpoint	
		Unit	Value	Unit	Unit
1	Climate change	TonCO ₂ eq	69,030.13	kPt	3,094.18
2	Terrestrial acidification	Ton SO ₂ eq	92.19	kPt	1.18
3	Ozone depletion	TonCFC-11	0.08	kPt	5.67
4	Freshwater eutrophication	Ton Peq	0.45	kPt	0.04
5	Photochemical oxidant formation	TonNMVOOC	91.19	kPt	0.07
6	Particulate matter formation	Ton PM10	31.45	kPt	161.93
7	Human Toxicity	Ton 1,4-DB eq	4.60	kPt	0.06
8	Freshwater ecotoxicity	Ton 1,4-DB eq	0.00	mPt	1.10
9	Terrestrial ecotoxicity	Ton 1,4-DB eq	0.01	Pt	2.37
10	Fossil depletion	Ton oil	17,641.02	kPt	1,889.20
11	Water scarcity	10 ⁶ m ³	4.29	kPt	33.60
Total (kPt)					5,185.94



ภาพที่ 2 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละปีแยกตามรายการกลุ่มผลกระทบ (ก) ปี พ.ศ. 2556 (ข) ปี พ.ศ. 2557 (ค) ปี พ.ศ. 2558 และ (ง) ปี พ.ศ. 2559

โดยหากพิจารณาถึงแหล่งที่มาของผลกระทบพบว่าที่เกิดขึ้นพบว่าผลกระทบเหล่านี้มีสาเหตุหลักมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละหน่วยงาน ซึ่งในแต่ละปีทั้งมหาวิทยาลัยมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยรวมมากกว่า 75,000 MWh ต่อปี ซึ่งถึงแม้ผลกระทบที่เกิดจากการไฟฟ้าเป็นผลกระทบทางอ้อมที่เกิดการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษในระหว่างกระบวนการผลิตไฟฟ้า แต่ผลกระทบในส่วนนี้ก็มีค่าสูงโดยมีสัดส่วนคิดเป็นถึงร้อยละ 75 ของผลกระทบทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยสาเหตุรองลงมาคือผลกระทบที่เกิดจากการจัดการของเสีย, การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในเครื่องจักร/อุปกรณ์และยานพาหนะ การจัดการน้ำเสีย และอื่น ๆ โดยคิดเป็นร้อยละ 10, 9, 5 และร้อยละ 1 ของผลกระทบทั้งหมดที่เกิดขึ้น ตามลำดับ

ซึ่งเมื่อพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแยกรายหน่วยงานในแต่ละศูนย์การศึกษาพบว่าศูนย์

การศึกษาสวนดอก มีสัดส่วนผลกระทบมากที่สุด รองลงมาคือศูนย์การศึกษาสวนสัก, ศูนย์การศึกษาแม่เหิยะ และศูนย์การศึกษาหริภุญไชย ตามลำดับ ทั้งนี้หากพิจารณาถึงสาเหตุหลักของผลกระทบก็พบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นเกิดจากการใช้ไฟฟ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบปรับอากาศ และเนื่องจากศูนย์การศึกษาสวนดอกเป็นศูนย์การศึกษาที่ประกอบไปด้วยคณะทางด้านกายภาพเป็นหลักซึ่งประกอบไปด้วยคณะทันตแพทยศาสตร์, คณะพยาบาลศาสตร์, คณะแพทยศาสตร์, คณะเภสัชศาสตร์, คณะเทคนิคการแพทย์ รวมถึงศูนย์บริการเทคนิคการแพทย์คลินิก, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ และสำนักบริการวิชาการ ซึ่งคณะเหล่านี้นอกจากจะมีกิจกรรมทางด้านการเรียนการสอนแล้วยังมีกิจกรรมทางด้านกายภาพและการรักษาที่ต้องรองรับผู้ที่เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก อีกทั้งกิจกรรมทางการแพทย์และการรักษา

