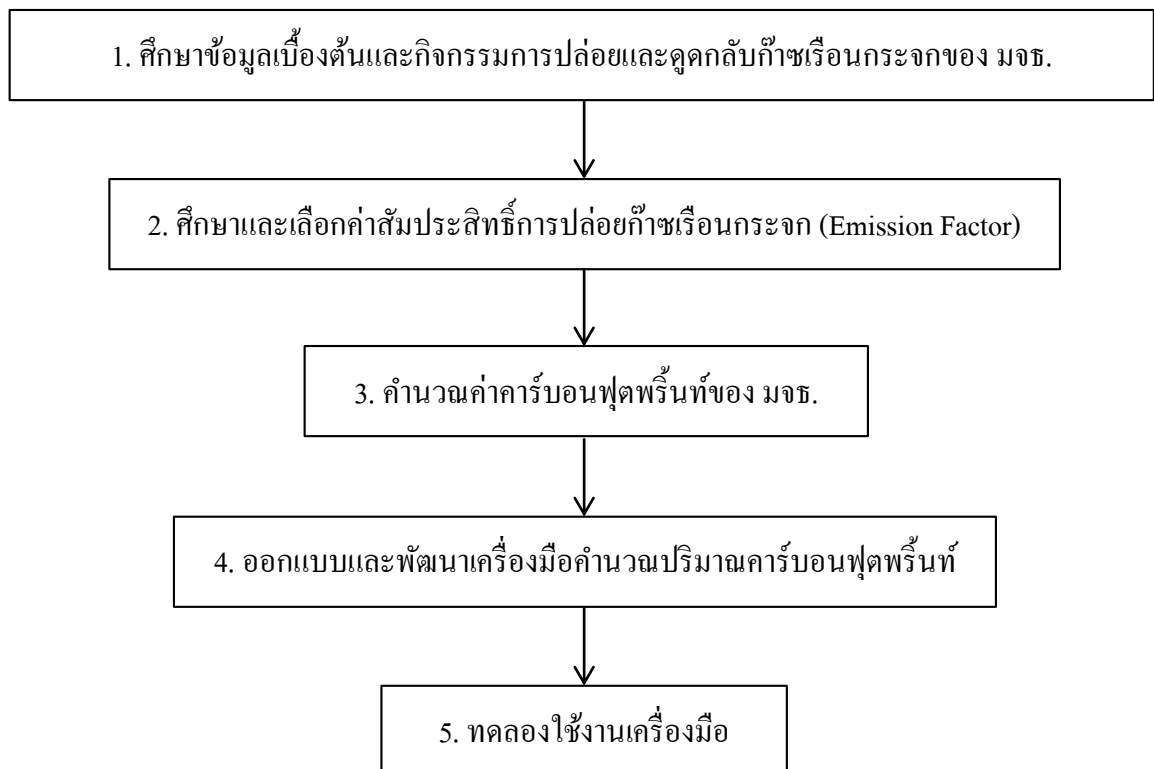


บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศูนย์บางมด และหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัย แต่ไม่รวม โรงเรียนครูณสิขาลัย (DSIL) และโรงอาหาร โดยใช้ฐานข้อมูลปีปฏิทินย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2556 มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและกิจกรรมการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อมูลเบื้องต้นและกิจกรรมการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกของ มจร. ได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมนั้นๆ จากนั้นจึงนำข้อมูลมาออกแบบและพัฒนาเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยแบ่งกิจกรรมการปล่อยและดูดกลับออกเป็น 3 ขอบเขตตามที่ระบุไว้ในคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ดังนี้

3.1.1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร

ประกอบด้วยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆภายในองค์กร ดังนี้

(1) การเดินทางภายในและภายนอกองค์กรด้วยยานพาหนะขององค์กร

มจร. จำแนกยานพาหนะขององค์กรออกเป็น 2 ประเภท คือ (1) ยานพาหนะส่วนกลางมีทั้งสิ้น 17 คัน ประกอบไปด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล รถกระบะ รถไมโครบัส รถโมบาย และรถตู้ กำกับดูแลโดยกองอาคารสถานที่และยานพาหนะ สำนักงานคณบดี และ (2) เป็นยานพาหนะขององค์กรที่มาจากการจัดซื้อในนามคณะ และแต่ละคณะเป็นผู้กำกับดูแล โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ประกอบด้วยน้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน และแก๊สโซฮอล 95

(2) การใช้สารดับเพลิง

สารดับเพลิงที่ใช้ใน มจร. แต่ละคณะจะทำการจัดสรรงบประมาณในการจัดซื้อถังดับเพลิง และกำกับดูแลโดยศูนย์ EESH โดยมีการตรวจสอบปริมาณสารและบำรุงรักษาทุกๆ 4 ปี

(3) การใช้สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในองค์กร

สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศของ มจร. ประกอบไปด้วย 2 ชนิดได้แก่ สาร R-22 (HCFC-22) และสาร R-134 โดยมีบริษัท Wind chill เป็นหน่วยงานที่จัดจ้างจากภายนอก (Outsource) ภายใต้การกำกับดูแลของกองอาคารสถานที่และยานพาหนะ ดำเนินการตรวจสอบและเติมสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยทั้งหมด ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารทำความเย็นจะคิดเฉพาะปริมาณสารทำความเย็น (kg) ที่เติมในเครื่องปรับอากาศเท่านั้น ซึ่งบริษัท Wind chill เป็นผู้บันทึกข้อมูล และส่งให้แก่กองอาคารสถานที่และยานพาหนะสำหรับเบิกค่าใช้จ่าย

