การศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เหมาะสมสำหรับ กรณีศึกษา ข้าวหลามหนองมน

คุนัญญา ทัดเทียมพร

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ตุลาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ คุนัญญา ทัดเทียมพร ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)

..... กรรมการ
(ดร. ภาณุวัฒน์ ด่านกลาง)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 6 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี โดยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน เอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ กรรมการสอบงานนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์ และดร. ภาณุวัฒน์ ด่านกลาง ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ตรวจแก้ไขและวิจารณ์ ทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ไพบูลย์ ลิ้มปิติพานิชย์ ที่ให้คำแนะนำการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิจัยให้งานวิจัยมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น และขอขอบคุณ คุณวสุรี ฐิติวร ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้งขอขอบพระคุณ ศูนย์ LCM ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับการติดต่อประสานขอใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro จากต่างประเทศให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อยงยุทธ คุณแม่จรินทร์ ทัดเทียมพร คุณยาย คุณย่า และพี่ ๆ น้อง ๆ ในครอบครัวทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่ บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณปรีชาพล โยธาศิริ คุณกฤษรัตน์ มงคลธนชัย คุณชัยวัฒน์ โฆษิตชัยมงคล และคุณวัชรากร กล้าหาญ รวมทั้งพี่ ๆ เพื่อน ๆ ในสาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในการทำงานนิพนธ์จนเสร็จสิ้นไปด้วยดี คุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้เป็นแนวทางการศึกษาเพื่อให้มีการวิจัยและพัฒนาต่อยอดทำให้เกิดประโยชน์ต่อไป

คุนัญญา ทัดเทียมพร

57920731: สาขาวิชา: การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม; วศม. (การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์/ การประเมินวัฏจักรชีวิต/ ข้าวหลามหนองมน

คุนัญญา ทัดเทียมพร: การศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษา ข้าวหลามหนองมน (A STUDY ON THE METHODS TO ASSESS THE CARBON FOOTPRINT APPROPRIATELY FOR THE CASE STUDY OF NONG-MON STICKY RICE IN BAMBOO) ณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์ ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ, ปร.ด., 112 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น จากการเลือกใช้วิธีการเพื่อประเมินปริมาณปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทั้งวัฏจักรชีวิตในรูปแบบของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนจาก 3 วิธีการเผา คือ การเผาข้าวหลามแบบลาน การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG และการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล โดยทำการประเมินกระบวนการหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (PCA) แล้วนำข้อมูลที่ได้มาประเมินด้วยฐานข้อมูลที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ 1) บัญชีฐานข้อมูล Inventory data ของประเทศไทย (PCA-TGO) 2) วิธีวิเคราะห์แบบ Input-Output Analysis (Combined PCA-IOA) และ 3) การประเมินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a ซึ่งผลที่ได้จะอยู่ในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อผลิตภัณฑ์ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร) ผลการประเมินพบว่า ปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาก๊าซ LPG โดยใช้การประเมินแบบ PCA-TGO มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 184.88 $kgCO_{2eq}$/ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร และปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล โดยใช้การประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a มีค่าเท่ากับ 38.32 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด โดยสิ่งที่ทำให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ค่าที่แตกต่างกัน มาจากแหล่งที่มาของฐานข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลจากรูปแบบการประเมินต่าง ๆ ร่วมกัน เพื่อให้เกิดความถูกต้องและแม่นยำของผลการประเมิน อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์มากกว่าการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลของรูปแบบการประเมินใดประเมินหนึ่งมาใช้ในการประเมิน

57920731: MAJOR: ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT; M.Eng. (ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT)
KEYWORDS: CARBON FOOTPRINT/ LIFE CYCLE ANALYSIS/ STICKY RICE IN BAMBOO

KUNUNYA TADTIEMPORN: A STUDY ON THE METHODS TO ASSESS THE CARBON FOOTPRINT APPROPRIATELY FOR THE CASE STUDY OF NONG MON STICKY RICE IN BAMBOO. ADVISORY COMMITTEE: PAWINEE SUKSUNTORNSIRI, Ph.D., 112 P. 2017.

This study has the objectives in studying the occurring problems and obstacles from selecting the method to assess the amount of greenhouse gas emission from the life cycle analysis in terms of Carbon Footprint for the products of Nong-Mon sticky rice in bamboo from 3 different baking methods; sticky rice in bamboo produced by land baking, sticky rice in bamboo produced from LPG oven and sticky rice in bamboo produced from the biomass oven. The assessment is done on the main processes by using the principal component analysis (PCA) and assessing the data with the database differently in 3 forms; 1) Inventory data of Thailand (PCA-TGO), 2) Input-Output Analysis (Combined PCA-IOA), and 3) assessment with ready-made computer program SimaPro. The assessment method of IPCC 2007 GWP 100a gives the result in the unit of kilogram carbon dioxide equivalent per unit of glutinous rice of 10 liters ($kgCO_2eq$/ glutinous rice of 10 liters). The assessment results reveal that the amount of Carbon Footprint of sticky rice in bamboo produced from LPG oven using the assessment of PCA-TGO gives the highest value of 184.88 $kgCO_2eq$/ glutinous rice of 10 liters and the amount of Carbon Footprint sticky rice in bamboo produced from the biomass oven using the assessment of SimaPro, assessment method of IPCC 2007 GWP 100a equaling 38.32 $kgCO_2eq$/ glutinous rice of 10 liters which is the least value. The thing causing the Carbon Footprint value to be different is from the different sources of data base. Therefore, the application of database from different assessment is done altogether to create the correctness and the accuracy of assessment. This is possibly the choice suitably for the assessment of Carbon Footprint of the products rather than applying the data from the database of assessment method to be used in the assessment.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
ขอบเขตการวิจัย 6
วิชาในหลักสูตรที่นำความรู้มาใช้ในการศึกษาหัวข้อนี้ 6
นิยามศัพท์เฉพาะ 6
2 ทฤษฎี วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 7
ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก 7
การประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 8
การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ 9
การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) 10
การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ 11
การประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยวิธีการประเมิน วิธีวิเคราะห์ระบบทางพลังงาน 13
การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ PROCESS CHAINS ANALYSIS (PCA) 15
การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ INPUT-OUTPUT ANALYSIS (IOA) 15

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ PROCESS CHAINS ANALYSIS (PCA) ร่วมกับ INPUT-OUTPUT ANALYSIS (IOA) 16

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro 16

ข้าวหลามหนองมน 23

เตาเผาข้าวหลามชีวมวล 24

พลังงานและเชื้อเพลิง 26

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27

3 ขั้นตอนการดำเนินงาน 31

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาของกรณีศึกษา 34

การผลิตข้าวหลามหนองมน 35

วิธีการเผาที่ 1 การเผาข้าวหลามแบบดั้งเดิม หรือการเผาแบบลาน 36

วิธีการเผาที่ 2 การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซหุงต้ม (ก๊าซ LPG) 38

วิธีการเผาที่ 3 การเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล 40

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำบัญชีรายการข้อมูล 42

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตข้าวหลามหนองมน .. 47

การแปลผล 54

4 ผลการศึกษา 58

ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของข้าวหลามหนองมน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร 60

การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 71

การเปรียบเทียบรูปแบบการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 76

5 สรุปผลการศึกษา 78

ข้อเสนอแนะ 80

บรรณานุกรม 82

ภาคผนวก 85

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ภาคผนวก ก 86

ภาคผนวก ข 92

ประวัติย่อของผู้วิจัย 112

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ข้อมูลค่า Global Warming Potential (GWP) ของตัวอย่างก๊าซเรือนกระจก 3 ชนิด	8
3-1	รายละเอียดของข้าวหลามหนองมน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร	34
3-2	ปริมาณวัตถุดิบและราคาของวัตถุดิบข้าวหลามหนองมน จำนวน 143 กระบอก	42
3-3	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างโรงเผาข้าวหลาม	43
3-4	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาข้าวหลามแบบลาน	44
3-5	ปริมาณวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาข้าวหลามโดยใช้ก๊าซ LPG	44
3-6	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเตาเผาข้าวหลามโดยใช้ก๊าซ LPG	45
3-7	ปริมาณวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาข้าวหลามเชื้อเพลิงชีวมวล	46
3-8	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเตาเผาข้าวหลามแบบเชื้อเพลิงชีวมวล	47
3-9	ค่า CO_2 Emission Factor ของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการ	47
3-10	ค่า CO_2 Emissions Intensity ปี 2558 ของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการ	50
3-11	การเลือกใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 8.2	52
4-1	ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวเหนียว	61
4-2	ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของส่วนผสมเพิ่มเติม	62
4-3	ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกะทิ	63
4-4	ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนของกระบอกไม้ไผ่	65
4-5	ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตเตาเผาข้าวหลามแบบลาน	66
4-6	ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตเตาเผาข้าวหลาม โดยใช้ก๊าซ LPG	67
4-7	ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตเตาเผาข้าวหลามชีวมวล	68
4-8	ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในการเผาข้าวหลาม	70
4-9	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลาน	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-10 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG 73

4-11 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล 75

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	การเผาข้าวหลามการเผาแบบดั้งเดิม (แบบลาน)	3
1-2	การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซหุงต้ม (ก๊าซ LPG)	3
1-3	เตาเผาข้าวหลามแบบเชื้อเพลิงชีวมวลรุ่นที่1 (ขวา) เตาเผาข้าวหลามแบบเชื้อเพลิงชีวมวลรุ่นที่ 2 (ซ้าย)	4
1-4	เตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 3	4
2-1	เครื่องหมายฉลากเขียว	10
2-2	ขั้นตอนการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	13
2-3	แผนผังแบบจำลองเส้นทางการไหล ในระบบทางพลังงาน	14
2-4	โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro	17
2-5	หน้าแรกของโปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.2	18
2-6	การสร้าง New Project	19
2-7	การกรอกข้อมูลรายละเอียดเบื้องต้นของProject	19
2-8	การสร้าง Process ของ Project	20
2-9	การป้อนข้อมูล Input/ Output	20
2-10	การสร้างเครือข่าย	21
2-11	เครือข่ายของ Process	21
2-12	การวิเคราะห์ข้อมูล	22
2-13	การเลือกวิธีวิเคราะห์ข้อมูล	22
2-14	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	23
3-1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	33
3-2	ขนาดข้าวหลามหนองมน	34
3-3	กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลาน	36
3-4	กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลานในรูปแบบเส้นทาง TES	37
3-5	กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-6 กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG ในรูปแบบเส้นทาง TES 39

3-7 กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยเตาเผาข้าวหลามชีวมวล 40

3-8 กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยเตาเผาข้าวหลามชีวมวลในรูปแบบเส้นทาง TES 41

3-9 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนด้วย 3 รูปแบบการประเมิน ... 55

3-10 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน วิธีการเผาแบบลาน 55

3-11 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน วิธีการเผาในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG 56

3-12 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน วิธีการเผาในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล 57

4-1 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนจาก 3 วิธีการเผาด้วย 3 รูปแบบการประเมิน 59

4-2 การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามชีวมวล 72

4-3 การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG 74

4-4 การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล 76

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint: CFP) เป็นวิธีหนึ่งในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ของผลิตภัณฑ์ โดยจะแสดงผลออกมาเป็นข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการจัดการซากหลังใช้งาน ตามหลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554) ซึ่งจะคำนวณออกมาในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$)

โดยประเทศไทยได้มีการเริ่มประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ เพื่อจัดทำเป็นฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับติดบนผลิตภัณฑ์สินค้าต่าง ๆ ซึ่งมีวิธีการประเมิน คือ จำแนกกระบวนการหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (Process chains analysis: PCA) แล้วนำข้อมูลที่ได้มาประเมินกระบวนการต้นน้ำด้วยฐานข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ 1) บัญชีฐานข้อมูลกระบวนการต้นน้ำ (Inventory data) ของประเทศไทยที่จัดทำขึ้นโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (Thailand greenhouse gas management organization (Public organization) or TGO) เพื่อให้ความสะดวกในการใช้คำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยการเลือกใช้ค่าจากบัญชีฐานข้อมูลกระบวนการต้นน้ำ ซึ่งข้อจำกัดของบัญชีฐานข้อมูลนี้ คือ บางรายการมีการประเมินไม่ครบทั้งวัฏจักรชีวิตของกระบวนการต้นน้ำ บางรายการมีการตัดขั้นตอนบางขั้นตอนออก หรือบางรายการมีการนำข้อมูลจากต่างประเทศมาใช้ อาจส่งผลต่อผลการคำนวณ 2) การใช้ฐานข้อมูลกระบวนการต้นน้ำที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Input-Output analysis (IOA) ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณในรูปแบบของมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของทุกภาคส่วนของระบบเศรษฐกิจทั้งหมด ทำให้ครอบคลุมขั้นตอนการผลิตทุกขั้นตอน และสามารถคำนวณได้ถึงกระบวนการที่ไม่ใช่วัสดุหรือพลังงาน เช่น ค่าบริการต่าง ๆ อีกด้วย แต่มีข้อจำกัด คือ เป็นค่าเฉลี่ยจากภาคธุรกิจของสินค้า ที่อาจมีการผลิตสินค้าหลายชนิดมาใช้ในการคำนวณ อาจทำให้ผลการคำนวณที่ได้มีความคลาดเคลื่อน และฐานข้อมูลในตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (I-O Table) มีการกำหนดระยะเวลาเลือกใช้ จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ให้ตรงตามระยะเวลา ซึ่งจะสิ้นสุดในปี ค.ศ. 2020 และ 3) การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro ที่ถูกผลิตและพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Pre’ Consultants ประเทศเนเธอร์แลนด์ มาวิเคราะห์

ข้อมูลกระบวนการต้นน้ำ ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด เพราะมีข้อดี คือ เป็นโปรแกรมที่มีการเก็บรวบรวมฐานข้อมูลกระบวนการต้นน้ำไว้หลากหลายสาขาผลิต และมีวิธีการคำนวณที่หลากหลาย เช่น EDIP 2003, Eco-indicator 99, IPCC 2007 GWP 100a เป็นต้น ซึ่งจะนำเสนอในบทที่ 2 ต่อไป แต่การใช้โปรแกรม SimaPro มีข้อจำกัดอยู่ที่ฐานข้อมูลที่ถูกบรรจุไว้เป็นฐานข้อมูลที่ถูกประเมินในต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ หรือเป็นฐานข้อมูลเฉลี่ยของทั้งโลก ทำให้ต้องมีการเลือกฐานข้อมูลที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์นำมาประเมินให้มากที่สุด จึงนำไปสู่การนำวิธีการประเมินทั้ง 3 รูปแบบมาใช้ศึกษาและเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้น เพื่อหาปัญหาและอุปสรรคในการนำฐานข้อมูลกระบวนการต้นน้ำมาใช้ในการประเมิน เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจเลือกใช้วิธีการประเมินให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาในประเทศไทย ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ถูกเลือกมาใช้เป็นกรณีศึกษาในครั้งนี้ คือ ข้าวหลามหนองมน

ข้าวหลามหนองมนเป็นสินค้าขึ้นชื่อของตลาดหนองมน ในพื้นที่เทศบาลเมืองแสนสุข จังหวัดชลบุรี ที่นิยมทั้งชาวไทย และชาวต่างชาติ เพราะมีรสชาติอร่อย หวาน หอม มัน เค็ม ข้าวเหนียวนุ่ม ชุ่มด้วยกะทิ กรอกอยู่ในกระบอกไม้ไผ่ ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการเผาข้าวหลาม 2 วิธี คือ การเผาข้าวหลามการเผาแบบลาน ใช้กาบมะพร้าว ฟืน เศษไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิง ดังภาพที่ 1-1 ในการเผา 1 ครั้ง ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร จะใช้เชื้อเพลิงจำนวน 70-80 กิโลกรัม ใช้เวลาเผาประมาณ 3 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 150-250 องศาเซลเซียส และมีต้นทุนการสร้างพื้นที่เผาอยู่ที่ 3,816 บาท (ร้านแม่นิยม, 2558) โดยข้าวหลามที่ได้จะมีกลิ่นหอมของไม้ไผ่ ส่วนการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซหุงต้ม (ก๊าซ LPG) ซึ่งเป็นการเผาในเตาเผาที่เป็นตู้สี่เหลี่ยม ด้านในมีฉนวนกันความร้อน ดังภาพที่ 1-2 มีต้นทุนในการสร้างเตา อยู่ที่ 50,000 บาท ซึ่งในการเผา 1 ครั้ง ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร จะใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG จำนวน 16 กิโลกรัม ใช้เวลาเผา 2.30-3 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิในการเผาอยู่ที่ 150-250 องศาเซลเซียส [ร้านแม่สุภา, 2558] โดยกลิ่นของข้าวหลามที่ได้จากการเผาจะไม่หอม น่ารับประมานเท่าการเผาข้าวหลามแบบลาน เนื่องจากจะไม่มีกลิ่นหอมของกาบมะพร้าวและไม้ไผ่