เป็นกิจกรรมที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความเข้มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเทียบกับจำนวนประชากร สำหรับการศึกษานี้พิจารณาครอบคลุมจำนวนนักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยรวมถึงผู้เข้ามาใช้บริการในหน่วยงานต่าง ๆ) กลับพบว่าศูนย์การศึกษาสวนดอกมีค่าความเข้มของผลกระทบต่ำที่สุด รองลงมาคือศูนย์การศึกษาสวนสัก แม่เหียะ และหริภุญไชยโดยมีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลา 4 ปี อยู่ที่ 2.23 Pt/คน/ปี, 24.71 Pt/คน/ปี, 116.94 Pt/คน/ปี และ 165.80 Pt/คน/ปี ตามลำดับ เนื่องจากศูนย์การศึกษาสวนดอกเป็นศูนย์การศึกษาที่มีผู้เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมากไม่เพียงแต่นักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยเท่านั้น แต่ยังรวมถึงบุคคลภายนอกที่เข้ามาใช้บริการด้วย ต่างจากศูนย์การศึกษาอื่น ๆ ที่ประกอบด้วยหน่วยงานที่ดำเนินกิจกรรมในด้านการเรียนการสอนเท่านั้น และเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมของทั้งมหาวิทยาลัย พบว่าความเข้มของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยเฉลี่ยมีค่าอยู่ที่ 3.66 Pt/คน/ปี ซึ่งหากนำข้อมูลในแต่ละปีมาพิจารณาเปรียบเทียบกันพบว่าความเข้มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยโดยผลกระทบของปี พ.ศ. 2556 - 2559 จะมีค่าอยู่ที่ 4.08 Pt/คน/ปี, 3.93 Pt/คน/ปี, 3.34 Pt/คน/ปี และ 3.10 Pt/คน/ปี ตามลำดับ โดยเมื่อเทียบข้อมูลของปี พ.ศ. 2559 กับ ปี พ.ศ. 2556 พบว่าความเข้มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลงร้อยละ 24

ซึ่งเมื่อนำผลการประเมินข้างต้นมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลสถิติของปริมาณบุคลากร นักศึกษา และผู้ใช้บริการของหน่วยงานต่าง ๆ รวมถึงข้อมูลสถิติการใช้พลังงานต่อคน การใช้น้ำต่อคน การเกิดขยะต่อคน การใช้ปุ๋ยและสารเคมีต่อพื้นที่ของมหาวิทยาลัย พบว่าหากมหาวิทยาลัยไม่ดำเนินมาตรการใด ๆ ภายในปี พ.ศ. 2565 ปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณการใช้น้ำ ปริมาณขยะและ ปริมาณการใช้ปุ๋ยและสารเคมีที่จะมีค่าเพิ่มสูงเป็น 10,672 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ/ปี 5.40 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี 6,582 ตัน/ปี และ 15.92 ตัน/ปี ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลให้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้นถึง 6,883.86 kPt/ปี

จากการที่ผลกระทบส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเกิดจากการใช้พลังงานและจากการที่ทางมหาวิทยาลัยเชิงใหม่มีมาตรการด้านพลังงานและการจัดการของเสียต่าง ๆ ที่จะดำเนินการในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2560 - พ.ศ. 2565 ตามแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานและ

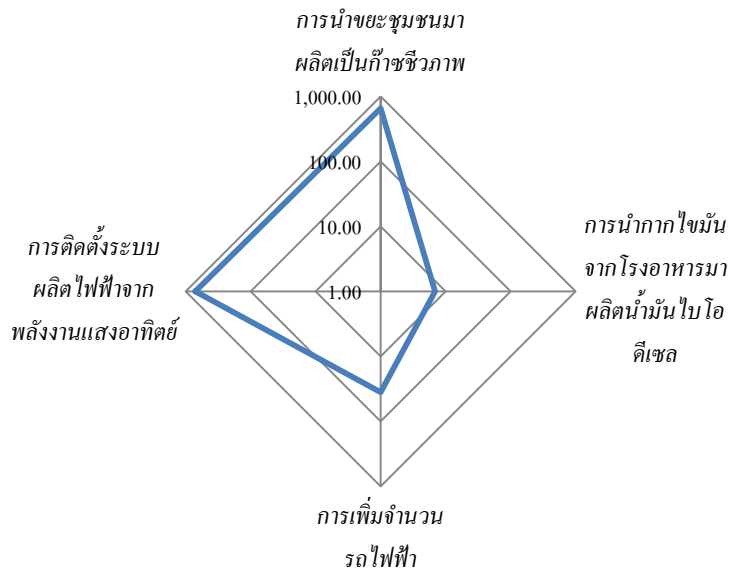
สิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานนี้จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของมาตรการบางมาตรการที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยโดยอาศัยมาตรการด้านพลังงานและการจัดการของเสียดังกล่าว โดยมาตรการที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย (1) การนำขยะชุมชนที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ (2) การนำกากไขมันจากโรงอาหารมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (3) การเพิ่มจำนวนรถไฟฟ้าในการเดินทางภายในมหาวิทยาลัย และ (4) การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมาตรการแรกจะเป็นการนำขยะชุมชนของมหาวิทยาลัยที่มีปริมาณสูงกว่า 6,000 ตันต่อปี และมีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์สูงถึงร้อยละ 96 รวมกับมูลสัตว์ที่ได้จากคณะสัตวแพทยศาสตร์ที่มีมากกว่า 1,095 ตันต่อปี มาเข้าสู่ระบบก๊าซชีวภาพและนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ส่วนหนึ่งมาเข้าสู่ระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งระบบที่จะติดตั้งตามแผนจะมีขนาดเท่ากับ 0.3 MW เพื่อนำไปทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งของประเทศและอีกส่วนหนึ่งนำไปเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัด (Compressed Biomethane Gas: CBG) เพื่อนำไปใช้ทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลในยานพาหนะของมหาวิทยาลัย ซึ่งทั้ง 2 ระบบจะสามารถทดแทนไฟฟ้าจากระบบสายส่งของประเทศได้ 1,080 MWh/ปี และทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 161,912 ลิตร/ปี นอกจากนั้นมาตรการนี้ยังมีผลพลอยได้เป็นปุ๋ยชีวภาพอีกจำนวนอย่างน้อย 2,000 ตันต่อปี ซึ่งปุ๋ยในส่วนนี้จะถูกนำมาใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีในการจัดการพื้นที่สีเขียวของมหาวิทยาลัย ส่วนมาตรการที่ 2 เป็นการดักเก็บกากไขมันจากโรงอาหารและอาคารต่าง ๆ เพื่อนำมาป้อนให้กับระบบผลิตไบโอดีเซลและนำไปโอดีเซลที่ได้มาเข้าสู่ระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งระบบที่จะติดตั้งตามแผนมีขนาดเท่ากับ 0.5 MW ส่งผลทำให้สามารถทดแทนไฟฟ้าจากระบบสายส่งของประเทศได้ 1,980 MWh/ปี สำหรับมาตรการที่ 3 เป็นเพิ่มจำนวนรถไฟฟ้าที่นำมาใช้ทดแทนการใช้รถบริการของมหาวิทยาลัยที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอีกจำนวน 20 คัน ซึ่งจะสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลได้เพิ่มอีก 299,545 ลิตร/ปี ส่วนมาตรการสุดท้ายเป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) ขนาด 13 MW ซึ่งจะสามารถทดแทนไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้เท่ากับ 21,320 MWh ต่อปี ซึ่งมาตรการทั้ง 4 มาตรการเป็นมาตรการที่ดำเนินการในศูนย์การศึกษาสวนสัก และศูนย์การศึกษาสวนดอก ซึ่งเป็นศูนย์การศึกษาหลักของ