(4) การใช้ปุ๋ยเคมี

การใช้ปุ๋ยเคมีที่ใช้ภายใน มจร. จะคิดเฉพาะที่ใช้สำหรับงานสวนและสิ่งแวดล้อมเท่านั้น เนื่องจากเป็นแหล่งที่ปล่อยผลกระทบใหญ่ที่สุดในการใช้ปุ๋ยเคมี และกำกับดูแลโดยงานสวนและสิ่งแวดล้อม กองอาคารสถานที่และยานพาหนะ สำนักงานคณบดี และพบว่ามีการใช้ปุ๋ยหลายชนิด แต่จากการศึกษาพบว่ามีปุ๋ยเคมีทางการเกษตรเพียง 5 ชนิดที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกได้แก่ (1) ปุ๋ยไนโตรเจน (2) ปุ๋ยฟอสฟอรัส (3) ปุ๋ยโปแตสเซียม (4) ปุ๋ยอินทรีย์ (ขี้ไก่แห้ง) และ (5) ปุ๋ยยูเรีย (รวม N_2O แล้ว)

3.1.2 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน

การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานของ มจร. พบว่ามีเฉพาะการซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) เท่านั้น แบ่งเป็นศูนย์บางมด 13 มิเตอร์และวิทยาเขตบางขุนเทียน 1 มิเตอร์ (โดยไม่นับรวมหอพักนักศึกษา) แยกไปตามอาคารต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัย โดยส่วนงานกองอาคารสถานที่และยานพาหนะ สำนักงานคณบดี เป็นผู้กำกับดูแล และบันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากมิเตอร์ภายในอาคารทั้งหมดเพื่อส่งให้แก่กองคลังเพื่อออกไปเสร็จรับเงินให้แก่หน่วยงานนั้นๆ

3.1.3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ของ มจร. นอกเหนือจากที่ระบุในขอบเขตที่ 1 และขอบเขตที่ 2 ซึ่งแต่ละองค์กรสามารถวัดหรือประเมิน เพื่อการรายงานผลเพิ่มเติมได้ โดยไม่ถือเป็นข้อบังคับประกอบด้วยกิจกรรมดังนี้

(1) การเดินทางไปและกลับระหว่างองค์กรกับที่พักอาศัยของบุคลากร

การเดินทางไปและกลับระหว่างองค์กรกับที่พักอาศัยของบุคลากรใน มจร. ประกอบไปด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล รถกระบะ รถประจำทาง รถตู้ และจักรยานยนต์ โดยการใช้แบบสอบถามเพื่อหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (L/kg) ดังแสดงในภาคผนวก ก

(2) การใช้สารเคมีเพื่อกิจกรรมการเรียนการสอน

การใช้สารเคมีใน มจร. ประกอบไปด้วยแหล่งที่มา 2 แหล่ง คือจากจัดซื้อจากหน่วยงาน EESH ซึ่งในแต่ละเดือนห้องปฏิบัติการและโรงประลองจะต้องรายงานปริมาณการนำเข้าสารเคมี ปริมาณสารเคมีที่ใช้ และปริมาณสารเคมีที่เหลือ ให้แก่ศูนย์การจัดการด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และชีวอนามัย (Energy Environmental Safety and Health: EESH) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่กำกับดูแลด้วยเรื่องของสารเคมีทั้งหมดในมหาวิทยาลัย ซึ่งจะรายงานเฉพาะสารเคมีที่เป็นของแข็ง (Solid) และสารเคมีที่เป็นของเหลว (Liquid) เท่านั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างข้อมูลสารเคมีจากศูนย์ EESH (2556) กับคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ของ อบก. จะพบว่ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสารเคมีที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจำนวน 41 ชนิด ซึ่งไม่รวมผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการทดลองในห้องปฏิบัติการและโรงประลอง

(3) การใช้น้ำประปา

น้ำประปาที่ใช้ของ มจร. ทั้งหมดซื้อจากการประปานครหลวง (กปน.) ซึ่งข้อมูลการใช้น้ำมาจากมิเตอร์น้ำจำนวน 10 มิเตอร์ แล้วส่งตามท่อไปยังอาคารต่างๆ ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำจึงเป็นข้อมูลรวมทั้งมหาวิทยาลัย โดยส่วนงานกองอาคารสถานที่และยานพาหนะ สำนักงานคณบดี เป็นผู้กำกับดูแล และบันทึกปริมาณการใช้น้ำประปาทั้ง 10 มิเตอร์ เพื่อส่งให้โดยกองคลัง สำนักคณบดี ดำเนินการเบิกจ่ายค่าน้ำประปาจากงบประมาณส่วนกลาง

(4) การใช้วัสดุสำนักงาน

การใช้วัสดุสำนักงานใน มจร. ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ (1) กระดาษ A4 (รีม) โดยแต่ละคณะจะจัดการสั่งซื้อกระดาษเอง (2) กระดาษชำระ (ม้วน/ห่อ) (3) ถุงขยะ (กิโลกรัม) โดยส่วนงานกองอาคารสถานที่และยานพาหนะ สำนักงานคณบดี เป็นผู้กำกับดูแลในการสั่งซื้อกระดาษชำระและถุงขยะทั้งหมด และ (4) หมึกพิมพ์ (ตลับ) ซึ่งแต่ละคณะจะจัดการสั่งซื้อเอง โดยวิธีการคำนวณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้วัสดุสำนักงาน จะนำปริมาณการใช้วัสดุสำนักงานคูณกับน้ำหนักของวัสดุสำนักงานแต่ละชนิด เพื่อหาน้ำหนักของวัสดุสำนักงาน (kg) โดยที่กระดาษ A4 จำนวน 1 รีม มีน้ำหนักเท่ากับ 2.5 กิโลกรัม (kg) กระดาษชำระแบบม้วนจำนวน 1 ม้วน มีน้ำหนัก 0.8 กิโลกรัม (kg) กระดาษชำระเช็ดมือแบบม้วนและแบบแผ่นจำนวน 1 ม้วน/ห่อ มีน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม (kg) และหมึกพิมพ์จำนวน 1 ตลับ มีน้ำหนัก 0.1 กิโลกรัม (kg)