ภาพที่ 1-1 การเผาข้าวหลามแบบดั้งเดิม (แบบลาน)

ภาพที่ 1-2 การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซหุงต้ม (ก๊าซ LPG)

และล่าสุดปี 2558 นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา ได้มีการออกแบบ พัฒนาและปรับปรุงเตาเผาข้าวหลามแบบเชื้อเพลิงชีวมวลรุ่นที่ 1 และเตาเผาข้าวหลามแบบเชื้อเพลิงชีวมวลรุ่นที่ 2 ดังภาพที่ 1-3 เป็นเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 3 (กฤษรัตน์ มงคลธนชัย, ชัยวัฒน์ โฆษิตชัยมงคล และวัชรากร กล้าหาญ, 2558) ดังภาพที่ 1-4 เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานเตาเผาข้าวหลามต้นแบบชีวมวล ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเผาข้าวหลาม และส่งเสริมให้ชาวบ้านใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการเผาข้าวหลามแทนการใช้ก๊าซ LPG โดยเตาเผาข้าวหลามต้นแบบชีวมวลรุ่นที่ 3 นี้มีราคาลงทุนในการสร้างเตาเผาข้าวหลาม 26,459 บาท สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาข้าวหลามอยู่ที่ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าในการเผา 1 ครั้ง ปริมาณข้าวเหนียวจำนวน 10 ลิตร (ประมาณ 143 กระบอก) จะสุกภายในเวลา 110 นาที ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพียง 18 กิโลกรัม และข้าวหลามที่ได้จากการเผาแบบนี้ ยังคงรสชาติและกลิ่นหอมเหมือนกับการเผาข้าวหลามแบบลาน

ภาพที่ 1-3 เตาเผาข้าวหลามแบบเชื้อเพลิงชีวมวลรุ่นที่ 1 (ขวา) เตาเผาข้าวหลามแบบเชื้อเพลิงชีวมวลรุ่นที่ 2 (ซ้าย)

ภาพที่ 1-4 เตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 3

จากการศึกษาวิธีการเผาข้าวหลามหนองมนด้วย 3 วิธีการเผานั้น พบว่าทั้ง 3 วิธีการเผามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นทั้งทางตรง และทางอ้อม เนื่องจากกระบวนการผลิต ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบในส่วนประกอบข้าวหลาม การใช้พื้นที่ การสร้างโรงเผาข้าวหลามแบบลาน การสร้างเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG และเตาเผาข้าวหลามชีวมวล มีการใช้พลังงาน วัตถุดิบต่าง ๆ ในการสร้าง รวมไปถึงเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ ทั้งก๊าซ LPG หรือเชื้อเพลิงชีวมวล ที่มีการขนส่งจากต่างพื้นที่ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีส่วนร่วมในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยกันทั้งสิ้น

งานวิจัยนี้ จึงนำไปสู่การศึกษาปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น จากการเลือกใช้วิธีการแต่ละวิธีการเพื่อประเมินหาปริมาณปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกรณีศึกษามาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ตามมาตรฐาน ISO 14067 ด้วยวิธีการ 3 รูปแบบ คือ การประเมินกระบวนการหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (PCA) โดยใช้บัญชีฐานข้อมูล Inventory data ของประเทศไทย (TGO) ในกระบวนการต้นน้ำ (PCA-TGO) การประเมินกระบวนหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ โดยใช้ข้อมูลกระบวนการต้นน้ำที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Input-Output Analysis (Combined PCA-IOA) และการประเมินกระบวนการหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ โดยใช้ข้อมูลกระบวนการต้นน้ำ จากการประเมินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro รวมทั้งสามารถนำปัญหาและอุปสรรคที่พบ มาใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้วิธีการประเมินที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป อีกทั้งยังสามารถแสดงข้อมูลปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ข้าวหลามหนองมน จากการผลิตด้วย 3 วิธีการเผา คือ การเผาข้าวหลามแบบลาน การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG และการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล ให้กับผู้ผลิตและผู้บริโภคข้าวหลามหนองมน เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจ รวมถึงเป็นทางเลือกให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคได้มีส่วนร่วมในการช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการเลือกใช้การประเมินปริมาณ GHG จากทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) ที่ได้จากการประเมิน CFP ตามมาตรฐาน ISO 14067 ด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO แบบ Combined PCA-IOA และแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a

2. เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ด้วยวิธีต่าง ๆ ข้างต้น ในกรณีศึกษาของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมน จาก 3 วิธีการเผา คือ การเผาข้าวหลามแบบลาน การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG และการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบปัญหา และอุปสรรคที่เกิดขึ้น จากการใช้วิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วยวิธีการรูปแบบต่าง ๆ และเป็นแนวทางในการเลือกใช้วิธีการประเมินให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อื่นต่อไป

2. สามารถทราบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปล่อยออกมาตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมน จาก 3 วิธีการเผา คือ การเผาข้าวหลามแบบลานการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG และการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล และสามารถเปรียบเทียบค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้น จากวิธีการประเมินที่แตกต่างกัน

3. เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจให้กับผู้ผลิตข้าวหลามหนองมน ในการเลือกวิธีการเผาและในการเลือกบริโภคข้าวหลามหนองมนของผู้บริโภค

ขอบเขตการวิจัย

1. ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตข้าวหลามหนองมนตามมาตรฐาน ISO 14067 ด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO การประเมินแบบ Combined PCA-IOA และการประเมินด้วย SimaPro เวอร์ชั่น 8.2 วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a

2. กรณีศึกษาในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดหน่วยการศึกษา (Functional unit) คือข้าวหลามหนองมน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

3. ในกรณีศึกษานี้ ทำการประเมินตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต เชื้อเพลิงที่ใช้ในขั้นตอนการเผา การลงทุนในการผลิตตลอดจนอายุการใช้งานของเตาเผา จนได้ผลิตภัณฑ์พร้อมจำหน่าย

วิชาในหลักสูตรที่นำความรู้มาใช้ในการศึกษาหัวข้อนี้

1. Full energy chains analysis and life cycle analysis
2. Energy, the environment and climate change

นิยามศัพท์เฉพาะ

เชื้อเพลิงชีวมวล หมายถึง เชื้อเพลิงที่ได้จากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ได้แก่ เศษไม้ใผ่ กาบมะพร้าวและกะลามะพร้าว

บทที่ 2
ทฤษฎี วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก คือ ก๊าซที่มีในชั้นบรรยากาศของโลก ประกอบด้วย ไอน้ำ (H_2O) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เป็นต้น ทำหน้าที่ดูดซับแสงและความร้อนส่วนหนึ่งไว้ในโลก เพื่อทำให้ผิวโลกอบอุ่น และสะท้อนรังสีส่วนหนึ่งออกไปนอกโลก ตามปกติแล้วก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ จะมีระดับความเข้มข้นที่สมดุล ช่วยในการควบคุมให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกให้อยู่ที่ประมาณ 15 องศาเซลเซียส ต่อมามีความก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรม มนุษย์มีกิจกรรมที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกไปในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ระดับความเข้มข้นชั้นบรรยากาศสูงขึ้น ขาดความสมดุล เกิดภาวะโลกร้อน นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างรุนแรง

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก มีปริมาณมากถึง 80% ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ในรูปแบบของการเผาไหม้ต่าง ๆ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล การเผาป่า การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการการผลิตซีเมนต์ เป็นต้น ส่งผลให้ระดับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าก๊าซชนิดอื่น ๆ ด้วย

ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Global WARMING POTENTIAL: GWP)

ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการดักจับความร้อนไว้ในบรรยากาศของก๊าซเรือนกระจก และอายุของก๊าซเรือนกระจกที่อยู่ในบรรยากาศ ซึ่งก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดนั้น มีค่าศักยภาพที่แตกต่างกัน โดยนำมาเทียบกับความสามารถในการดักจับความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีมวลเท่ากัน ซึ่งเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบมวลก๊าซ ดังตารางที่ 2-1 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบ ค่า GWP ของตัวอย่างก๊าซเรือนกระจก 3 ชนิด ในช่วงอายุ 100 ปี

ตารางที่ 2-1 ข้อมูลค่า Global Warming Potential (GWP) ของตัวอย่างก๊าซเรือนกระจก 3 ชนิด [IPCC, 2013]

ชื่อแก๊ส	สูตรเคมี	ค่า GWP สำหรับระยะเวลา 100 ปี
Carbon dioxide	CO_2	1
Methane	CH_4	28
Fossil methane	CH_4	30
Nitrous oxide	N_2O	265

การประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การรายงานปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในระดับประเทศ วิธีการที่นิยมนำมาใช้ และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปในระดับสากล คือ แนวทางของ IPCC guidelines โดยการประเมินปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Emissions from fossil fuel combustions) จะประเมินปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ถูกเผาไหม้ทั้งหมด แล้วคำนวณปริมาณ CO_2 จากปริมาณคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเท่านั้น (ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ, 2558) ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

ปริมาณคาร์บอนคำนวณจากข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในรอบปี

$$\text{Carbon Content (GgC)} = \frac{Consumption\left(phy.unit\right) \times Conversion\ Factor\left(\frac{TJ}{phy.unit}\right) \times emission\ \left(\frac{tC}{TJ}\right)}{1000}$$

โดยที่

Carbon Content (GgC) คือ ปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อย

Consumption (phy.unit) คือ ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้

Conversion Factor $\left(\frac{TJ}{phy.unit}\right)$ คือ ตัวคูณเพื่อแปลงปริมาณเชื้อเพลิงเป็นค่าพลังงาน

Emission $\left(\frac{tC}{TJ}\right)$ คือ อัตราการปลดปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิงฟอลซิล โดยดูค่าจากคู่มือ IPCC guidelines

ซึ่งจะออกมาเป็นค่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิงนั้น จากนั้นจะนำมาคำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออก โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{Actual } CO_2 \text{ Emissions } (GgCO_2) = \frac{44}{12} \times \text{Actual Carbon Emissions (GgC)}$$

โดยที่

Actual CO_2 Emissions ($GgCO_2$) คือ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$\frac{44}{12}$ คือ อัตราส่วนมวลคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมวลคาร์บอน

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ หมายถึง ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การแปรรูปวัตถุดิบกระบวนการผลิต (รวมทั้งกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุ) การจัดจำหน่ายหรือกระจายสินค้า การใช้งานหรือบริโภค การจัดการของเสีย หลังจากการใช้งานหรือบริโภค รวมทั้งการขนส่งที่เกี่ยวข้องในทุก ๆ ขั้นตอน ซึ่งแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ จะอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO/TS 14067: 2013 ก๊าซเรือนกระจก-คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์-ข้อกำหนด และข้อแนะนำสำหรับการประเมินปริมาณและการสื่อสาร (Carbon footprint of products-Requirements and guidelines for quantification and communication) ประกาศใช้เมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2556 (สถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ, 2557) โดยระบุหลักการ ข้อกำหนด และแนวทางในการประเมินปริมาณตามมาตรฐาน ISO 14040 และ ISO 14044 ว่าด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยทำการประเมินจากปริมาณก๊าซที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งประเมินกลุ่มผลกระทบเพียงด้านเดียว คือ ด้านค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในหน่วยน้ำหนักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent, CO_2eq) และการสื่อสารข้อมูลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ (Carbon footprint of products, CFP) ตามมาตรฐาน ISO 14020 Environmental Labels and Declarations-General Principles ฉลากสิ่งแวดล้อมและการประกาศใช้-หลักการขั้นพื้นฐาน ISO 14024 Environmental Labels and Declarations-Type I Environmental Labelling – Principles and Procedures ฉลากสิ่งแวดล้อมและการประกาศใช้-หลักการและข้อกำหนดการใช้ฉลากผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 1 (อุรศา ศรีบุญลือ, 2557) คือ ฉลากที่ดำเนินการโดยหน่วยงานอิสระหรือหน่วยงานของรัฐ มอบให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทางด้านสิ่งแวดล้อม ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่องค์กรได้จัดทำขึ้น สำหรับในประเทศไทย

โครงการฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 1 คือ โครงการฉลากเขียว ดังภาพที่ 2-1 จัดทำขึ้นโดย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย มีตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้ฉลากเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนซ์ เครื่องปรับอากาศ กระดาษ เป็นต้น

ภาพที่ 2-1 เครื่องหมายฉลากเขียว (องค์กรธุรกิจเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน, 2558)

และ ISO 14025 Environmental labels and declaration-type III environmental declarations ฉลากสิ่งแวดล้อมและการประกาศใช้-หลักการ และข้อกำหนดการใช้ฉลากผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 3 เป็นฉลากที่แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมในเชิงปริมาณ ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยหน่วยงานอิสระ หรือองค์กรกลาง ก่อนที่จะประกาศลงกับผลิตภัณฑ์

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ย่อมมีความแตกต่างกันไปตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดในแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทยมีองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. (Thailand greenhouse gas management organization (Public organization) or TGO) ซึ่งทำหน้าที่ในฐานะหน่วยงานที่ส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพ ตลอดจนให้คำแนะนำแก่หน่วยงานทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และองค์กรระหว่าง ในการดำเนินงานด้านการจัดการก๊าซเรือนกระจก อีกทั้งยังได้จัดทำจัดคู่มือ “แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดยคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์แห่งประเทศไทย” เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ได้ให้นิยามคำว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์ หมายถึง ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อคำนวณออกมาเป็นข้อมูลปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์

เทียบเท่า ($kgCO_2eq$) และกำหนดแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้หลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิต (Life cycle assessment: LCA) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน กระบวนการผลิต การใช้งาน และการจัดการซากหลังใช้งาน ตามมาตรฐาน ISO 14040: 2006 และ ISO 14044: 2006 (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554) เพื่อส่งเสริมให้มีการแสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ในรูปของสัญลักษณ์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ หน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$) การคำนวณ CFP จะเกิดขึ้นหลังจากที่จัดทำบัญชีรายการแล้ว โดยพิจารณาเลือกค่า Emission Factor (EF) จากฐานข้อมูล Inventory data ประเทศไทย ของสารขาเข้าและสารขาออกครบถ้วนแล้ว จากนั้นทำการคำนวณ CFP โดยมีวิธีคำนวณดังสมการ

$$\text{Carbon Footprint} = \text{Activity} \times \text{Emission Factor}$$

โดยที่

Carbon Footprint คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ในขอบเขตที่ศึกษา (kgCO2eq)

Activity คือ ข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากร รวมไปถึงเชื้อเพลิง และพลังงานที่ใช้ในกิจกรรม หรือกระบวนการผลิต (Mass/Volume/kg/km/kWh)

Emission Factor คือ ค่าศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามชนิดของวัตถุดิบ หรือพลังงานที่ใช้ในกิจกรรม หรือกระบวนการผลิต ($kgCO_2$/unit)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) เป็นเครื่องมือการจัดการสิ่งแวดล้อม ที่ใช้หลักการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) ตามมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) ISO 14040: 2006 การประเมินวัฏจักรชีวิต-หลักการและกรอบการดำเนินงาน (Life cycle assessment-Principles and framework) คือ มาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยาม และกรอบการดำเนินงาน การประเมินวัฏชีวิตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ กระบวนการหรือกิจกรรม ตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง และการจัดจำหน่าย การใช้ การใช้ซ้ำ การบำรุงรักษา การรีไซเคิล และการจัดการของเสีย ที่เกิดจากกระบวนการ โดยระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุทั้งหมดที่ใช้รวมทั้งของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และ ISO 14044: 2006 การประเมินวัฏจักรชีวิต-ข้อกำหนดและแนวทาง (Life cycle assessment-