มหาวิทยาลัย ซึ่งหากดำเนินการตามมาตรการที่กล่าวมาทั้งหมดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ในส่วนของศูนย์การศึกษาสวนสักและศูนย์การศึกษาสวนดอก จะสามารถลดลงได้ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งมีผลทำให้ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยภาพรวมของทั้งมหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2565 จะลดลงเหลือเพียง 5,466.68 Pt/ปี หรือคิดเทียบเป็นลดลงได้ร้อยละ 20.59 เมื่อเทียบกับกรณีฐานโดยสัดส่วนของผลกระทบที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2565 แยกรายประเภทเป็นดังภาพที่ 4

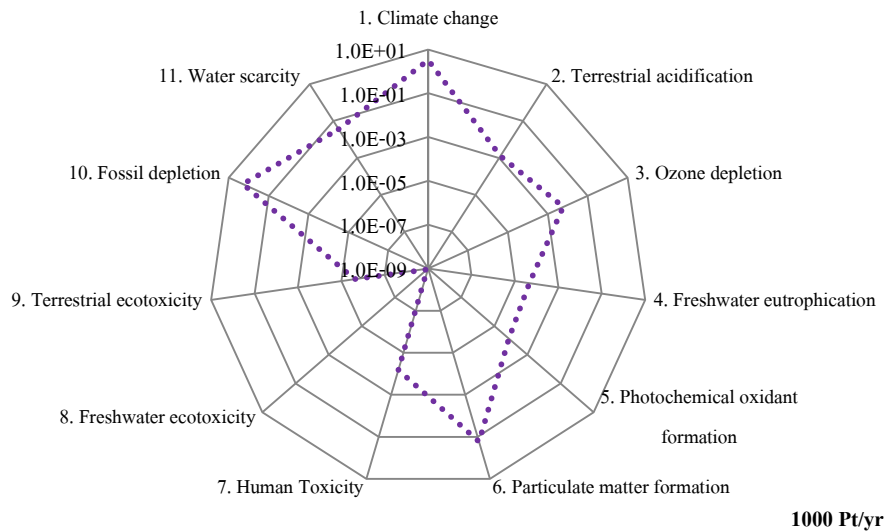
โดยถึงแม้ในส่วนมาตรการเพิ่มจำนวนรถไฟฟ้าเข้ามาใช้ในมหาวิทยาลัยจะทำให้มหาวิทยาลัยมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นซึ่งผลกระทบในส่วนนี้ก็จะเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากมาตรการดังกล่าวสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของยานพาหนะของมหาวิทยาลัยลง ก็จะสามารถที่ลดผลกระทบในด้านของการเกิดฝุ่นละอองหมอกควันและการก่อตัวของสารโพลีโทเคมีคอลออกซิแดนซ์ รวมไปถึงมลพิษต่าง ๆ ที่จะมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ลงได้ อีกทั้งเนื่องจากถึงแม้จะมีการใช้ไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยเพิ่มขึ้นแต่เนื่องจากมหาวิทยาลัยมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ในสัดส่วนที่เพิ่มสูงขึ้นพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบสายส่งของประเทศน้อยลง ค่า EF โดยเฉลี่ยของไฟฟ้าจึงมีค่าลดลงตามมีผลทำให้แม้จะมีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแต่ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม และเช่นเดียวกันกับมาตรการการผลิตไบโอดีเซลจากกากไขมันและการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชุมชนและมูลสัตว์ของมหาวิทยาลัย ทั้ง 2 มาตรการนี้ถึงแม้จะมีการใช้ทั้งไฟฟ้าและสารเคมีเพิ่มมากขึ้นแต่ทั้ง 2 มาตรการนี้สามารถลดปริมาณขยะ/ของเสียอินทรีย์ที่ในการจัดการแบบเดิมที่จะก่อให้เกิดผลกระทบในส่วนของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการที่ผลพลอยได้ของทั้ง 2 มาตรการคือเชื้อเพลิงทดแทนและปุ๋ยหมัก มีผลทำให้นอกจากจะลดผลกระทบในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศแล้วยังสามารถช่วยลดผลกระทบทางด้านการลดลงของแหล่งทรัพยากรเชื้อเพลิงฟอสซิลและด้านการเกิดภาวะก่อตัวของฝุ่นละอองหมอกควัน ด้านการเกิดภาวะก่อ