(5) ขยะและของเสีย

มจร. แยกขยะออกเป็น 2 ประเภทคือ (1) ขยะจากกิจกรรมภายนอกอาคาร แบ่งเป็นทั้งหมด 30 จุด และ (2) ขยะที่เก็บจากจุดพักขยะประจำอาคาร แบ่งเป็นทั้งหมด 17 จุด โดยมีบริษัทปราบขยะรีไซเคิลจำกัด เป็นหน่วยงานที่จัดจ้างจากภายนอก (Outsource) ภายใต้การกำกับดูแลของกองอาคารสถานที่และยานพาหนะ เป็นผู้ดูแลการจัดเก็บขยะภายในมหาวิทยาลัย โดยการชั่งน้ำหนักขยะและของเสีย ณ จุดที่เก็บขยะแบบไม่แยกประเภท จากนั้นจึงทำการแยกประเภทขยะก่อนนำไปขายและรีไซเคิลต่อไป โดยขยะรีไซเคิลแบ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ กระดาษ แก้ว พลาสติก โลหะ และขยะประเภทอื่นๆ นอกจากนี้ มจร.

มจร. สร้างน้ำเสียจากการใช้น้ำเพื่อชำระล้างจากอาคารต่างๆ และบริเวณภายในมหาวิทยาลัย และมีการบำบัดน้ำเสียตามจุดต่างๆ แบบเดิมอากาศ โดยมีการกำกับดูแลจากกองอาคารสถานที่และยานพาหนะอย่างสม่ำเสมอ

3.2 การเลือกค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor : EF)

การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร จำเป็นต้องมี EF ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมกับแต่ละภูมิภาค เพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด โดยอ้างอิงจากคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ขององค์ อบก. เป็นหลัก หากไม่มีก็จะใช้ค่าของต่างประเทศในเขตที่มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม และจากคู่มือคำนวณของ IPCC (2006) เป็นต้น

การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกมีความยืดหยุ่น เพื่อให้แต่ละองค์กรสามารถปรับใช้ให้เหมาะกับองค์กรของตนได้ ดังนั้นข้อมูลจากการศึกษาการกิจกรรมการเรียนการสอนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้วิจัยได้เลือกค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังตารางที่ 3.1 โดยแบ่งออกเป็น 3 ขอบเขต คือ (1) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรง (2) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมและ (3) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ

ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

ขอบเขต	กิจกรรมการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
1	การเดินทางภายในและภายนอกด้วยยานพาหนะองค์กร	L	ตามชนิดของเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 3.4
	การใช้สารดับเพลิง	kg	ตามชนิดของสารดับเพลิง
	การใช้สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	kg	ตามชนิดของสารทำความเย็น ดังแสดงในตารางที่ 3.6
	การใช้ปุ๋ยเคมี	kg	ตามชนิดของปุ๋ย ดังแสดงในตารางที่ 3.7
2	การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากภายนอก	kWh	0.5610 kg CO ₂ e/kWh
3	การเดินทางทางไป-กลับของบุคลากร	L หรือ kg	ตามชนิดของเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 3.4
3	การใช้สารเคมีเพื่อกิจกรรมการเรียนการสอน	kg	ตามชนิดของสารเคมี ดังแสดงในตารางที่ 3.8
	การใช้น้ำประปา	m ³	0.0264 kgCO ₂ e/m ³
	การใช้วัสดุสำนักงาน	kg	ตามประเภทของวัสดุสำนักงาน ดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก
(ต่อ)

ขอบเขต	กิจกรรมการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
3	ขยะและของเสีย และน้ำเสีย	kg	2.3200 kgCO ₂ e/kg ของของเสีย และตามประเภทของการบำบัดน้ำเสีย
ดูดกลับ	การรีไซเคิลขยะ	kg	ตามประเภทของขยะ ดังแสดงในตารางที่ 3.10

สำหรับการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางทั้ง 2 แบบ คือ (1) การเดินทางภายในและภายนอกด้วยยานพาหนะขององค์กร และ (2) การเดินทางไปและกลับระหว่างองค์กรกับที่พักอาศัยของบุคลากร จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ดังตารางที่ 3.2 และกรณีที่ไม่ทราบประเภทและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ในการคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จึงจำเป็นต้องมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเดินทางแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิง (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554)

ชื่อ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ดีเซล	L	2.7446	IPCC
ก๊าซธรรมชาติ (CNG)	kg	2.2472	IPCC
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	L	1.5362	IPCC
เบนซิน	L	2.1896	IPCC
ก๊าซโซฮอลล์ (Gasohol)95	L	2.0999	IPCC

ตารางที่ 3.3 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการเดินทางด้วยรถประเภทต่างๆ (องค์การบริหารจัดการก๊าซ
เรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554)