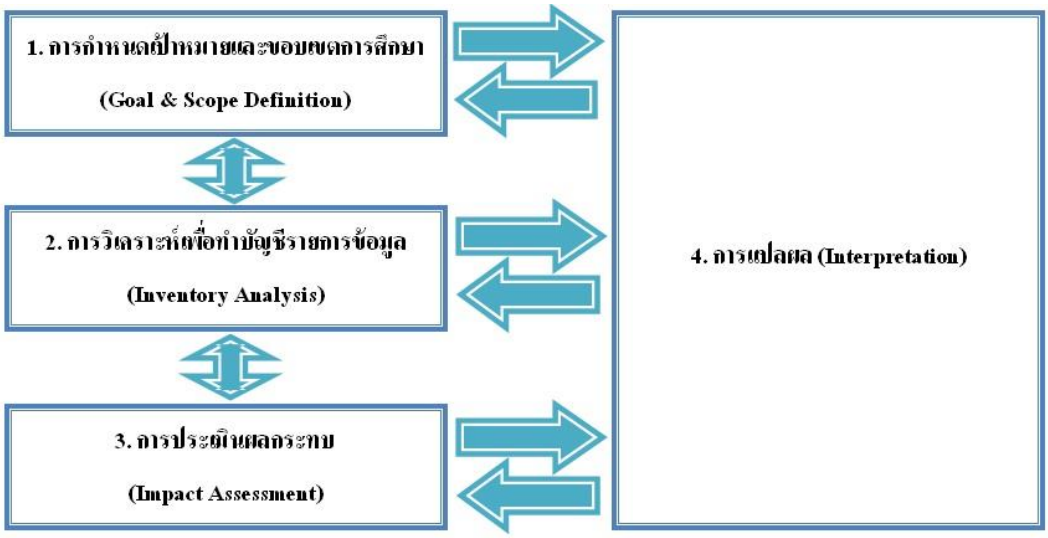
Requirements and guidelines) คือ มาตรฐานที่ถูกออกแบบมาสำหรับใช้กำหนดความต้องการและขั้นตอนที่จำเป็นในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังภาพที่ 2-2 คือ

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal & Scope definition) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกของการดำเนินงาน ซึ่งมีความสำคัญมาก ประกอบด้วย เป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา ขอบเขตระบบ (System boundary) หน่วยการศึกษา (Functional unit) โดยต้องระบุอย่างละเอียด ชัดเจน และครอบคลุมกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา

2. การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการข้อมูล (Inventory analysis) ขั้นตอนนี้เป็นการจำแนกและเก็บรวบรวมข้อมูลสิ่งที่นำเข้าระบบ (Input) และสิ่งที่ผลิตได้ (Output) แล้วนำไปสร้างแผนผังแบบจำลองเส้นทางการไหลของขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงการใช้ทรัพยากรและพลังงานรวมถึงการปล่อยของเสียอีกด้วย

3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment) ขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลจากการวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการข้อมูล มาประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์

4. การแปลผล (Interpretation) ขั้นตอนนี้เป็นการนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ มาทำบัญชีรายการข้อมูล (Inventory analysis) และการประเมินผลกระทบ (Impact assessment) มารวมกันเพื่อสรุปผลและจัดทำข้อเสนอแนะจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยผลที่สรุปได้จะต้องมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนดไว้

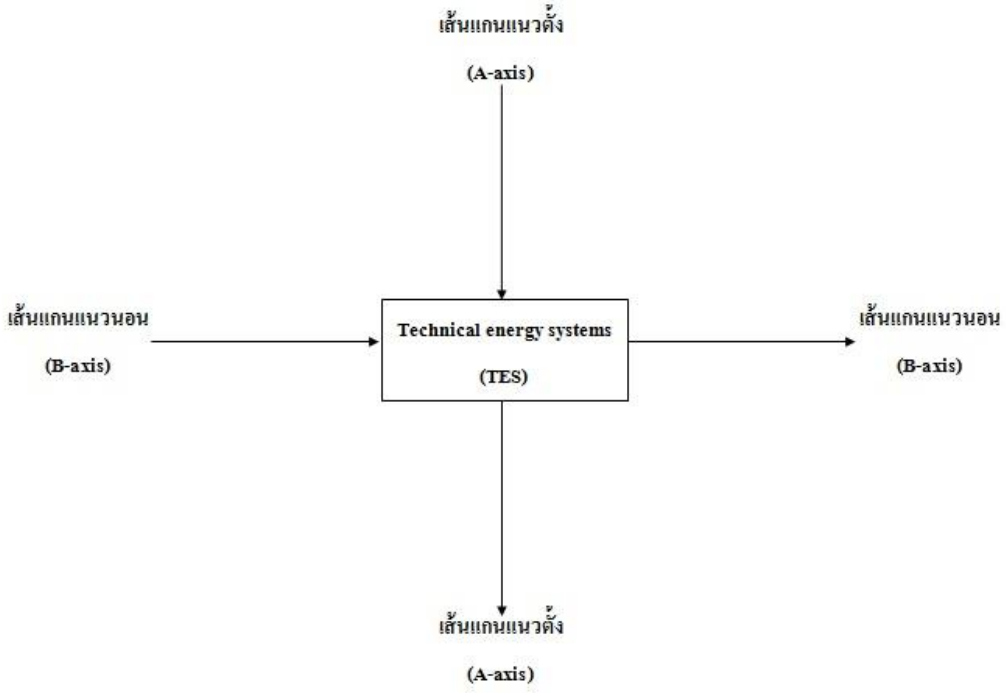


ภาพที่ 2-2 ขั้นตอนการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

โดยที่มาตรฐาน ISO 14044: 2006 นี้จะครอบคลุม 2 ประเภทของการศึกษา คือ Life cycle assessment studies (LCA studies) และ Life cycle inventory studies (LCI studies) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกัน แต่มีความแตกต่างกันที่ LCI studies จะไม่รวมขั้นตอนการประเมินผลกระทบ (LCIA) (International Organization for Standardization [ISO 14044], 2006) ซึ่งมีวิธีการศึกษา คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal & Scope definition) การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการข้อมูล (Inventory analysis) และแปลผล (Interpretation) เท่านั้น โดยที่การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แบบ LCI studies จะสามารถกระทำได้เช่นกัน

การประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยวิธีการประเมิน วิธีวิเคราะห์ระบบทางพลังงาน (TECHNICAL ENERGY SYSTEMS)

มาตรฐาน ISO 13602-1: 2002 Technical energy systems (TES) มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการอธิบาย วิเคราะห์ และเปรียบเทียบระบบพลังงาน โดยมีการวิเคราะห์จากแหล่งพลังงานที่ใช้ คือ การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานโดยตรง และการใช้พลังงานทางอ้อม ซึ่งระบบ TES นี้สามารถประกอบด้วยระบบเดี่ยวระบบเดียว หรือระบบย่อยหลาย ๆ ระบบมารวมกัน ได้แก่ การเปลี่ยนรูปพลังงาน การขนส่งลำเลียง การจัดการการเก็บข้อมูล การนำกลับมาใช้ใหม่ การกำจัดของเสียอันตราย และกระบวนการใช้พลังงาน โดยทำการสร้างแผนผังแบบจำลองเส้นทางการไหลของสิ่งที่นำเข้าและสิ่งที่ออกมา ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 แผนผังแบบจำลองเส้นทางการไหลในระบบทางพลังงาน

แผนผังแบบจำลองเส้นทางการไหลในระบบทางพลังงานแบ่งออกเป็น 2 เส้นหลัก คือ

1. เส้นแกนแนวตั้ง (A-axis)

1.1 สิ่งที่นำเข้าระบบด้านบนของเส้นแกนแนวตั้ง คือ สินค้าประเภททุน และการบริการที่เกี่ยวข้อง เช่น วัสดุก่อสร้าง แรงงาน อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Hardware) อุปกรณ์ซอฟต์แวร์ (Software) พื้นที่ที่ใช้งาน และข้อมูลส่วนผลิตที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

1.2 สิ่งที่ผลิตได้ออกจากระบบด้านล่างของเส้นแกนแนวตั้ง คือ เศษเหลือ วัสดุรีไซเคิล หรือของเสียที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ และผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการยกเลิก ปรับปรุง และการปลดระวางของระบบ

2. เส้นแกนแนวนอน (B-axis)

2.1 สิ่งที่นำเข้าระบบด้านซ้ายของเส้นแกนแนวนอน คือ ปัจจัยที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ พลังงาน กำลังคนในการดำเนินงาน ข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการดำเนินระบบ และวัตถุดิบที่ใช้การเดินระบบ เช่น น้ำมันเครื่อง เป็นต้น

2.2 สิ่งที่นำออกระบบด้านขาวของเส้นแกนแนวนอน คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิต (By-Product) พลังงานที่ผลิตได้ (Energy ware) บริการที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน (Energy service) และการปลดปล่อยมลพิษหรือของเสีย (ISO 13602, 2002)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ PROCESS CHAINS ANALYSIS (PCA)

Process chains analysis คือ วิธีการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตที่นิยมใช้ในประเทศไทย ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์การปริมาณของวัสดุ และพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการผลิตหลัก โดยที่วิธีวิเคราะห์แบบ PCA นี้ จะพิจารณาทุกจุดที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่กระบวนการได้ของวัตถุดิบ การใช้วัตถุดิบ การแปรรูป การผลิต การใช้ การกระจายและการขนส่งพลังงาน เชื้อเพลิง และไฟฟ้า รวมไปถึงกระบวนการในการผลิต เพื่อนำมาประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และจะไม่สามารถเก็บข้อมูลในส่วนที่เกิดขึ้นจากห่วงโซ่การผลิตของวัสดุ และการบริการ เช่น การก่อสร้าง การดำเนินการ และขั้นตอนการบำรุงรักษา ซึ่งถึงแม้จะไม่มีการปลดปล่อยทางตรง แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าผลิตภัณฑ์นั้น จะปราศจากการปลดปล่อย (Pawinee Suksuntornsiri & Bundit Limmeechokchai, 2005)

การใช้วิธีวิเคราะห์แบบ PCA เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ในส่วนกระบวนการผลิตหลักเท่านั้น เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ข้อมูลหลักของระบบ หรือส่งผลกระทบมาก ทำให้ได้ผลที่แม่นยำในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยตรง แต่การใช้วิธีวิเคราะห์แบบ PCA เป็นวิธีการที่ต้องอาศัยข้อมูล อุปกรณ์ เครื่องมือ และระยะเวลานานในการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลจำเพาะในแต่ละประเทศ เนื่องจากมีการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลบางประเภทไม่สามารถเก็บรวบรวมได้ง่าย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะใช้การเติมข้อมูลที่ขาดไปด้วยข้อมูลกระบวนการต้นน้ำด้วยวิธีการอื่น ๆ

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ INPUT-OUTPUT ANALYSIS (IOA)

Input-Output analysis (IOA) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ที่ถูกเสนอขึ้นครั้งแรก โดย Leontief ซึ่งทำการแบ่งผลิตภัณฑ์ออกเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ตามตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (I-O Table) แสดงถึงกระบวนการผลิตทั้งหมดในแต่ละสาขา การพึ่งพาอาศัยกันของแต่ละการผลิต และการจำแนกวัสดุที่เป็นปัจจัยในการผลิต ที่อยู่ในรูปแบบของมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของทุกภาคส่วนแต่ละภาคเศรษฐกิจทั้งหมด ทำให้ครอบคลุมขั้นตอนการผลิตทุกขั้นตอน ทั้งสิ่งที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ผลผลิตที่ได้ และสามารถประเมินขั้นตอนกระบวนการผลิตทางอ้อมได้อีกด้วย รวมไปจนถึงกระบวนการที่ไม่ใช่วัสดุหรือพลังงาน เช่น ค่าบริการต่าง ๆ สามารถถูกนำมาใช้คำนวณเพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยจากขั้นตอนต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ห่วงโซ่พลังงานแบบเต็มรูปแบบได้อีกด้วย (Pawinee Suksuntornsiri & Bundit Limmeechokchai, 2005)

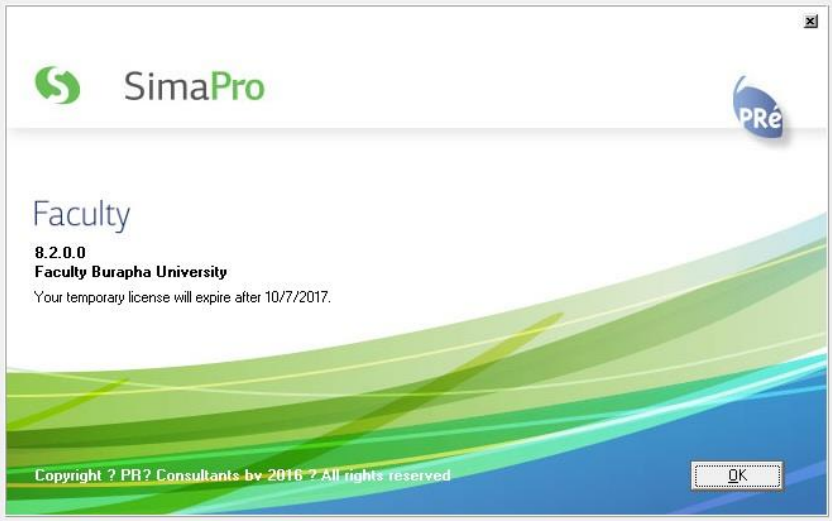
ข้อได้เปรียบจากการใช้วิธีวิเคราะห์แบบ IOA คือ ทำให้สามารถตรวจสอบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งยังแสดงให้เห็นว่ามีการปลดปล่อยมลพิษทั้งทางตรงและทางอ้อมมากเท่าใดในภาคส่วนทั้งหมด แต่การใช้วิธีวิเคราะห์แบบ IOA เพียงอย่างเดียว ยังมีข้อจำกัด คือ เป็นค่าเฉลี่ยจากภาคธุรกิจจากมูลค่าของสินค้า โดยข้อมูลจะเป็นข้อมูลของทุกขนาดทุกชนิด หากข้อมูลที่เลือกใช้ไม่ถูกต้อง อาจทำเกิดข้อผิดพลาด และได้ผลที่ไม่แม่นยำเท่ากับวิธีวิเคราะห์แบบ PCA

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ PROCESS CHAINS ANALYSIS (PCA) ร่วมกับ INPUT-OUTPUT ANALYSIS (IOA), (COMBINED PCA-IOA)

การรวมกันระหว่างวิธี Process analysis และ Input-Output analysis เป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำ เนื่องจากเป็นการพัฒนาระหว่างวิธีวิเคราะห์แบบ PCA และตาราง I-O ในการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (LCA) เพื่อจะประเมินทั้งขั้นตอนกระบวนการผลิตหลัก และขั้นตอนกระบวนการผลิตทางอ้อม รวมไปถึงพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาจากทุกขั้นตอน ซึ่งวิธีวิเคราะห์แบบ Combined PCA-IOA มีการพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบ และพลังงานทั้งหมด รวมถึงความต้องการพลังงานและวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตทุกขั้นตอนของการก่อสร้าง การดำเนินการ และการบำรุงรักษา โดยข้อควรระวังในการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์แบบ PCA-IOA จะต้องไม่นับซ้ำจากกระบวนการหลักและ IOA การใช้วิธีการรวมกันระหว่าง PCA และ IOA จะทำให้สามารถประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างครอบคลุมและแม่นยำมากขึ้น และยังเหมาะสมสำหรับประเทศไทยที่มีข้อมูลไม่เพียงพออีกด้วย (Pawinee Suksuntornsiri & Bundit Limmeechokchai, 2005)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro

ในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 8.2 ดังภาพที่ 2-4 ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ถูกผลิตและพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Pre’ Consultants ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปครั้งนี้จะอาศัยฐานข้อมูล Ecoinvent เวอร์ชั่น 3 (Mark Goedkoop et al., 2014)



ภาพที่ 2-4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro (PRé Sustainability, 2016)

โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro มีวิธีการวิเคราะห์หลัก ๆ 3 วิธี คือ