ตัวของสารโพลีโทเคมีคอลออกซิแดนซ์ ด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ ด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด และด้านการเกิดภาวะที่เป็นพิษต่อดินได้

ทั้งนี้มาตรการด้านพลังงานและการจัดการของเสียที่นำมาพิจารณาเป็นเพียงร้อยละ 60 ของมาตรการทั้งหมด โดยมาตรการที่ยังไม่ได้นำมาพิจารณาจะประกอบไปด้วยการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในศูนย์การศึกษาสวนดอกและการติดตั้งโซลาร์ฟาร์ม (Solar Farm) ในศูนย์การศึกษาสิริภุญไชย ซึ่งมีแผนดำเนินการภายหลังจากปี 2565 การสร้างอาคารจอดรถเพิ่มเติมในศูนย์การศึกษาสวนสักและการปรับปรุงระบบรถขนส่งมวลชนเพื่อรองรับผู้ที่นำรถมาจอด ณ อาคารจอดรถ ซึ่งปัจจุบันมีการดำเนินการก่อสร้างแล้วแต่เนื่องจากในการศึกษานี้ยังไม่ได้มีการรวมผลกระทบของการเดินทางด้วยยานพาหนะส่วนตัวของบุคลากร นักศึกษา และประชาชนทั่วไปที่เดินทางเข้ามาในมหาวิทยาลัยเข้ามาไว้ในกรณีฐาน ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างของกรอบดำเนินงานจึงไม่นับรวมมาตรการนี้ การซ่อมบำรุงระบบจ่ายน้ำและการติดตั้งระบบตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำแยกย่อยในแต่ละหน่วยงานที่มีความถูกต้องและแม่นยำ เนื่องจากปัจจุบันอยู่ในระหว่างการดำเนินการเพื่อประเมินการสูญเสียน้ำจากการรั่วไหลในระบบท่อ ดังนั้นจึงยังไม่ได้นำผลมาแสดงในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ในการศึกษานี้ยังไม่นับรวมการติดตั้งระบบไฟโรไลซิสในการเปลี่ยนขยะจำพวกพลาสติกมาเป็นน้ำมันและมาตรการแยกย่อยของแต่ละหน่วยงานที่เน้นเกี่ยวกับการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศและการเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน เนื่องจากมาตรการแรกเป็นเพียงระบบขนาดเล็กยังไม่ได้มีแผนที่จะขยายให้เป็นระบบขนาดใหญ่ที่สามารถรองรับขยะของทั้งมหาวิทยาลัยได้ ส่วนมาตรการหลังนั้นเป็นมาตรการระยะสั้นของแต่ละหน่วยงานที่การดำเนินการยังไม่ครอบคลุมถึงปี 2565 ซึ่งหากนำมาตรการเหล่านี้มาดำเนินการและพิจารณาร่วมด้วย ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ก็จะลดลงกว่าเดิม



ภาพที่ 3 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่สามารถลดลงได้แยกตามมาตรการในปี พ.ศ. 2565



ภาพที่ 4 ปริมาณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแยกตามรายการกลุ่มผลกระทบในปี พ.ศ. 2565

อภิปรายผล

ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วยหลักการและเทคนิค O-LCA ร่วมกับระเบียบวิธี ReCiPe ซึ่งเป็นการพิจารณาผลกระทบในหลาย ๆ ด้านไปพร้อมกัน จะช่วยทำให้สามารถประเมินภาพรวมของผลกระทบ

ทั้งหมดที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เกิดการป้องกันไม่ให้เกิดการนำมาตรการที่ลดผลกระทบด้านหนึ่งแล้วไปก่อผลกระทบอีกด้านหนึ่งตามมาจนทำให้ผลกระทบโดยรวมมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยจากการประเมินการใช้เชื้อเพลิงการใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำ การใช้ปุ๋ยและสารเคมี การใช้และรั่วซึมของสารทำความเย็น ปริมาณขยะและ