ประเภทรถยนต์	เชื้อเพลิง	หน่วย	อัตราการฯ	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
รถยนต์ขนาดเล็ก (1,500 cc)	เบนซิน	km/L	17.770	กรมควบคุมมลพิษ, 2551
รถยนต์ขนาดกลาง (1,600 cc)	เบนซิน	km/L	15.238	กรมควบคุมมลพิษ, 2551
รถยนต์ขนาดกลาง (1,800 cc)	เบนซิน	km/L	13.796	กรมควบคุมมลพิษ, 2551
รถยนต์ขนาดใหญ่ (2,000 cc)	เบนซิน	km/L	12.248	กรมควบคุมมลพิษ, 2551
รถยนต์เฉลี่ยทุกขนาด	เบนซิน	km/L	14.763	กรมควบคุมมลพิษ, 2551
รถกระบะบรรทุกทุกเฉลี่ย	ดีเซล	km/L	6.369	American Petroleum Institute, 2004
รถกระบะส่วนบุคคล ขนาด 1 ตัน	ดีเซล	km/L	11.111	American Petroleum Institute, 2004
รถ NGV	CNG	km/kg	11.905	American Petroleum Institute, 2004
รถ LPG	LPG	km/L	8.929	American Petroleum Institute, 2004
รถตู้โดยสาร	ดีเซล	km/L	10.204	American Petroleum Institute, 2004
รถโดยสารประจำทาง	ดีเซล	km/L	2.850	American Petroleum Institute, 2004
รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ เครื่องยนต์ขนาด เล็กกว่า 125 cc	เบนซิน	km/L	36.625	กรมควบคุมมลพิษ, 2551
รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ เครื่องยนต์ขนาด 125 cc	เบนซิน	km/L	38.655	กรมควบคุมมลพิษ, 2551
รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ เครื่องยนต์ขนาด 120 cc	เบนซิน	km/L	37.245	กรมควบคุมมลพิษ, 2551
รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ เครื่องยนต์ขนาด 150 cc	เบนซิน	km/L	27.625	กรมควบคุมมลพิษ, 2551
รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ เฉลี่ยทุกขนาด	เบนซิน	km/L	37.640	กรมควบคุมมลพิษ, 2551
รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ เฉลี่ยทุกขนาด	เบนซิน	km/L	32.435	กรมควบคุมมลพิษ, 2551

สำหรับสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ มี 2 ชนิด ได้แก่ (1) R-22 (HCFC-22) และ (2) R-134 สำหรับ
การคำนวณหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกจะใช้ EF แบ่งตามชนิดของสารทำความเย็นดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามชนิดของสารทำความเย็น (องค์การบริหาร
จัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554)

ชื่อ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก (kgCO ₂ e/kg)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
R-22 (HCFC-22)	kg	1810	World Meteorological Org, 2006
R-134 (HFC-134A)	kg	1300	IPCC

สำหรับการใช้ปุ๋ยเคมีใน มจธ. แบ่งออกเป็น 5 ชนิด ได้แก่ (1) ปุ๋ยไนโตรเจน (2) ปุ๋ยฟอสฟอรัส (3) ปุ๋ยโพ-
แตสเซียม (4) ปุ๋ยอินทรีย์ (จี้ไก่แห้ง) และ (5) ปุ๋ยยูเรีย (รวม N₂O แล้ว) จะใช้ EF โดยแบ่งตามชนิดของปุ๋ยดัง
ตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามชนิดของปุ๋ยเคมี (องค์การบริหารจัดการ
ก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2557)

ชื่อ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ เรือนกระจก (kgCO ₂ e/kg)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ปุ๋ยไนโตรเจน (Fertilizer N)	kg	2.6000	Japan CF
ปุ๋ยฟอสฟอรัส (Fertilizer P)	kg	0.2520	Japan CF
ปุ๋ยโพแตสเซียม (Fertilizer K)	kg	0.1600	Japan CF
ปุ๋ยอินทรีย์ (จี้ไก่แห้ง)	kg	0.1097	Ecoinvent 2.0
ปุ๋ยยูเรีย รวม N ₂ O แล้ว	kg	5.5300	Ecoinvent 2.0

สำหรับการใช้สารเคมีในห้องปฏิบัติการและโรงประลองที่ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ มจร. มีทั้งหมด 41 ชนิด จะใช้ EF โดยแบ่งตามชนิดของสารเคมีดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสารเคมี (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554)

ชื่อ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e/kg)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
Acetaldehyde	kg	0.8749	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Acetic acid	kg	0.9321	Acetic acid ของ JEMAI Pro
Acrylic acid	kg	1.4100	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
Alcohol	kg	1.2600	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP
Ammonia (Solution)	kg	0.5971	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Ammonium sulphate	kg	2.8300	CFP EF Data v.2.01 ของประเทศญี่ปุ่น
Benzene	kg	1.0103	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Calcium Carbonate	kg	0.3279	CFP EF Data v.2.01 ของประเทศญี่ปุ่น
Calcium chloride	kg	3.4461	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Carbon Tetrachloride	kg	2.1008	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Citric acid	kg	1.5800	Acetic acid, 98% in H ₂ O, at plant/kg/RER, ECOINVENT 2.0
Dimethylformamide	kg	2.3100	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 GWP 100a
Ethanol	kg	6.5236	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Ethyl Acetate	kg	2.8800	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 (Ethyl Acetate, at plant/RER U)

ตารางที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสารเคมี (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554) (ต่อ)

ชื่อ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e/kg)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
Ethylene Glycol	kg	0.7380	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Hydrochloric acid	kg	5.2626	HCL 100% ของ JEMAI Pro
Hydrofluoric acid	kg	1.2910	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Hydrogen peroxide	kg	5.3023	CFP EF Data v.2.01 ของประเทศญี่ปุ่น
Magnesium	kg	13.1105	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Methyl Iso Butyl Ketone	kg	1.7800	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
Nitric acid	kg	0.3230	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Pentane	kg	1.9627	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Phenol	kg	0.9813	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Potassium carbonate	kg	0.0027	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Potassium hydroxide	kg	5.9653	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Silver	kg	0.5236	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Sodium acetate	kg	2.1687	คำนวณจากปฏิกิริยาเคมี : $C_2H_4O_2 + NaOH \rightarrow NaO_2CCH_3 + H_2O$