1. EDIP 2003 (Environmental design of industrial) เป็นวิธีวิเคราะห์ที่กำหนดตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมที่แยกกลุ่มดัชนีตามลักษณะของผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยมีขั้นตอนการประเมินดังนี้

1.1 การจำแนกประเภทผลกระทบ (Classification) มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การทำให้โลกร้อน การทำลายโอนโซน การสิ้นเปลืองทรัพยากร การสิ้นเปลืองพลังงาน เป็นต้น

1.2 การกำหนดบทบาท (Characterization) คือ ขั้นตอนการคำนวณหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยคำนวณให้อยู่ในรูปของปริมาณสารอ้างอิง เช่น สารที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนจะถูกคำนวณให้อยู่ในหน่วยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2equivalent) เป็นต้น

1.3 การจัดกลุ่มและเทียบหน่วย (Normalization) คือ การคำนวณหาความสำคัญของแต่ละผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของคน “เทียบค่าความสามารถที่ก่อให้เกิดผลกระทบกับขนาดของผลกระทบ”

1.4 การให้น้ำหนัก (Weighting) คือ การให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

2. ECO-indicator 99 เป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต มี 3 ขั้นตอน คือ

2.1 นำข้อมูลที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และมลพิษมาประเมินผลกระทบ ด้วยโปรแกรม SimaPro

2.2 การคำนวณ โปรแกรมจะคำนวณความเสียหายที่เกิดขึ้น ในด้านต่าง ๆ

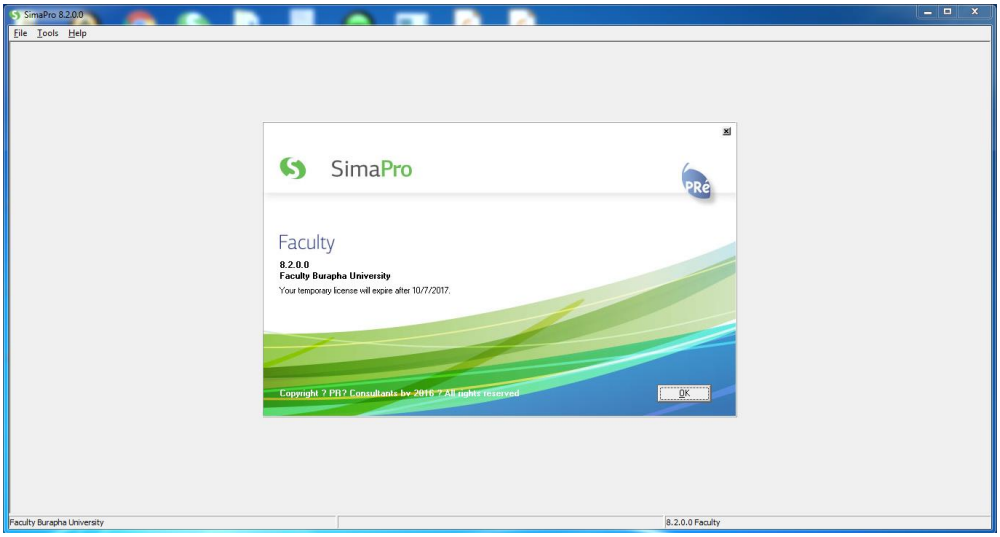
2.3 การให้น้ำหนัก นำค่าความเสียหายทั้งหมดมาให้เป็นค่าคะแนน ในหน่วย point (pt) เพื่อจัดลำดับความเสียหายของปัญหาและเปรียบเทียบ

2. IPCC 2007 GWP 100a เป็นการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้ง 6 ชนิดตามที่กำหนดไว้ในพิธีสารโตเกียว ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ที่คำนวณผลกระทบออกมาในหน่วยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ที่ถูกปล่อยออกมาในช่วง 100 ปี หลังจากมีการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยจะยกเว้นช่วงกำจัดซากให้ถือว่าปล่อยเพียงครั้งเดียว ที่จุดเริ่มต้นของช่วงอายุ 100 ปี

โดยในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a เป็นตัวประเมิน

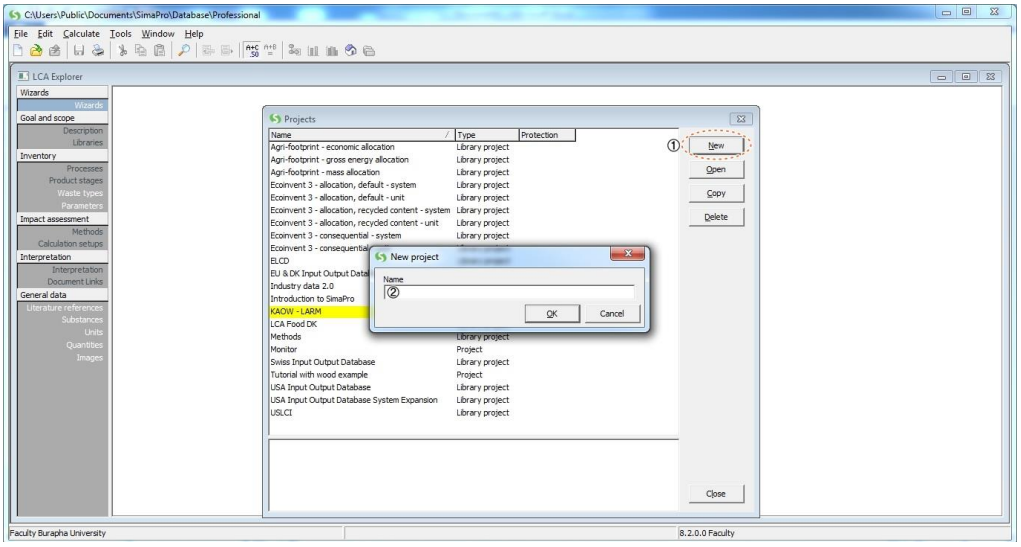
ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro

1. เข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 8.2 ดังภาพที่ 2-5



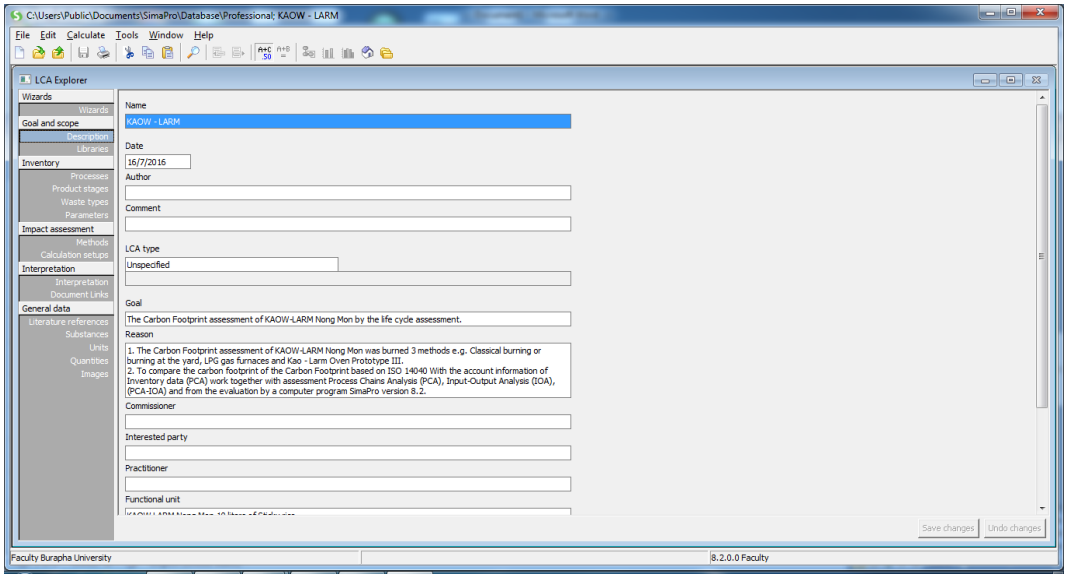
ภาพที่ 2-5 หน้าแรกของโปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 8.2 (PRé Sustainability, 2016)

2. คลิก New เพื่อสร้างและตั้งชื่อ New Project ดังภาพที่ 2-6



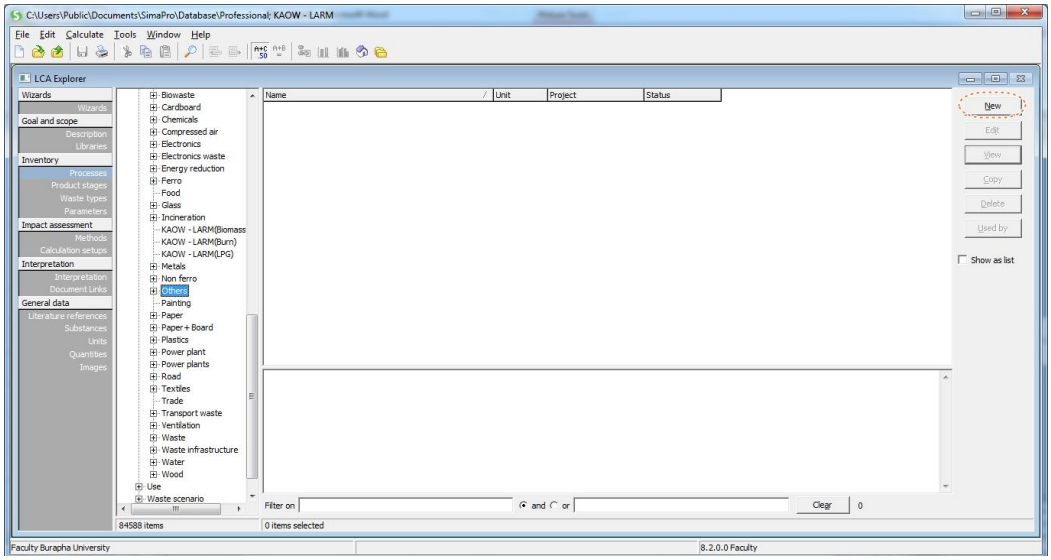
ภาพที่ 2-6 การสร้าง New Project (PRé Sustainability, 2016)

3. เมื่อสร้าง Project แล้ว โปรแกรมจะเปิด Project ใหม่ตามชื่อที่ตั้งไว้ คลิกที่ Description เพื่อกรอกข้อมูลรายละเอียดเบื้องต้นของ Project ดังภาพที่ 2-7



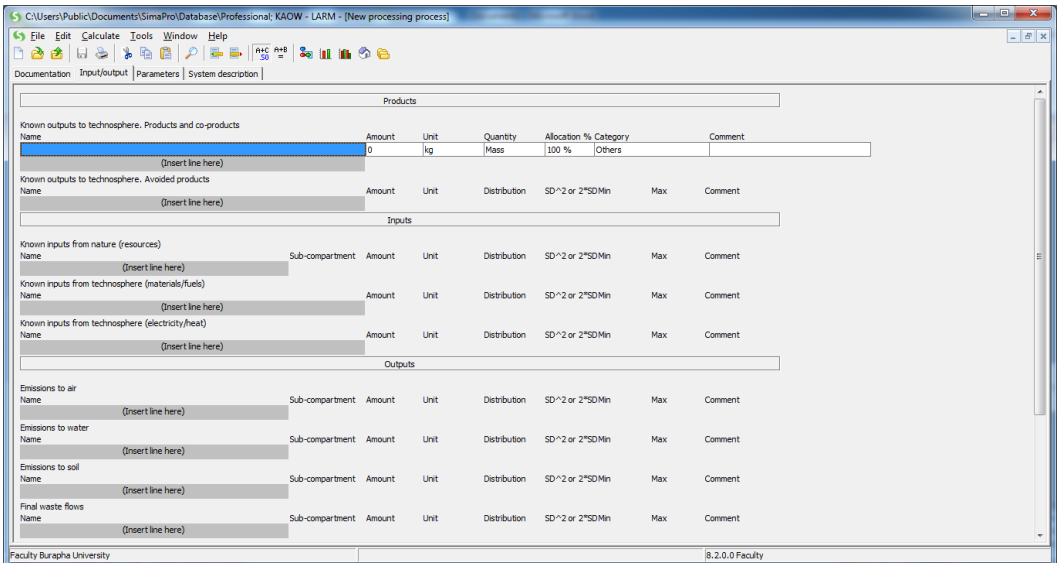
ภาพที่ 2-7 การกรอกข้องมูลรายละเอียดเบื้องต้นของ Project (PRé Sustainability, 2016)

4. คลิกที่ Processes ⟶ New เพื่อทำการสร้าง Process ของ Project ดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 การสร้าง Process ของ Project (PRé Sustainability, 2016)

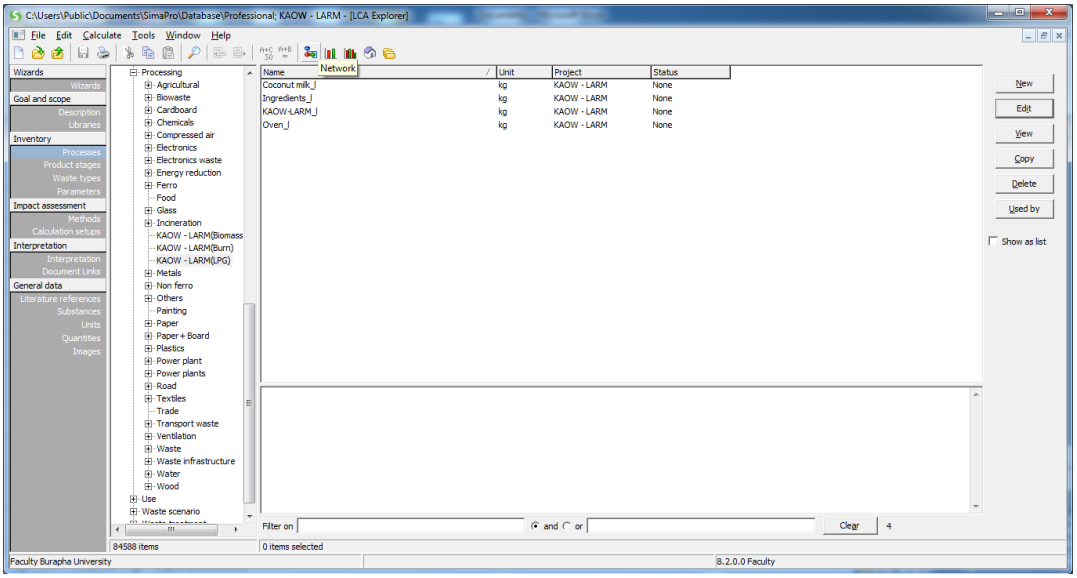
5. ป้อนข้อมูลในส่วนของ Input/ Output ของ Process ดังภาพที่ 2-9



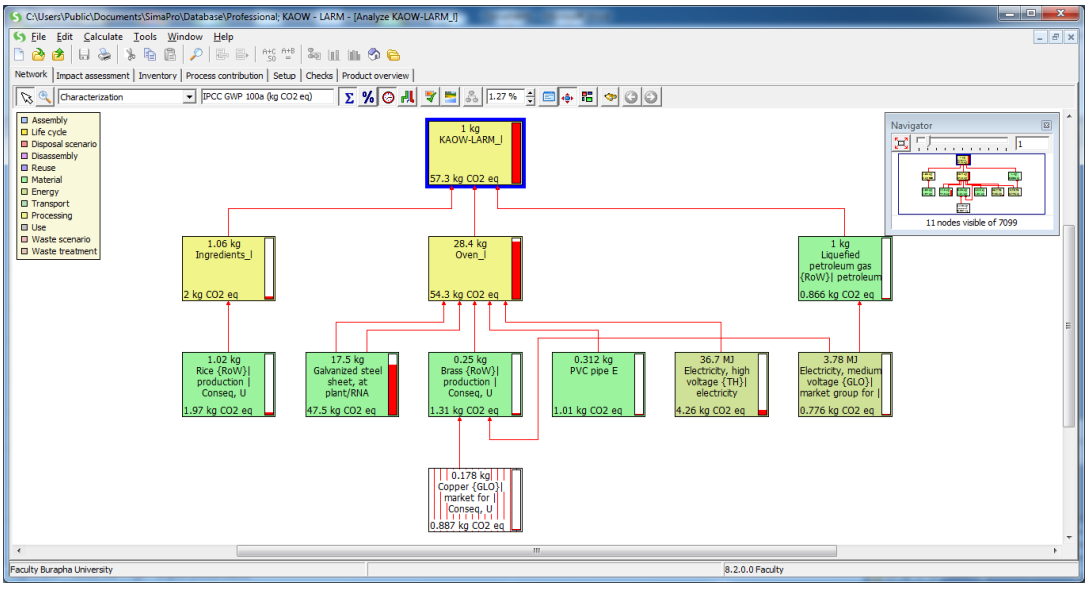
ภาพที่ 2-9 การป้อนข้อมูล Input/ Output (PRé Sustainability, 2016)