องค์ประกอบ ปริมาณและคุณภาพน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด ปริมาณมลพิษทางอากาศต่าง ๆ พบว่ากิจกรรมต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยจะสามารถก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มากกว่าผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเพียงอย่างเดียว โดยผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉลี่ยในระหว่างปี 2556 - 2559 ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีค่าอยู่ที่ 5,185.94 kPt/ปี หรือคิดเป็น 3.55 kPt/คน/ปี โดยผลกระทบที่มีค่ามากที่สุดได้แก่ Climate change มีค่าอยู่ที่ 3,093.18 kPt/ปี รองลงมาได้แก่ Fossil depletion, Particulate matter formation และ Water scarcity โดยมีค่าอยู่ที่ 1,889.20 kPt/ปี 161.93 kPt/ปี และ 33.60 kPt/ปี ตามลำดับ ซึ่งหากไม่มีการดำเนินการใด ๆ ภายในระยะเวลาอีกเพียง 5 ปี หรือในปี 2565 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยภาพรวมก็จะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 6,883.83 kPt/ปี แต่หากมหาวิทยาลัยมีการดำเนินการมาตรการต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับพลังงานและการจัดการขยะของเสียตามแผนยุทธศาสตร์ที่วางไว้ ก็จะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้ โดยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของปี 2565 ภายหลังจากที่มีการดำเนินการมาตรการต่าง ๆ แล้วจะลดเหลือเพียง 5,466.68 kPt/ปี หรือลดลงได้ถึงร้อยละ 20.59

4. เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม

- Nuria Gomez et al. 2016. Carbon footprint of a university in a multiregional model: the case of the University of Castilla-La Mancha. *Journal of Cleaner Production* 138.2016; 119 - 130.
- Oregon University. 2007. Oregon University System Greenhouse Gas Inventory. GHG Emissions for the 2004 Calendar Year: Report and Analysis; 2007.
- Chris Steuer et al. Local Efforts to Monitor and Mitigate Greenhouse Gas Emissions: A Case Study from the University Park Campus of Penn State University. the 15th Annual International Inventory Conference, New Orleans May 2006; 2006.
- The Office of Sustainability. University of Maryland Sustainability Metrics report 2011: the Office of Sustainability, University of Maryland; 2011.
- Habib M. Alshuwaikhat et al. 2017. The Development of a GIS-Based Model for Campus Environmental Sustainability Assessment, *Journal of Sustainability* 2017; 9: 439.
- The UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. Guidance on organizational Life Cycle Assessment, The UNEP/SETAC Life Cycle Initiative at UNEP, Technische University Berlin(TUBerlin)and ogakuinUniversity;2015.
- The International Organization for Standardization (ISO). 2014. ISO/TS 14072:2014. Environmental management-Life Cycle Assessment Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment; 2014.
- FLOC'H Emilie. LEFEVRE Clément. The Accor group's Environmental Footprint: An Application of Life-Cycle Approach to Assess and Monitor an Organization Environmental Performance. Proceedings 2nd LCAConference, 6-7 November 2012. Lille France.
- Hongbo Liu et al. The ecological footprint evaluation of low carbon campuses based on life cycle assessment: A case study of Tianjin, China, *Journal of Cleaner Production* 2017; 144: 266-278.
- ISO. 2006. ISO14064-1: Greenhouse gases Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. ISO, Geneva; 2006.
- The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) and The World Resources Institute (WRI). The Greenhouse Gas Protocol A Corporate Accounting and Reporting Standard; 2004.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ; 2015.
- Mark Goedkoop et al. ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which

- comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition Report I: Characterisation; 2008.
14. Chr. Lamnatou and D Chemisana. Evaluation of photovoltaic-green and other roofing systems by means of ReCiPe and multiple life cycle based environmental indicators. *Building and Environment journal* 2015; 93:376-384.
 15. An M. De Schryver et al. Characterization Factors for Global Warming in Life Cycle Assessment Based on Damages to Humans and Ecosystems. *Environ. Sci. Technol* 2009; 43 (6): 1689-1695.