ตารางที่ 3.6 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสารเคมี (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554) (ต่อ)

ชื่อ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e/kg)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
Sodium bicarbonate	kg	0.8921	CFP EF Data v.2.01 ของประเทศไทย
Sodium bisulphite	kg	1.4400	Sulphite, at plant/RER U, ECOINVENT 2.0
Sodium carbonate	kg	1.1900	ECOINVENT 2.0
Sodium chlorate	kg	2.7248	CFP EF Data v.2.01 ของประเทศไทย
Sodium hydroxide	kg	1.0377	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Sodium hypochlorite	kg	0.3249	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Sodium persulfate	kg	1.3400	Sodium persulfate, at plant/GLO S, ECOINVENT 2.0
Sodium sulphate	kg	0.4740	ECOINVENT 2.0
Sulfur	kg	0.4483	Thai LCI data
Sulfuric acid	kg	0.1380	Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U, ECOINVENT 2.0
Titanium Dioxide	kg	5.0500	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
Toluene	kg	1.0110	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Urea	kg	0.6852	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
Zinc	kg	3.0964	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid

สำหรับวัสดุสำนักงานประกอบด้วย 4 ประเภทคือ (1) กระดาษ A4 (2) กระดาษชำระ (3) ถูขยยะ และ (4) หมึกพิมพ์ (ตลับ) จะใช้ EF โดยแบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามชนิดของวัสดุสำนักงาน (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2554)

ชื่อ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e/kg)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
กระดาษ A4	kg	0.7350	IPCC
กระดาษชำระ	kg	1.4755	IPCC
ถุงขยะ	kg	1.5200	IPCC
หมึกพิมพ์	kg	2.500	IPCC

สำหรับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขยะและของเสียจะใช้ EF ของขยะประเภทอื่นๆ เนื่องจาก มจร. ยังไม่มีการแยกประเภทขยะและของเสีย ส่วนการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากการรีไซเคิลขยะสามารถแยกได้ 5 ประเภท ได้แก่ (1) กระดาษ (2) แก้ว (3) พลาสติก (4) โลหะ และ (5) ขยะประเภทอื่นๆ โดยค่า EF จะแบ่งตามชนิดของขยะ ดังแสดงตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามชนิดของขยะ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2557)

ชื่อ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e/kg)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
กระดาษ	kg	0.7350	SimaPro
แก้ว	kg	1.1870	JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
พลาสติก	kg	3.7700	Ecoinvent 2.0
โลหะ	kg	4.4315	Jap Supplier, G2G cal. by JEMAI Pro
ขยะประเภทอื่นๆ	kg	2.3200	ขยะแบบต้น IPCC

3.3 การคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

จากข้อมูลกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกข้างต้น สามารถสรุปวิธีคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ มจร. โดยแบ่งตามขอบเขต ได้ดังตารางที่ 3.9 ส่วนการดูคกกลับก๊าซเรือนกระจกของ มจร. จากการรีไซเคิลขยะ สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.9 ตารางสรุปวิธีคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ขอบเขต	กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	หน่วย	วิธีการคำนวณ
1	การเดินทางภายในและภายนอก ด้วยยานพาหนะองค์กร	L	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ($\text{kgCO}_2\text{e/L}$)
	การใช้สารดับเพลิง	kg	ปริมาณสารทำความเย็น x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของสารดับเพลิง ($\text{kgCO}_2\text{e/kg}$)
	การใช้สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	kg	ปริมาณสารทำความเย็น x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของสารทำความเย็น ($\text{kgCO}_2\text{e/kg}$)
	การใช้ปุ๋ยเคมี	kg	ปริมาณปุ๋ยเคมีที่มีการใช้จริง x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทและสูตรของปุ๋ยที่ใช้ ($\text{kgCO}_2\text{e/kg}$)
2	การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากภายนอก	kWh	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไฟฟ้า (กฟน.) ($\text{kgCO}_2\text{e/kWh}$)
3	การเดินทางทางไป-กลับของบุคลากร	L หรือ kg	(1) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ($\text{kgCO}_2\text{e/หน่วย}$) (2) (ระยะทาง/อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ($\text{kgCO}_2\text{e/หน่วย}$)

ตารางที่ 3.9 ตารางสรุปวิธีคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ต่อ)

ขอบเขต	กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	หน่วย	วิธีการคำนวณ
3	การใช้สารเคมีเพื่อกิจกรรมการเรียนการสอน	kg	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของสารเคมี (kgCO ₂ e/kg)
	การใช้น้ำประปา	m ³	ปริมาณน้ำประปาใช้ x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำประปา (กปน.) (kgCO ₂ e/m ³)
	การใช้วัสดุสำนักงาน	kg	ปริมาณวัสดุสำนักงานที่ใช้ x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทของวัสดุ (kgCO ₂ e/kg)
	ขยะและของเสีย และน้ำเสีย	kg	ปริมาณขยะและของเสีย x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e/kg) และปริมาณน้ำเสีย x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทของการบำบัดน้ำเสีย (kgCO ₂ e/kg)