6. การรายการผลการประเมินด้วยโปรแกรม

6.1 คลิก Network เพื่อทำการสร้างเครือข่ายของ Process ดังภาพที่ 2-10 และ ภาพที่ 2-11

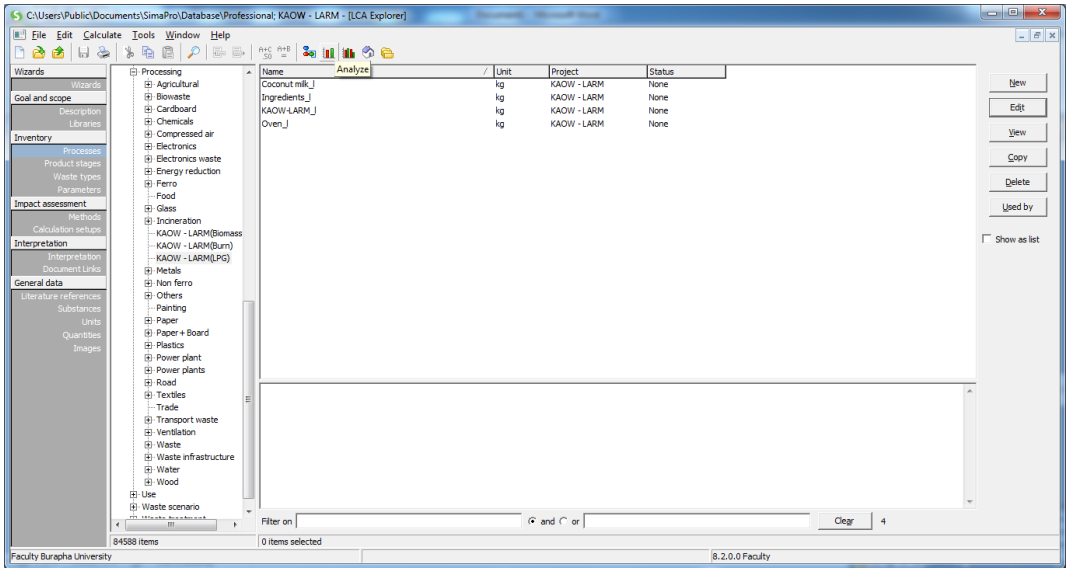


ภาพที่ 2-10 การสร้างเครือข่าย (PRé Sustainability, 2016)

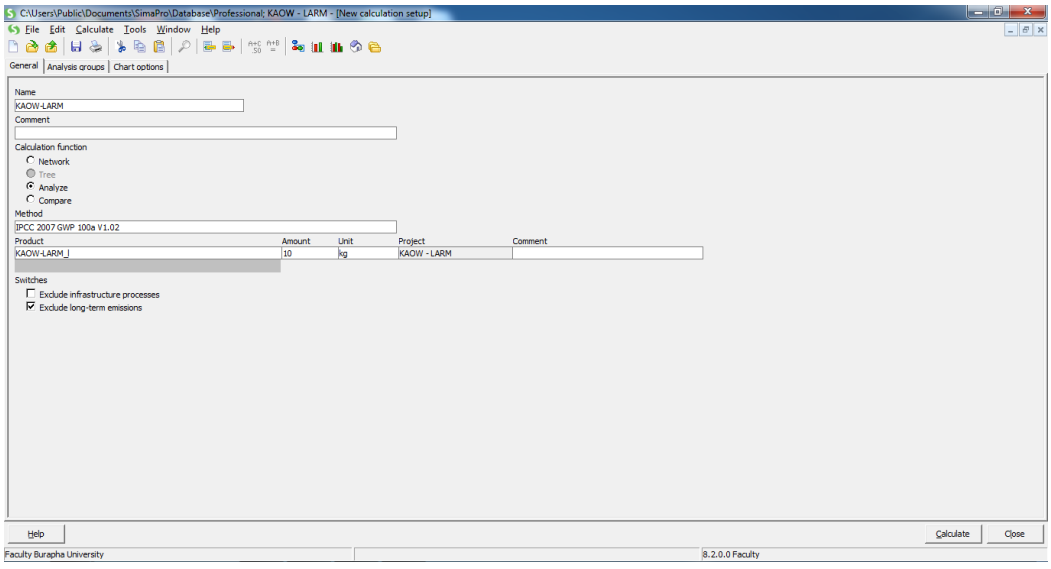


ภาพที่ 2-11 เครือข่ายของ Process (PRé Sustainability, 2016)

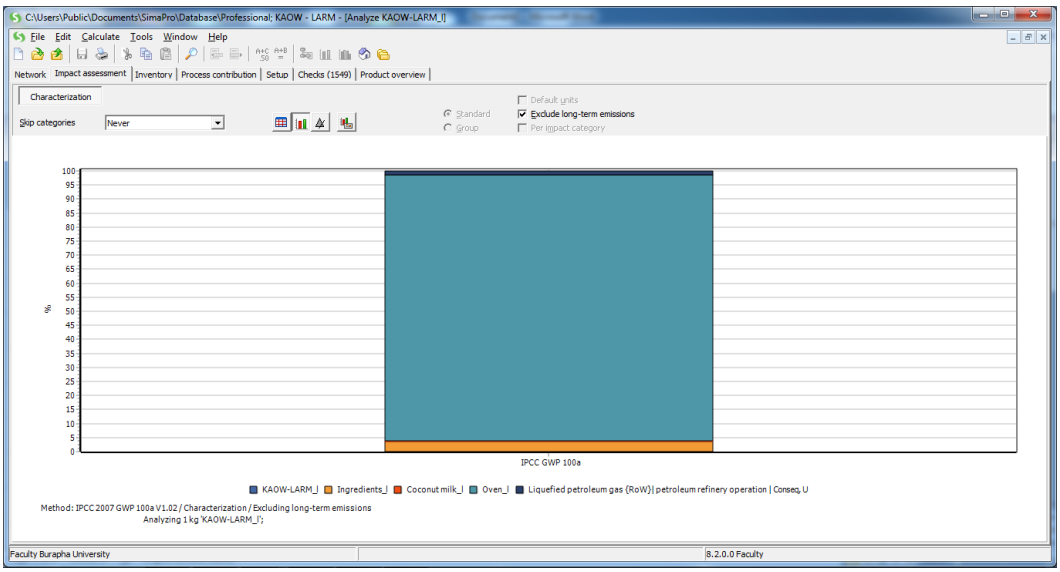
6.2 คลิก Analyze เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยโปรแกรมจะประเมินผลตามวิธีการที่เลือกใช้ ดังภาพที่ 2-12, 2-13 และ ภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-12 การวิเคราะห์ข้อมูล (PRé Sustainability, 2016)



ภาพที่ 2-13 การเลือกวิธีวิเคราะห์ข้อมูล (PRé Sustainability, 2016)



ภาพที่ 2-14 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล (PRé Sustainability, 2016)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน ISO 14040 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro วิธีการประเมินด้วย IPCC 2007 GWP 100a นั้น จะคำนวณออกมาในรูปแบบของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$) ซึ่งมีจุดเด่นอยู่ที่การใช้งาน เนื่องจากมีฐานข้อมูลของกระบวนการต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประเมินผลผลิตภัณฑ์ได้โดยอัตโนมัติ แต่มีข้อจำกัดอยู่ที่ฐานข้อมูลที่ถูกบรรจุอยู่ในโปรแกรมส่วนใหญ่นั้น เป็นฐานข้อมูลที่ถูกประเมินในต่างประเทศ หรือเป็นฐานข้อมูลเฉลี่ยของทั้งโลก ซึ่งในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันทั้งในส่วนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ขั้นตอนการขนส่ง การผลิต การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ต้องมีการเลือกฐานข้อมูลที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์นำมาประเมินให้มากที่สุด

ข้าวหลามหนองมน

ข้าวหลาม หมายถึง ข้าวที่ใส่กระบอกไม้ไผ่ แล้วเผาไฟให้สุก (ทิพย์สุดา รันนัน, 2557) จัดเป็นอาหารชนิดหนึ่ง ซึ่งคำว่า หลาม เป็นวิธีการหุงข้าว หรือทำอาหาร โดยไม่ต้องใช้ภาชนะ ข้าวหลามมีส่วนผสมของ ข้าวเหนียว กะทิ ถั่วดำ และมีการปรุงแต่งรสชาติ ให้มีความหลากหลาย เพื่อให้ได้รสชาติความอร่อยมากขึ้น โดยเพิ่ม ถั่ว ไข่เค็ม แห้ว เผือก มะพร้าวอ่อน ฯลฯ ใส่เข้าไปในเนื้อข้าวหลาม ตามความต้องการของผู้บริโภค ปัจจุบันมีการผลิตข้าวหลามขายกันอย่างมากมาย จนมีชื่อเสียงแพร่หลายและนิยมทำกันมากในชุมชนจนยึดเป็นอาชีพ

ข้าวหลามหนองมน เป็นขนมหวานที่มีรสชาติอร่อย หวานมัน นุ่มนวล ซึ่งบ่งบอกถึงเอกลักษณ์ของความแตกต่างจากข้าวหลามของแหล่งอื่น มีผู้นิยมรับประทานมาก และมีขายมากที่สุดในตลาดหนองมน ข้าวหลามหนองมนแต่ละกระบอกต้องพิถีพิถันกันมาก และต้องบรรจงกรอกอย่างปราณีต เพื่อจะให้ข้าวเหนียว กะทิ ถั่วดำ ที่กลมกลืนกันอย่างมีรสชาติที่เข้มข้น ประวัติความเป็นมาของข้าวหลามหนองมนมีรายละเอียดไม่มากนัก เพราะการทำข้าวหลามหนองมนนิยมทำกันมาเรื่อย ๆ ตั้งแต่สมัยก่อนจนถึงปัจจุบันนี้ (จารึก ถึงลาภ, 2546)

การเผาข้าวหลามหนองมน สามารถแบ่งเป็น 2 แบบ คือ การเผาข้าวหลามแบบดั้งเดิมหรือการเผาแบบลาน และการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซหุงต้ม (ก๊าซ LPG) (ร้านข้าวหลามหนองมนแม่สุภา, 2558; ร้านข้าวหลามหนองมนแม่นิยม, 2558)

1. การเผาข้าวหลามแบบดั้งเดิม หรือการเผาแบบลาน

เริ่มจากขุดหลุมที่พื้นดินลึกประมาณ 0.5 เซนติเมตร สำหรับตั้งกระบอก นำเชื้อเพลิง เช่น กาบมะพร้าว กะลามะพร้าว และเศษไม้ไผ่ เป็นต้น มาวางบนพื้นด้านข้างกระบอกข้าวหลามเรียงเป็นแถวยาว จากนั้นจุดไฟที่เชื้อเพลิง ใช้เวลาเผาประมาณ 3 ชั่วโมง สำหรับข้าวหลาม 10 ลิตร เมื่อเผาเสร็จ นำข้าวหลามใส่เข่ง ทิ้งให้อุ่น นำไปล้างน้ำสะอาด เพื่อขจัดฝุ่น และคราบเขม่าจากการเผาที่ติดมากับกระบอกข้าวหลาม แล้วเช็ดให้แห้ง

2. การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซหุงต้ม (ก๊าซ LPG)

นำกระบอกข้าวหลามวางเรียงลงในที่วางกระบอก ซึ่งอยู่ในเตาเผาก๊าซหุงต้ม (ก๊าซ LPG) ที่มีลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในตู้แบ่งเป็น 2 ชั้น สำหรับวางกระบอก ที่สร้างจากเหล็กซิงค์มีฉนวนกันความร้อน ต่อกับหัวปรับแรงดันก๊าซหุงต้ม ทำการเผาโดยการจุดไฟและปรับความร้อนของเตาที่หัวปรับแรงดันก๊าซหุงต้ม ใช้เวลาในการเผา 2-3 ชั่วโมง เมื่อเผาเสร็จ นำข้าวหลามใส่เข่ง ทิ้งให้อุ่น ใช้ผ้าเช็ดกระบอกข้าวหลาม การเผาข้าวหลามด้วยวิธีนี้ จะไม่มีฝุ่น และคราบเขม่าจากการเผาติดมากับกระบอกข้าวหลาม

เตาเผาข้าวหลามชีวมวล

ปี 2546 นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา ได้ทำการออกแบบและสร้างเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 1 ขึ้นมาเป็นครั้งแรก (ณพฤกษ์ สุเนตร, บรรพต ชมพูเพชร, วรรณพล พิทักษ์สมบัติ, ฤกษ์ชัย วณิชประภาพร และเอกชัย เอกสิทธิชู, 2546) โดยเตาเผาข้าวหลามได้รับการออกแบบให้มีส่วนประกอบ 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ เตาส่วนล่าง ทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้ และเตาส่วนบน ทำหน้าที่เป็นห้องอบข้าวหลาม มีรางรองที่ใส่ข้าวหลาม 16 ราง มีอิฐทนไฟและฉนวนใยหินเป็นฉนวนกันความร้อน เตาเผาชีวมวลต้นแบบนี้สามารถใช้กับ

เชื้อเพลิงได้หลายชนิด เช่น ไม้ กาบมะพร้าว กะลามะพร้าว เป็นต้น ซึ่งเผาข้าวหลามจำนวน 150 กระบอก (ข้าวเหนียว 15 ลิตร) ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่ที่ 28 กิโลกรัม ควบคุมอุณหภูมิในการเผาอยู่ระหว่าง 200-250 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเผาให้ข้าวหลามสุกภายใน 1 ชั่วโมง 20 นาที ซึ่งน้อยกว่าการเผาข้าวหลามแบบลาน และการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซหุงต้ม (ก๊าซ LPG) ซึ่งยังคงรสชาติและกลิ่นของข้าวหลามเหมือนการเผาข้าวหลามแบบลานอีกด้วย

ปี 2548 ได้มีการพัฒนาและสร้างเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 2 (กายร์ฎิรัตน์ เลิศดารารัศมี, ภราดร นามโลมา และอัษฎาวุฒิ ทาปลัด, 2548) โดยทำการออกแบบให้มี 2 ส่วน คือ เตาส่วนล่างและเตาส่วนบนเตาส่วนล่างทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้ สร้างจากเหล็กกล่องยึดติดกับสแตนเลส บุด้วยอิฐทนไฟและฉนวนใยหิน (Rock wool) เป็นฉนวนกันความร้อน ส่วนเตาเผาส่วนบนสร้างด้วยแผ่นสแตนเลส ด้านในของเตาเผาส่วนบน มีที่ใส่ข้าวหลามทำจากเหล็กกล่องที่ใส่ข้าวหลาม 1 อัน สามารถบรรจุข้าวหลามได้ประมาณ 8 ถึง 10 กระบอก ซึ่งในการเผาข้าวหลามจำนวนประมาณ 150-200 กระบอก (ใช้ข้าวเหนียว 15 ลิตร) ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพียง 28-30 กิโลกรัม ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาข้าวหลามอยู่ระหว่าง 200-250 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเผาให้ข้าวหลามสุกภายในเวลา 1 ชั่วโมง 50 นาที ซึ่งช้ากว่าเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 1 ถึง 30 นาที แต่ยังเร็วกว่าการเผาข้าวหลามแบบลาน และการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG ซึ่งเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 2 นี้ สามารถแก้ไขข้อบกพร่องของเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 1 โดยเพิ่มความสูงของห้องเผาไหม้ เพื่อป้องกันเปลวไฟลุกไหม้กระบอกข้าวหลาม และปรับปรุงขนาดของประตูเปิดช่องข้าวหลาม เพื่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนน้อยลง อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนลงจาก 46,000 บาทเป็น 43,700 บาทด้วย

ปี 2558 เตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 3 ได้มีการออกแบบ พัฒนาและปรับปรุงเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 1 และ 2 (นายกฤษรัตน์ มงคลธนชัยและคณะ, 2558) โดยเตาเผามีส่วนประกอบหลัก คือ ห้องบรรจุข้าวหลาม ซึ่งถูกออกแบบให้สามารถรองรับการบรรจุกระบอกข้าวหลาม โดยมีรางใส่กระบอกพร้อมที่ครอบด้านบน รวมทั้งใช้ฉนวนประเภทแคลเซียมซิลิเกตเป็นฉนวนกันความร้อน ส่วนห้องเผาไหม้ ใช้สำหรับรองรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาข้าวหลาม ป้องกันการสูญเสียความร้อนด้วยอิฐทนไฟและแคลเซียมซิลิเกต โดยในห้องเผาไหม้จะมีลิ้นชักใส่เชื้อเพลิงที่สามารถถอดออกมาจากห้องเผาไหม้ได้ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งาน ซึ่งจากการทดสอบเผาข้าวหลามจำนวน จำนวน 10 ลิตร 143 กระบอก แบ่งเป็นข้าวหลามขนาดใหญ่ (Large) 25 กระบอก ขนาดกลาง (Medium) 98 กระบอก และขนาดเล็ก (Short) 20 กระบอก ควบคุมอุณหภูมิ

ที่ใช้ในการเผาข้าวหลามให้ไม่เกิน 300 องศาเซลเซียส พบว่า ข้าวหลามจะสุกภายในเวลา 1 ชั่วโมง 50 นาที และใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในเผาประมาณ 18 กิโลกรัมต่อครั้ง

พลังงานและเชื้อเพลิง

พลังงาน หมายถึง ความสามารถในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ, 2558) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. พลังงานใช้แล้วหมดไป (Nonrenewable energy) ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ รวมทั้งหินน้ำมัน และทรายน้ำมัน พลังงานประเภทนี้เรียกกันอีกอย่างว่า พลังงานฟอสซิล ซึ่งเป็นพลังงานสิ้นเปลือง ใช้แล้วหมดไป เพราะมีการสร้างขึ้นมาใหม่ช้ามาก ไม่ทันต่อการนำออกมาใช้

2. พลังงานใช้ไม่หมดไป (Renewable energy) หรือพลังงานหมุนเวียน หรือพลังงานทดแทน ได้แก่ แกลบ ชานอ้อย ชีวมวล แสงอาทิตย์ ลม น้ำ และคลื่น ซึ่งเป็นพลังงานที่สามารถหามาทดแทนได้

คุณสมบัติของพลังงานแต่ละประเภท

พลังงานฟอสซิล จะแบ่งตามสถานะ ออกเป็น 3 รูปแบบ คือ

1. เชื้อเพลิงฟอสซิลแข็ง คือ เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนในอากาศแล้วจะให้พลังงานความร้อนออกมา และเมื่อเกิดการเผาไหม้จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ออกมา เชื้อเพลิงแข็งที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ถ่านหิน ถ่านไม้ หินน้ำมัน ทรายน้ำมัน เป็นต้น

2. เชื้อเพลิงฟอสซิลเหลว คือ เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ส่วนมากได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันดิบ น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติเหลว ก๊าซโซลีน เป็นต้น ทำให้เชื้อเพลิงเหลวเป็นที่นิยมใช้กับยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพราะสะดวกต่อการใช้งาน ทั้งในด้านการขนถ่ายและจัดเก็บ รวมถึงให้ค่าทางความร้อนสูงและเผาไหม้ง่าย

3. เชื้อเพลิงฟอสซิลก๊าซ คือ เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งเกิดจากการทับถม ผุผังของพืชและสัตว์ จนแปรสภาพไปเป็นก๊าซ และสามารถนำมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดการเผาไหม้ ได้พลังงานความร้อนออกมา เป็นเชื้อเพลิงที่มีความสะอาด ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติเหลว เป็นต้น

พลังงานชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ ซึ่งมีการเก็บสะสมพลังงานเอาไว้ในตัวเอง และสามารถนำพลังงานที่สะสมไว้มาผลิตเป็นพลังงานได้ ได้แก่ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ไม้ฟืน แกลบ หรือจากการแปรรูปทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรม เช่น

ชานอ้อยที่ได้จากการผลิตน้ำตาล กาบและกะลามะพร้าวที่ได้จากการนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิ เป็นต้น

พลังงานชีวมวล มีจุดกำเนิดมาจากการที่พืชได้รับแสงอาทิตย์ แล้วนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้น ไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยที่พืชจะทำหน้าที่การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ เมื่อใช้ในการเจริญเติบโต และเปลี่ยนเป็นคาร์บอนสะสมในพืช เมื่อนำเอาส่วนของพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการแปรรูปเป็นพลังงาน ก๊าซคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมา จะถูกพืชดูดเก็บสะสมเข้าไปใหม่ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงถือว่าการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ ไม่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอน ตามหลักการของวัฏจักรคาร์บอน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ Eric Johnson (2009) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการย่างด้วยตะแกรงย่างบาร์บีคิวกลางแจ้ง ที่มีความแตกต่างที่ชนิดเชื้อเพลิง คือ การให้ความร้อนด้วยถ่านไม้ และก๊าซหุงต้ม (LPG) ในประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งบริเวณที่คาดไว้ คือ สหราชอาณาจักร โดยการศึกษานี้มี วัตถุประสงค์ เพื่อแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการย่าง 2 ชนิด คือ ถ่านไม้ และก๊าซ LPG ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการศึกษา คือ การประเมินวัฏจักรชีวิต ตามมาตรฐาน ISO 14040 และ ISO 14044 โดยข้อมูลที่นำเข้ามา (Input) จะถูกจัดเป็นตารางในโปรแกรม Excel เพื่อคำนวณ และวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ด้วยโปรแกรม SimaPro 7 โดยอาศัยฐานข้อมูล Ecoinvent 2.0 ที่เป็นชุดซอฟต์แวร์สำหรับประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) โดยมีขอบเขตการประเมิน ในส่วนของการให้ความร้อนด้วยถ่านไม้ เริ่มตั้งแต่ การได้มาของถ่านไม้ การใช้และแหล่งของถ่านไม้ การผลิตและการลดลงของไม้ กระบวนการเก็บไม้ กระบวนการผลิตถ่านไม้ การบรรจุและการขนส่งถ่านไม้ การใช้ถ่านไม้ ไปจนถึงการกำจัดทิ้งของถ่านไม้ และในส่วนของการให้ความร้อนด้วยก๊าซ LPG เริ่มตั้งแต่การผลิต LPG แหล่งของทรัพยากร LPG ในสหราชอาณาจักร กระบวนการผลิต และการจัดจำหน่ายของ LPG การใช้ LPG และการกำจัดทิ้ง LPG รวมไปจนถึง ขั้นตอนการผลิต การใช้ การกำจัดของตะแกรงย่าง และถัง LPG ผลการศึกษา พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของการย่างด้วยถ่านไม้ สำหรับ 150 ชุดตะแกรงออกมา ที่ 998 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 6.7 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อชุดตะแกรง ซึ่งอาจคาดเดาได้ว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดส่วนใหญ่ประมาณ 87% มาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และส่วนที่เหลือมาจากก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ส่วนปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการย่างด้วยก๊าซ LPG สำหรับ 150 ชุดตะแกรงออกมาที่ 349 กิโลกรัมของ

คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ 2.3 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อชุดตะแกรง โดยอาจคาดเดาได้ว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดส่วนใหญ่มาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 99% และส่วนที่เหลือมาจากก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ

จากการศึกษาของ Namy Espinoza-Orias, Heinz Stichnothe and Adisa Azapagic (2011) ได้ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ขนมปังแผ่นหนึ่งก้อน โดยแบ่งขนมปังที่หั่น 2 ขนาด คือ แบบหนา (47 กรัมต่อชิ้น) และขนาดกลาง (40 กรัมต่อชิ้น) ที่มีการผลิตและบริโภคในสหราชอาณาจักร ทำการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลที่มีผลต่อการปล่อยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตขนมปัง ตั้งแต่ แหล่งประเทศที่ปลูกข้าวสาลี (อังกฤษ แคนาดา ฝรั่งเศส เยอรมนี สเปน และสหรัฐอเมริกา) ชนิดของแป้ง (สีขาว สีน้ำตาล และแป้งโฮลวีท) ขนาดของแผ่นขนมปัง (ขนาดกลาง และหนา) และชนิดของบรรจุภัณฑ์ (พลาสติกและถุงกระดาษ) จากนั้นทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ตามวิธีการ PAS 2050 และมาตรฐาน ISO 14044 เพื่อที่จะอธิบายความแตกต่างของผลการประเมินที่ได้จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของทั้งสองวิธีการ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการติดฉลากคาร์บอน และแจ้งให้ผู้บริโภคทราบถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของขนมปัง รวมถึงระบุว่ามีวิธีที่สามารถจะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการศึกษาพบว่า ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์อยู่ในช่วงระหว่าง 977 ถึง 1,244 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อการผลิตขนมปังหนึ่งก้อน โดยที่ขนมปังโฮลวีทที่หั่นเป็นแผ่นหนาบรรจุในถุงพลาสติกมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำที่สุด และขนมปังสีขาวที่หั่นแผ่นขนาดกลางบรรจุในถุงกระดาษมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุด ซึ่งสาเหตุหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มาจากการเพาะปลูกข้าวสาลี มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็น 35% และการบริโภคขนมปังที่มาจากการเก็บรักษาในตู้เย็นและการปิ้งขนมปังมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คิดเป็น 25% ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอาจจะลดลงโดยเฉลี่ย 25% โดยหลีกเลี่ยงการปิ้งขนมปัง และเก็บขนมปังไว้ในตู้เย็นก่อนนำมาบริโภค และอาจจะลดลงประมาณ 5-10% โดยการลดปริมาณการเสียของขนมปังที่ทิ้งจากผู้บริโภค ในส่วนเรื่องการขนส่งและการบรรจุภัณฑ์ส่งผลโดยรวมเพียงเล็กน้อย

จากการศึกษาของ รัตนาวรรณ มั่งคั่ง และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาและประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ เพื่อกระตุ้นให้มีการจัดการเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการผลิต โดยเฉพาะในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารของประเทศไทย ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ทำการศึกษา คือ ข้าวสารหอมมะลิ ขนาดบรรจุ 5 กิโลกรัม และเส้นหมี่แห้งและเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง ขนาดบรรจุ 250 กรัม โดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การปลูกข้าว การสี การแปรรูป การผลิตภาชนะบรรจุ การบรรจุ การจัดจำหน่าย การบริโภค และการกำจัดของเสียหลังบริโภค ตลอดจนการขนส่งของทุกขั้นตอน ซึ่งรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการข้อมูลปฐมภูมิจาก

การสัมภาษณ์ และตรวจวัดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์จากนาข้าว ส่วนข้อมูลทุติยภูมิใช้ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงและฐานข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย และต่างประเทศ ผลการวิเคราะห์ พบว่า ข้าวสารหอมมะลิ 5 กิโลกรัม ผลิตภัณฑ์เส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง ขนาด 250 กรัม มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม มีค่าเท่ากับ 39, 1.9 และ 1.7 กิโลกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ โดยพบว่าขั้นตอนการปลูกข้าวมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด จึงควรให้ความสำคัญกับขั้นตอนการปลูกข้าวเป็นสำคัญ

จากการศึกษาของ นเรศ ใหญ่วงศ์ (2554) ได้ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องโดยอาศัยหลักการการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และวิธีการคัดกรองตัวแปร ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การเพาะปลูก การขนส่งมายังโรงงาน กระบวนการผลิต การบรรจุผลิตภัณฑ์ และการขนส่งไปยังท่าเรือ มีการกำหนดหน่วยหน้าที่ของการศึกษา คือ ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องจำนวน 1 กระป๋อง ขนาด 12 ออนซ์ ผลการศึกษา พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 246 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 94 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด รองลงมา คือ ขั้นตอนการผลิต ส่วนผลจากประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องในรูปแบบการคัดกรองตัวแปรพบว่า ขั้นตอนกระบวนการผลิตมีค่ามากที่สุด โดยมีคะแนนจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 5.95 คะแนน และมีสัดส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 25.82% รองลงมาคือ ขั้นตอนการบรรจุผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการเพาะปลูก ขั้นตอนการขนส่งมายังโรงงาน และขั้นตอนการขนส่งไปยังท่าเรือ ตามลำดับ

จากการศึกษาของ เอกชัย วิรุฬห์ประภา (2556) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยสมมติฐานของขอบเขตที่แตกต่างกันกรณีศึกษา: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผงซักฟอก โดยนำผลิตภัณฑ์ผงซักฟอก 1 กิโลกรัมมาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ตามขอบเขตการประเมินแบบ Business to business (B2B) และแบบ Business to consumer (B2C) และเปรียบเทียบผลการประเมินระหว่างการประเมินจากการใช้ค่าดัชนีจากบัญชีฐานข้อมูลในส่วนกระบวนการต้นน้ำ (Inventory data) ของประเทศไทย และค่าดัชนีจากแบบจำลองปัจจัยการผลิตและผลผลิต (IOA) ซึ่งผลการศึกษาพบว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการประเมินแบบ B2B (PCA) และB2B (IOA) มีค่า 1.319 $kgCO_2$ และ 1.094 $kgCO_2$ ตามลำดับ และการประเมินแบบ B2C (PCA) และB2C (IOA) มีค่า 5.339 $kgCO_2$ และ 6.488 $kgCO_2$ ตามลำดับ ซึ่งการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์แบบ B2C นั้น จะมีค่ามากกว่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์แบบ B2B เนื่องจากขอบเขตการประเมินแบบ B2B ไม่รวมกระบวนการขนส่งผลิตภัณฑ์ การใช้งานผลิตภัณฑ์ และการบำบัดน้ำเสียจากการใช้งานผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีปริมาณการปล่อย CO_2 อย่างมีนัยสำคัญมากที่สุด

จากการศึกษาของ Panatda Riyakad and Siriluk Chiarakorn (2015) ได้ศึกษาปริมาณการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเครื่องใช้เซรามิก: กรณีศึกษาในจังหวัดลำปาง ประเทศไทย ใช้การเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตเครื่องใช้เซรามิกจากโรงงานผลิต มีขอบเขตการศึกษาเป็นแบบ gate to gate โดยอ้างอิงวิธีและหลักการตามคู่มือการคำนวณของคณะกรรมาธิการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ฉบับ ค.ศ. 2006 และอ้างอิงค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากฐานข้อมูลบัญชีขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (Thailand greenhouse gas management organization: TGO) และฐานข้อมูลของ IPCC (Intergovernmental panel on climate change หรือ คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) โดยตัวอย่างที่ใช้เป็นจานเซรามิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 นิ้ว น้ำหนักเฉลี่ยของจานอยู่ 0.41 กิโลกรัม/ ชิ้น มีการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม กระบวนการผลิตของจานเซรามิกประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ การขึ้นรูป การทำให้แห้ง การเผาดิบ (Biscuit firing) การเคลือบ การเผาในเตาเผาเคลือบ (Glost firing) ตรวจสอบคุณภาพ และคัดแยกเกรด โดยในการเผาทั้งสองกระบวนการจะใช้เชื้อเพลงเป็นก๊าซ LPG ผลการศึกษาพบว่า พลังงานที่ใช้ไปทั้งหมดของการผลิตเครื่องใช้เซรามิก คือ 24.28 MJ/ kg ซึ่งเป็นไฟฟ้าที่ใช้ตอนกระบวนการขึ้นรูปเพียง 1.11% และอีก 98.89% เป็นก๊าซ LPG ส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจากกระบวนการผลิตเครื่องใช้เซรามิก จากพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ (พลังงานไฟฟ้าและปิโตรเลียมเหลว) และการสลายของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ระหว่างกระบวนการเผาเคลือบ พบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดคือ 0.237 $kgCO_2eq$/ kg โดยพบว่าขั้นตอนการเผาเคลือบเป็นขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานและปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

การศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เหมาะสมสำหรับ กรณีศึกษา ข้าวหลามหนองมน โดยกำหนดวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการ 3 รูปแบบ มาทำการศึกษาด้วยกรณีศึกษา โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1. ศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ

1.1 การประเมินกระบวนการหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (PCA) โดยใช้บัญชีฐานข้อมูล Inventory data ของประเทศไทย (TGO) ในกระบวนการต้นน้ำ (PCA-TGO)