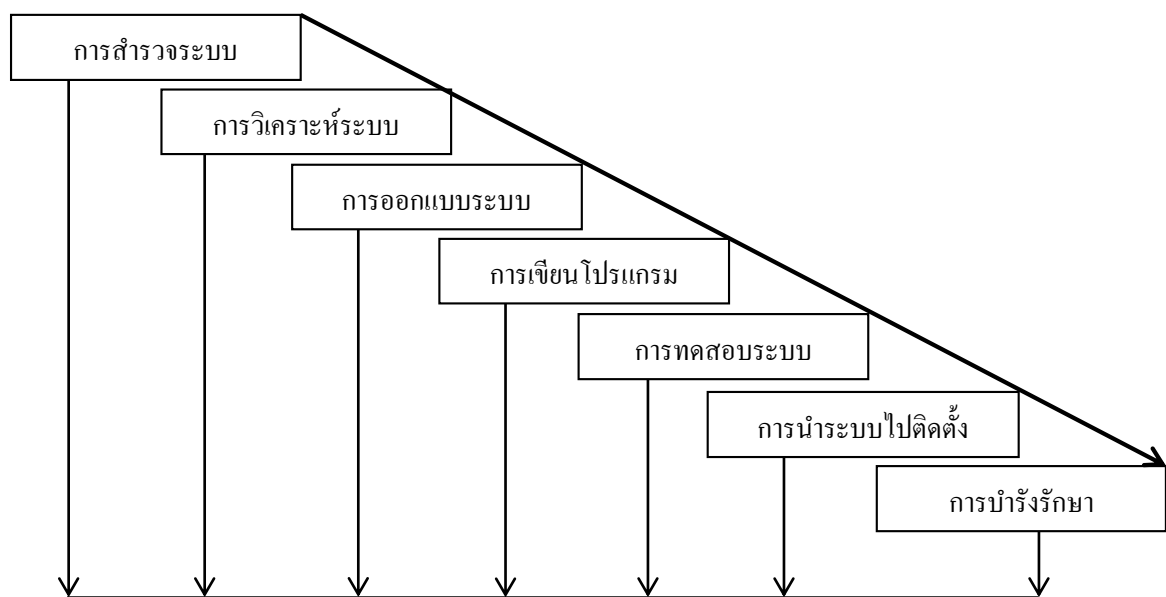
ตารางที่ 3.10 การคำนวณการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากขยะรีไซเคิล

กิจกรรมการดูดกลับก๊าซเรือนกระจก	หน่วย	วิธีการคำนวณ
ขยะรีไซเคิล	kg	ปริมาณขยะรีไซเคิล x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของขยะ (kgCO ₂ e/kg)

3.4 การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3.4.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือ

การพัฒนาเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ มจร. ใช้ระบบการออกแบบและพัฒนาแบบวงจรชีวิต (System Development Life Cycle: SDLC) โดยดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน และอาจจะดำเนินการย้อนกลับไปได้ตามความจำเป็น ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาระบบงาน 7 ขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการพัฒนาระบบงาน

(1) การสำรวจระบบ (System Investigation)

ในแต่ละหน่วยงานใน มจร. มีการจัดเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน เช่น เก็บเป็นแฟ้มเอกสาร (Hard File) เก็บเป็นไฟล์เอกสารเอกเซล เป็นต้น หรือเก็บแบบออนไลน์ เป็นต้น โดยมีการเก็บข้อมูลทั้งเป็นรายเดือน รายปี หรือรายครึ่ง เช่น การเดินทาง เป็นต้น ดังนั้นข้อมูลจึงกระจัดกระจาย จึงยากต่อการนำข้อมูลกิจกรรมต่าง ๆ มาคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ อีกทั้งข้อมูลส่วนใหญ่ถูกรวบรวมเป็นรายปีพุทธศักราช แต่มีบางข้อมูลถูกรวบรวมเป็นปีงบประมาณ เช่น ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า ดังนั้นปัญหาที่สำคัญคือการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถเข้ากับโปรแกรมได้

(2) การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ปัญหาขององค์กรซึ่งจะแก้ไขโดยระบบสารสนเทศ ขั้นตอนนี้จะเกี่ยวข้องกับการระบุปัญหาขององค์กร สาเหตุของปัญหา การแก้ปัญหา และระบุความต้องการสารสนเทศ

(3) การออกแบบระบบ (System Design)

การออกแบบระบบจะเป็นการออกแบบการทำงานของเครื่องมือฯ และขั้นตอนการทำงานของระบบ ซึ่งมีการทำงานดังนี้

3.1) การออกแบบเครื่องมือจะเริ่มตั้งแต่หน้าจอหลัก โดยสำหรับการเข้าสู่ระบบ โดยกรอกชื่อผู้ใช้งาน และรหัสผ่าน

3.2) การออกแบบข้อแนะนำการใช้เครื่องมือ เพื่อบอกวัตถุประสงค์และอธิบายวิธีการใช้งานเครื่องมือ

3.3) การเลือกปี พ.ศ. ที่จะกรอกข้อมูล จำนวนบุคลากร และนักศึกษา

3.4) การออกแบบกรอกข้อมูลกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยแบ่งออกเป็น 9 หมวด ดังนี้ ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ข้อมูลการใช้น้ำประปา ข้อมูลการเดินทาง ข้อมูลการใช้วัสดุสำนักงาน ข้อมูลการใช้สารเคมี การใช้สารดับเพลิง ข้อมูลการใช้สารทำความเย็น ข้อมูลการใช้ปุ๋ยเคมี และข้อมูลขยะและของเสีย รวมไปถึงกรอกกิจกรรมการดูดกลับก๊าซเรือนกระจก คือการรีไซเคิลขยะ

3.5) ออกแบบแบบสอบถามการเดินทางไปและกลับของบุคลากร เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลกิจกรรมการเดินทางของบุคลากร โดยสามารถดาวน์โหลดได้