1.2 การประเมินกระบวนหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ โดยข้อมูลกระบวนการต้นน้ำ ใช้ข้อมูลที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Input-Output analysis (Combined PCA-IOA)

1.3 การประเมินกระบวนการหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ โดยใช้ข้อมูลกระบวนการต้นน้ำ จากการประเมินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a

2. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาของกรณีศึกษา (Goal & Scope definition) พร้อมตั้งวัตถุประสงค์ ขอบเขต และหน่วยการศึกษา (Functional unit) ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ของกรณีศึกษาที่ทำการศึกษา

3. เขียนเส้นทางกระบวนการกรณีศึกษาตามหลัก TES คือ เส้นทางกระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนจากทั้ง 3 วิธีการเผา คือ การเผาข้าวหลามแบบลาน การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG และการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบ

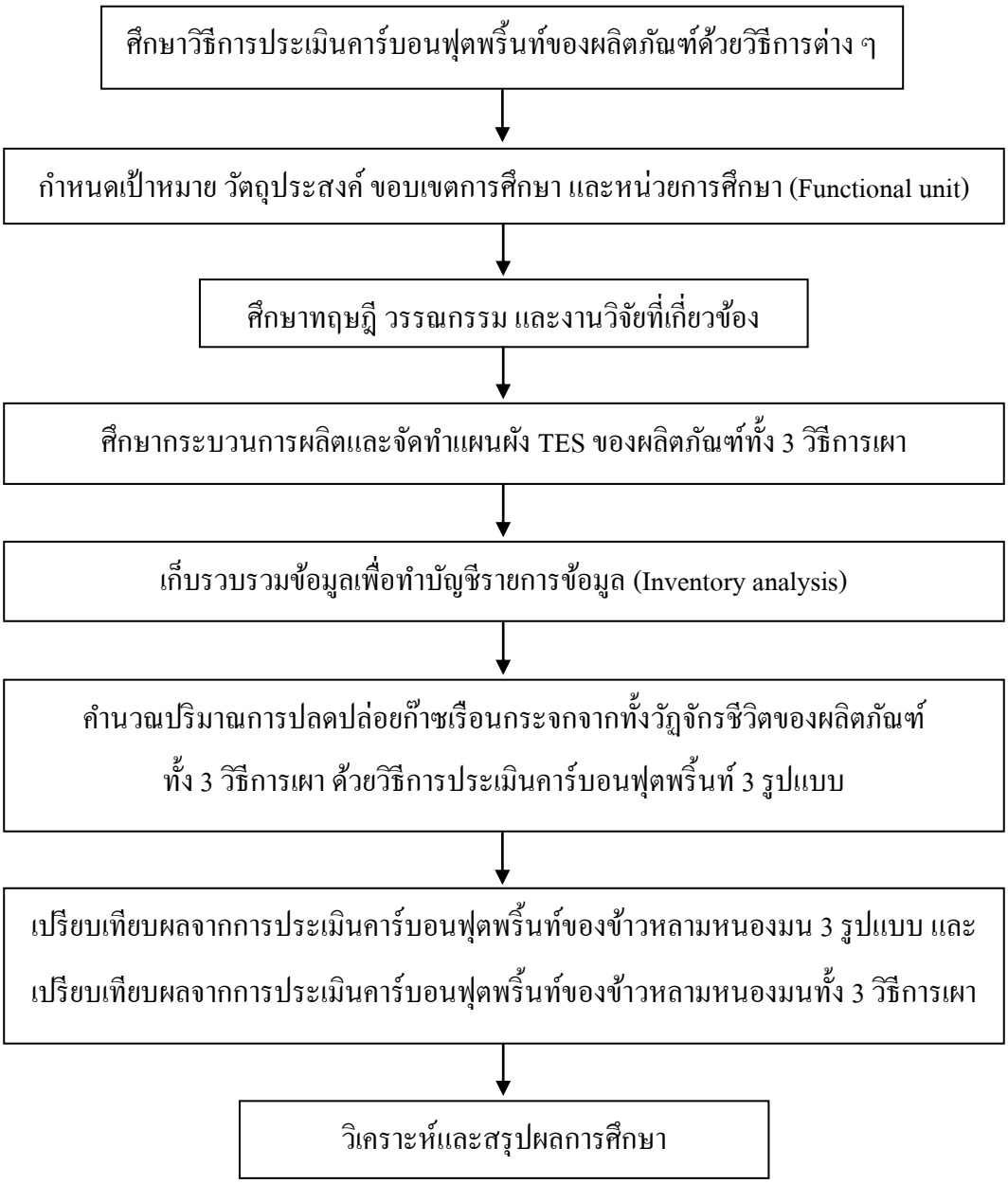
4. ทำการวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการข้อมูล (Inventory analysis) ซึ่งประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบ ราคาของวัตถุดิบ และการลงทุน การผลิต เชื้อเพลิงที่ใช้ การผลิต วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต เชื้อเพลิงที่ใช้ในขั้นตอนการเผา ตลอดจนอายุการใช้งาน จากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

5. คำนวณผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนออกมาในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$) จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO แบบ Combined PCA-IOA และแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a

6. การแปลผล (Interpretation) เป็นขั้นตอนนำผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์มาสรุปและเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากการผลิตข้าวหลามหนองมนทั้ง 3 วิธีการเผา ด้วยด้วยวิธีการประเมิน 3 รูปแบบ

7. สรุปผลการศึกษา

โดยมีการแสดงขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 3-1

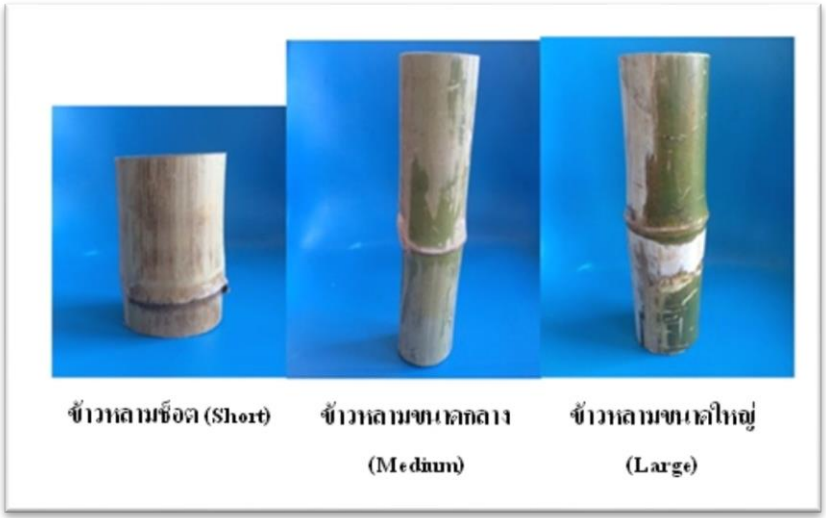


ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาของกรณีศึกษา

เป้าหมายของการศึกษา (Goal definition) คือ เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมน ตามมาตรฐาน ISO 14067 ด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO แบบ Combined PCA-IOA และแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a

หน่วยการศึกษา (Functional unit) คือ ข้าวหลามหนองมน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร จำนวน 143 กระบอก แบ่งออกเป็นข้าวหลาม 3 ขนาด คือ ข้าวหลามช็อต (Short) ข้าวหลามขนาดกลาง (Medium) และข้าวหลามขนาดใหญ่ (Large) ดังภาพที่ 3-2 และมีรายละเอียดตามตารางที่ 3-1



ภาพที่ 3-2 ขนาดข้าวหลามหนองมน

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดของข้าวหลามหนองมน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

Size	ข้าวหลามช็อต (Short)	ข้าวหลามขนาดกลาง (Medium)	ข้าวหลามขนาดใหญ่ (Large)
Diameter (cm)	8	6	9
Height (cm)	13	26	26
Net volume (ml)	70	80	100
Market price (baht)	40	35	50
Number (bamboo flask)	20	98	25

ขอบเขตการศึกษา คือ ทำการประเมินและเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนจากการเผา 3 วิธีการเผา คือ การเผาข้าวหลามแบบลาน การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG และการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล โดยประเมินตามรูปแบบการประเมิน 3 รูปแบบ ตามมาตรฐาน ISO 14067 ด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO การประเมินแบบ Combined PCA-IOA และการประเมินด้วย SimaPro เวอร์ชั่น 8.2 วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a

การผลิตข้าวหลามหนองมน

ข้าวหลามหนองมนที่ทำการศึกษา จะมาจากกระบวนการเผาที่มีความแตกต่างกัน ในกรรมวิธีการเผา 3 วิธีการเผา จำนวน 143 กระบอก แบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ ข้าวหลามขนาดช๊อต 20 กระบอก ข้าวหลามขนาดกลาง 98 กระบอก และข้าวหลามขนาดใหญ่ 25 กระบอก แบ่งขั้นตอนออกเป็น

1. การเตรียมกระบอกไม้ไผ่สำหรับใส่ข้าวหลาม

นำไม้ไผ่ป่า ลำต้นตรง มีสีเขียวจัด จำนวน 16 ลำ มาตัดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ด้วยเลื่อยสำหรับเลื่อยไม้ แล้วนำไปล้างน้ำให้สะอาด ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม

2. ส่วนประกอบและวัตถุดิบข้าวหลาม

2.1 ข้าวเหนียว จำนวน 10 ลิตร

2.2 กะทิ จำนวน 7 กิโลกรัม

2.3 น้ำตาลทราย จำนวน 5 กิโลกรัม

2.4 เกลือป่น จำนวน 2 กิโลกรัม

2.5 ถั่วดำ จำนวน 1 กิโลกรัม

2.6 เผือก จำนวน 1 กิโลกรัม

2.7 กล้วยตาก จำนวน 7 กิโลกรัม

3. วิธีทำข้าวหลามหนองมน

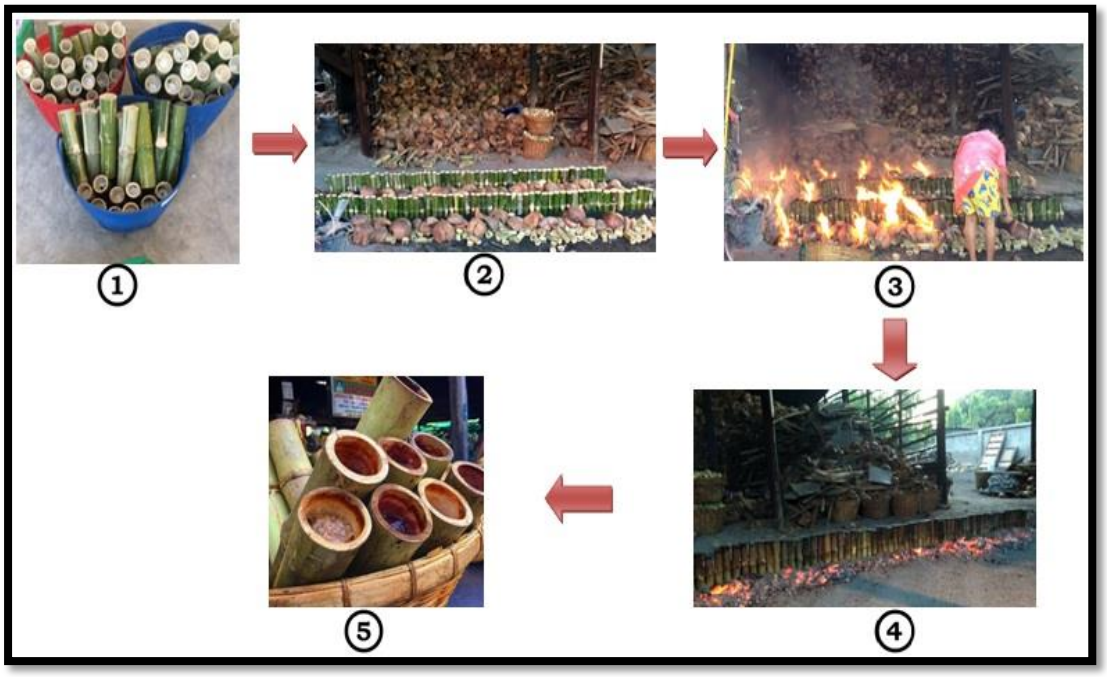
3.1 นำข้าวเหนียวมาแช่น้ำสะอาดทิ้งไว้ข้ามคืน

3.2 นำหัวกะทิและหางกะทิมาผสมกันในหม้อ เติมน้ำตาลทราย และเกลือป่น ต้มจนเดือด เป็นเนื้อเดียวกัน

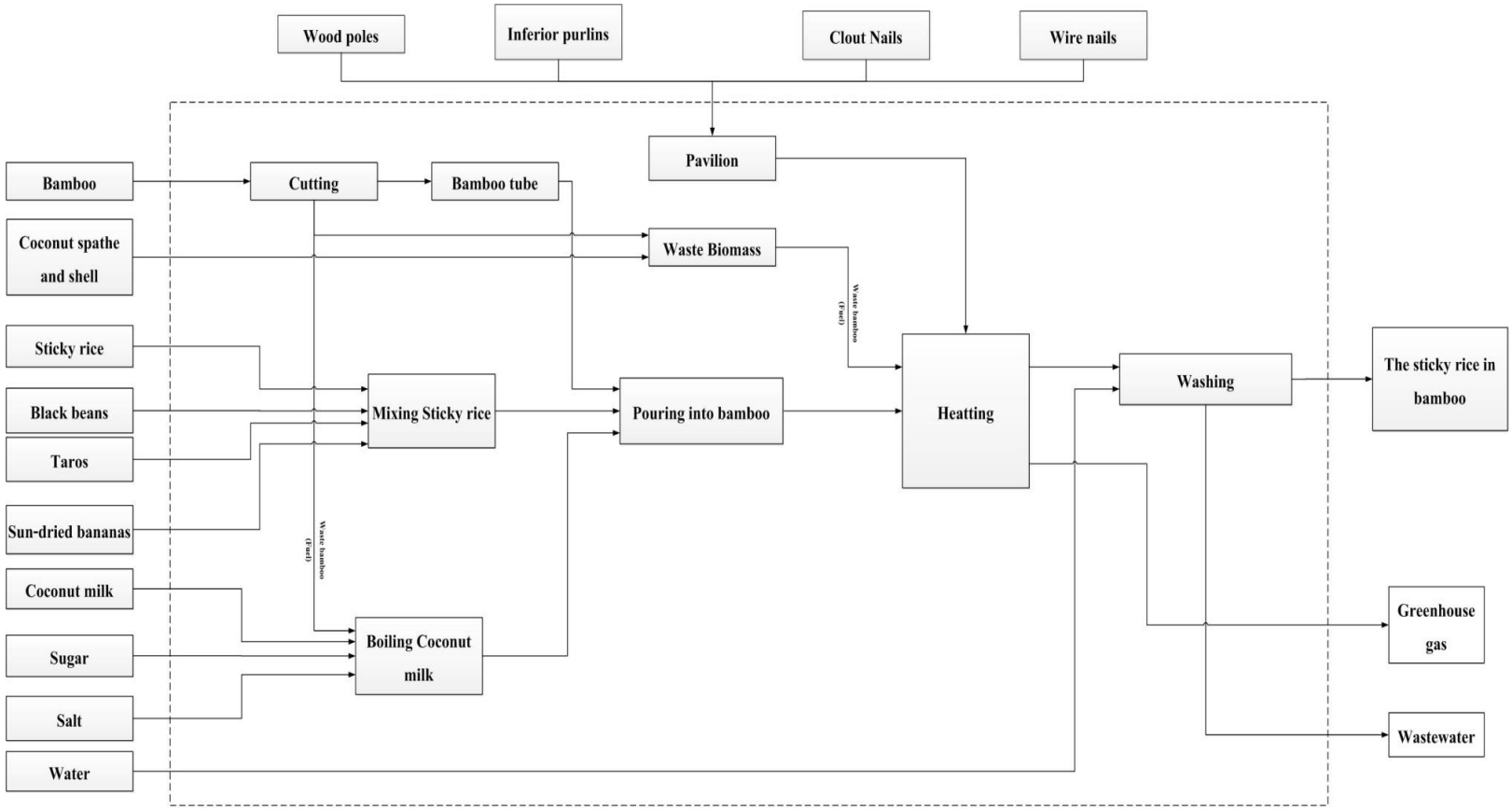
3.3 กรอกข้าวเหนียวลงในกระบอกไม้ไผ่ ประมาณครึ่งกระบอก ใส่ถั่วดำ เผือก และกล้วยตากอย่างละนิดหน่อย เติมกะทิตามลงไป ให้สูงกว่าข้าวเหนียวเล็กน้อย ใช้ช้อนแล้วคนให้กะทิกระจายทั่วกระบอก