3.6) ออกแบบรายงานสรุปผลเป็นกราฟ และมีหน่วยเป็น CO_2 เพื่อให้งานต่อการแปลความหมายของปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ คือรายงานการสรุปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายปี รายงานการสรุปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายเดือน รายงานการสรุปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายปีเปรียบเทียบกับบุคลากร รายงานการสรุปปริมาณการปล่อยเปรียบเทียบกับ การดูดกลับก๊าซเรือนกระจกสุทธิ

(4) การเขียนโปรแกรม (Programming)

การเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษา PHP เป็นภาษาในการแปลงเป็นรหัสคอมพิวเตอร์ (Computer code) และใช้ MySQL เป็นฐานข้อมูล เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถคำนวณได้ ซึ่งจากการออกแบบระบบจะกล่าวถึงในบทที่ 4

(5) การทดสอบ (Testing)

การทดสอบเพื่อหาข้อผิดพลาดจะทำในขณะที่เขียนโปรแกรม โดยการทดลองกรอกข้อมูล เพื่อดูว่าเครื่องมือสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

(6) การนำระบบไปติดตั้ง (Implementation)

การติดตั้งระบบจะเป็นแบบเปลี่ยนทั้งหมด (Direct Conversion) เนื่องจากเป็นระบบใหม่ โดยการลงไว้ที่เซิร์ฟเวอร์ (Server) ของมหาวิทยาลัย เพื่อให้หน่วยงานที่รับผิดชอบสามารถใช้งานได้สะดวก

(7) การดำเนินการและการบำรุงรักษา

เมื่อมีการติดตั้งระบบใหม่ จำเป็นต้องมีการทดสอบการใช้งานและตรวจความถูกต้องของโปรแกรม (Debugging the program) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องทำต่อเนื่องไปตลอดอายุของระบบ

3.4.2 เกณฑ์และความต้องการ (Criteria and System requirement)

จากการปรึกษากับเจ้าหน้าที่ศูนย์การจัดการด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และอาชีวอนามัย (Energy Environmental Safety and Health: EESH) และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องสำหรับการพัฒนาเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ควรมีเกณฑ์และความต้องการของระบบดังนี้

(1) มีความปลอดภัยในการจัดเก็บข้อมูล

(2) ใช้งานง่าย (User Friendly) สามารถเข้าใช้งานผ่าน Web Browser ได้จากทุกที่ สามารถลดเวลาในการเก็บข้อมูล และลดเวลาในการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยได้

(3) มีระบบตรวจเช็คความถูกต้อง (Verify Accuracy) สำหรับการกรอกของข้อมูล

(4) การแสดงผลต้องมีรายงานสรุป ความถูกต้อง และรวดเร็ว โดยการแสดงผลปริมาณก๊าซเรือนกระจกเป็นกราฟ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างคณะ หรือเรียกดูปริมาณก๊าซเรือนกระจกแบบรวมทั้งมหาวิทยาลัยได้

3.4.3 การออกแบบเชิงตรรกะ (Logic Design)

สำหรับการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือ ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนวิธี กระบวนการทำงานของเครื่องมือ และส่วนติดต่อผู้ใช้งาน เพื่อให้สอดคล้องกับความเกณฑ์และความต้องการของเครื่องมือ ดังนี้

(1) ระบบล็อกอิน (Login) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ สำหรับผู้ดูแลระบบ (Administrator) และสำหรับสมาชิก ซึ่งสามารถจัดการข้อมูล เพิ่ม และลบข้อมูลได้ โดยที่ผู้ดูแลระบบจะเป็นผู้กำหนดชื่อผู้ใช้งาน และรหัสผ่านให้แก่สมาชิกเท่านั้น

(2) การเข้าใช้งาน ผู้ใช้งานเครื่องมือสามารถทำได้โดยใช้ Web Browser จากเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดยกรอกเฉพาะข้อมูลปริมาณกิจกรรม (Activity Data) จากนั้นเครื่องมือจะคำนวณหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้

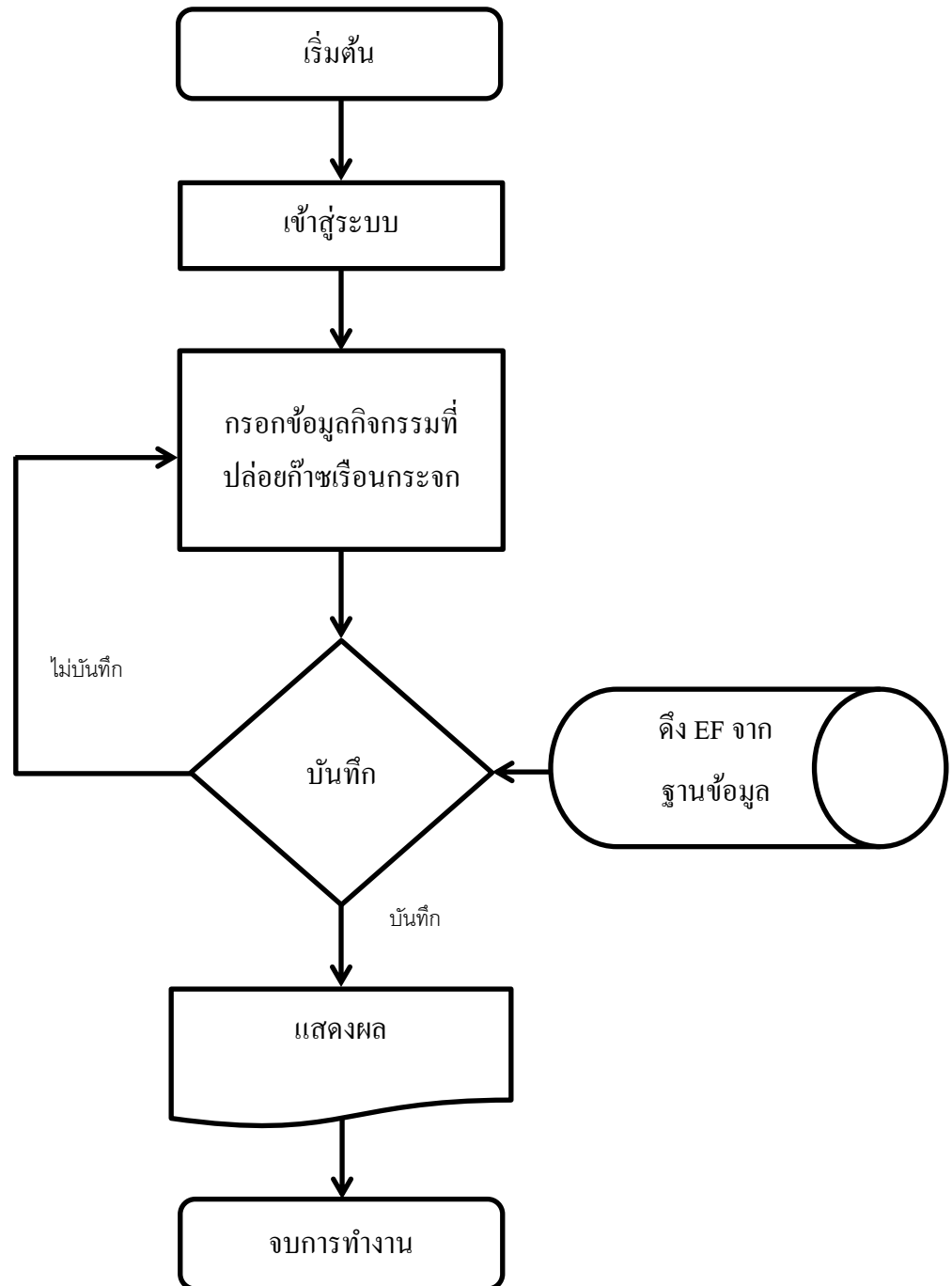
(3) การแสดงผลจะใช้กราฟในการแสดงผล เพื่อให้เข้าใจง่าย และสามารถนำไปใช้งานได้

3.4.4 การออกแบบเชิงกายภาพ (Physical Design)

การออกแบบเชิงกายภาพประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

(1) การออกแบบหน้าเว็บเพจ ประกอบด้วย หน้าจอหลัก การเข้าสู่ระบบ แนะนำการใช้งาน การคำนวณและหน้าแสดงผลการคำนวณ

(2) การออกแบบขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือ ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยเริ่มทำงานจากหน้าเริ่มต้นเพื่อเข้าหน้าเว็บเพจหลักหรือหน้าแรก จากนั้นเมื่อเข้าสู่ระบบโดยการกรอกชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่าน กรอกข้อมูลกิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อคำนวณ และบันทึกข้อมูล จากนั้นระบบจะทำการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยการดึงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF) จากฐานข้อมูลมาคำนวณ และแสดงผลปริมาณก๊าซเรือนกระจก และจบการทำงานเป็นการสิ้นสุดการใช้งานของเครื่องมือ



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องมือ

3.5 การทดสอบการใช้งาน

การทดสอบการใช้งานของเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องมือ จำเป็นต้องอาศัยนักพัฒนาระบบ นักวิเคราะห์ระบบ และผู้ใช้งานเป็นผู้ทดสอบ เริ่มจากการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการทำงาน โดยการลองป้อนปริมาณกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ มจร. ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2556 ที่ได้จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นมาคำนวณในเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เปรียบเทียบผลกับการคำนวณในโปรแกรมเอกเซล พร้อมทั้งสำรวจความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการใช้แบบสอบถาม ดังที่แสดงในภาคผนวก ก โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับสถานภาพส่วนบุคคล โดยให้ประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างตอบตามความเป็นจริงของแต่ละคน

ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามความพึงพอใจของการใช้เครื่องมือ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนคำตอบดังนี้

ระดับความพอใจในระดับดีมากให้	5	คะแนน
ระดับความพอใจในระดับดีให้	4	คะแนน
ระดับความพอใจในระดับปานกลางให้	3	คะแนน
ระดับความพอใจในระดับน้อยให้	2	คะแนน
ระดับความพอใจในระดับน้อยที่สุดให้	1	คะแนน

นำค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ประเมินผลที่กำหนดไว้ ซึ่งเกณฑ์การแปลความหมายเพื่อจัดระดับคะแนนเฉลี่ยในช่วงคะแนนมีดังต่อไปนี้ (ศูนย์บริการสื่อสารการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์, 2558)

คะแนนเฉลี่ย 4.51 - 5.00 แปลความว่าระดับความพอใจมากที่สุด
คะแนนเฉลี่ย 3.51 - 4.50 แปลความว่าระดับความพอใจมาก
คะแนนเฉลี่ย 2.51 - 3.50 แปลความว่าระดับความพอใจปานกลาง
คะแนนเฉลี่ย 1.51 - 2.50 แปลความว่าระดับความพอใจน้อย
คะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.50 แปลความว่าระดับความพอใจน้อยที่สุด

ส่วนที่ 3 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ โดยให้ประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างเขียนเชิงพรรณนาตามความเป็นจริงและความคิดของแต่ละคน เพื่อนำมาปรับปรุงเครื่องมือต่อไป