3.4 นำไปเผาด้วยวิธีการต่าง ๆ

3.4.1 วิธีการเผาที่ 1 การเผาข้าวหลามแบบลาน มีวิธีการดังภาพที่ 3-3 และมีการจัดทำเส้นทาง TES ของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิตดังภาพที่ 3-4

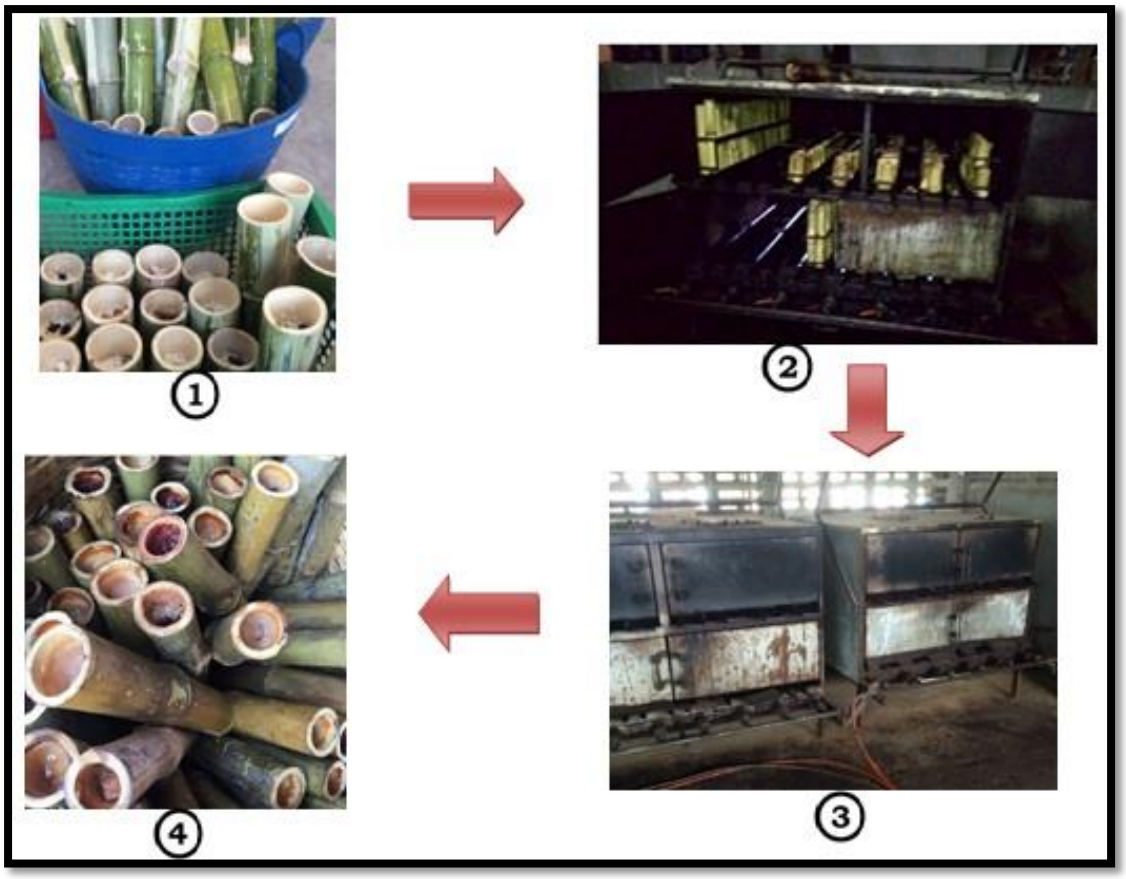


ภาพที่ 3-3 กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลาน

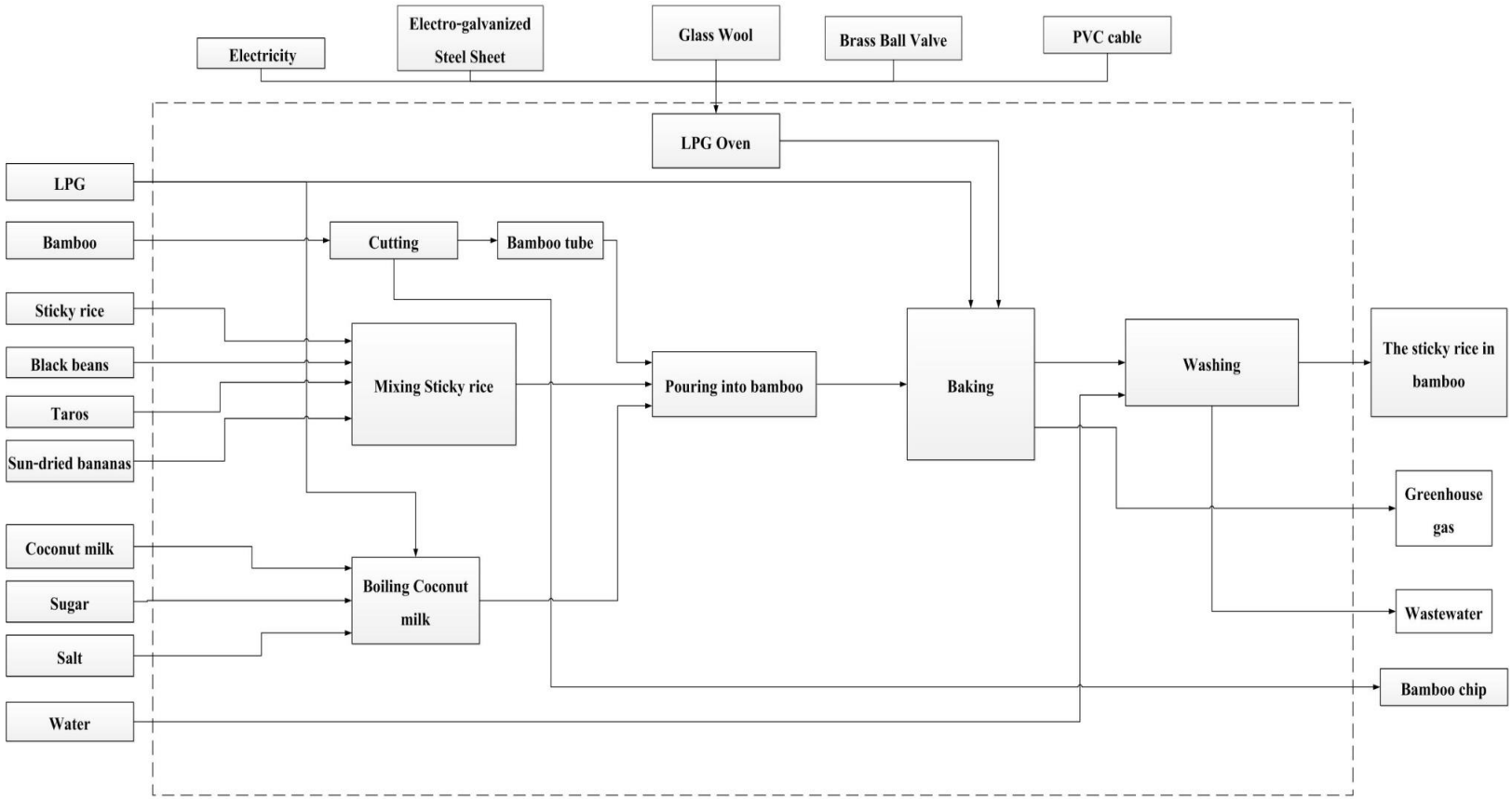


ภาพที่ 3-4 กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลานในรูปแบบเส้นทาง TES

3.4.2 วิธีการเผาที่ 2 การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG มีวิธีการดังภาพที่ 3-5 และมีการจัดทำเส้นทาง TES ของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิตดังภาพที่ 3-6



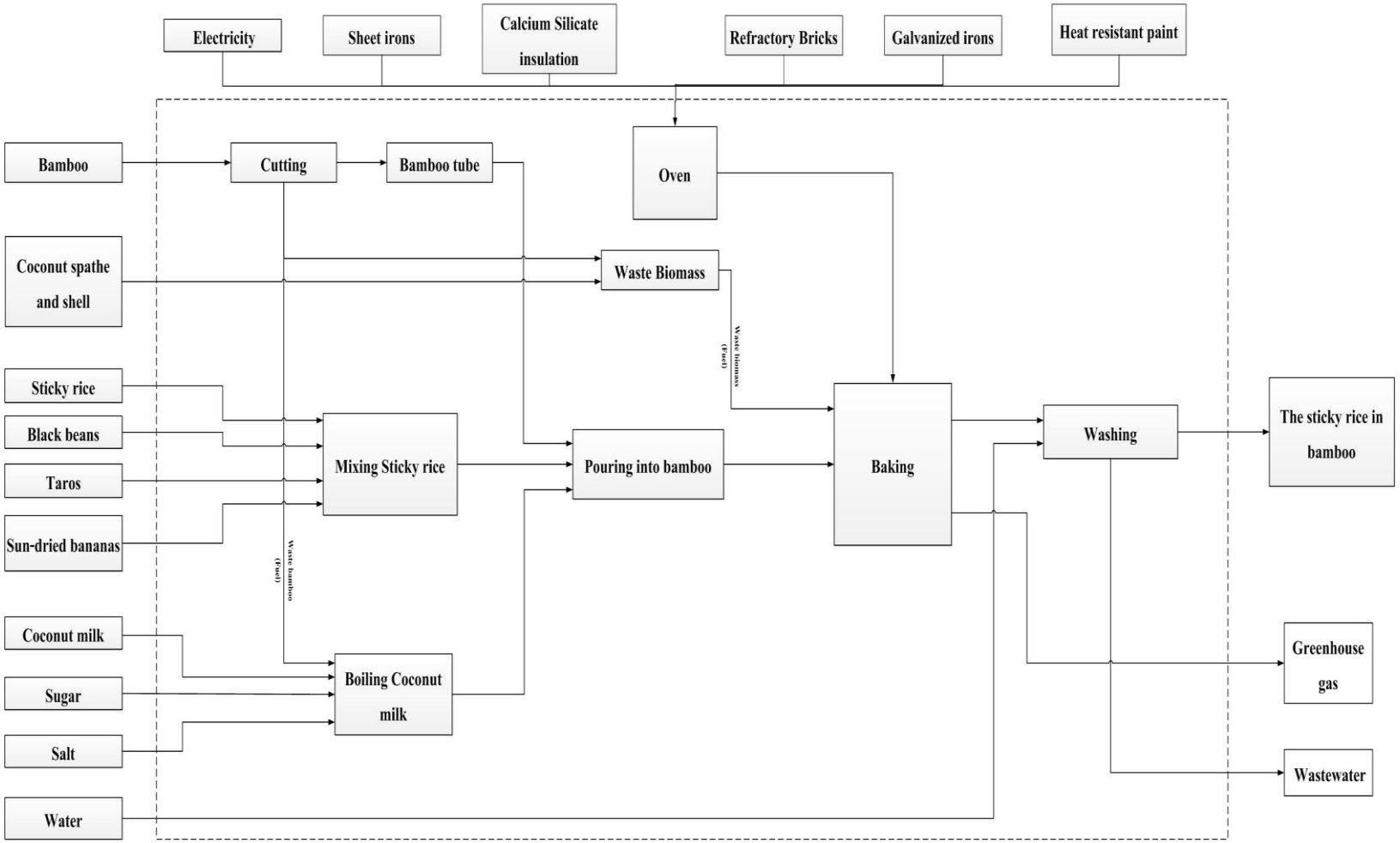
ภาพที่ 3-5 กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG



ภาพที่ 3-6 กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG ในรูปแบบเส้นทาง TES

3.4.3 วิธีการเผาที่ 3 การเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล มีวิธีการดังภาพที่ 3-7 และมีการจัดทำเส้นทาง TES ของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิตดังภาพที่ 3-8

ภาพที่ 3-7 กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยเตาเผาข้าวหลามชีวมวล



ภาพที่ 3-8 กระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยเตาเผาข้าวหลามชีวมวล ในรูปแบบเส้นทาง TES

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำบัญชีรายการข้อมูล

เป็นการจัดทำบัญชีรายการข้อมูลของการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบ และเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการ คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณการใช้ก๊าซหุงต้ม (ก๊าซ LPG) เศษไม้ไผ่ กาบมะพร้าว และเศษไม้ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ผลิตข้าวหลามในพื้นที่ชุมชนหนองมน ซึ่งแบ่งออกเป็น

1. ปริมาณการใช้วัตถุดิบในการผลิตข้าวหลามหนองมน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

การเก็บข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ ใช้วิธีการเก็บข้อมูลจริงจากขั้นตอนการเตรียมข้าวหลามของร้านข้าวหลามลุงประยงค์-ป้าวิไล ตามตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ปริมาณวัตถุดิบและราคาของวัตถุดิบข้าวหลามหนองมน จำนวน 143 กระบอก

ส่วนประกอบและวัตถุดิบ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
ข้าวเหนียว*	16	กิโลกรัม	40	640
กะทิ	7	กิโลกรัม	65	455
น้ำตาลทราย	5	กิโลกรัม	30	150
เกลือป่น	2	กิโลกรัม	12	24
ถั่วดำ	1	กิโลกรัม	25	25
เผือก	1	กิโลกรัม	40	40
กล้วยตาก	1	กิโลกรัม	80	80
ไม้ไผ่ 16 ลำ	16	ลำ	40	640
น้ำประปา (0.045 หน่วย)**	45	ลิตร	10.20	0.459

หมายเหตุ: *ข้าวเหนียว 10 ลิตร หนักเท่ากับ 16 กิโลกรัม

2. กระบวนการผลิต และเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิตข้าวหลาม ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

2.1 กระบวนการเผาข้าวหลามแบบดั้งเดิม หรือการเผาแบบลาน

การเก็บข้อมูลกระบวนการเผาข้าวหลามแบบลาน ใช้วิธีการสอบถามข้อมูลจากร้านข้าวหลามแม่นิยม

2.1.1 การสร้างโรงเผาข้าวหลามแบบลาน

ในการเผาข้าวหลามหนองมนแบบลาน จำเป็นจะต้องหาพื้นที่ เพื่อสร้างเป็นโรงเผาข้าวหลาม ซึ่งมีลักษณะเป็นโรงเสาไม้ 4 ต้น มุงด้วยหลังคาสังกะสี ตามตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างโรงเผาข้าวหลาม

วัตถุดิบ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
เสาไม้เนื้อแข็ง 4 ต้น	99	กิโลกรัม	320	1,280
คานไม้เนื้อแข็ง 6 ต้น	150	กิโลกรัม	320	1,920
สังกะสีมุงหลังคา 12 แผ่น	6	กิโลกรัม	14	84
ตะปู	1	กิโลกรัม	22	22
ตะปูตอกสังกะสี 1 กล่อง	18	กิโลกรัม	510	510

2.1.2 ปริมาณวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาข้าวหลามแบบลาน

การเผาข้าวหลามแบบดั้งเดิม หรือการเผาแบบลาน ทำโดยการวางเรียงข้าวหลามบนพื้นดินเป็นแถวยาว สุมด้วยกาบมะพร้าว กะลามะพร้าว และเศษไม้ใผ่ข้างกระบอกข้าวหลามตามตารางที่ 3-4 แล้วจุดไฟ เพื่อเผา ใช้เวลาในการเผาให้ข้าวหลามสุก ประมาณ 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 3-4 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาข้าวหลามแบบลาน

ชนิด	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
กาบมะพร้าว	20	กิโลกรัม	5	100
กะลามะพร้าว	25	กิโลกรัม	5	125
เศษไม้ใผ่	30	กิโลกรัม	5	150

2.2 กระบวนการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG

การเก็บข้อมูลกระบวนการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG ใช้วิธีการสอบถามข้อมูลจากร้านข้าวหลามหนองมนแม่สุภา

2.2.1 การสร้างเตาเผาข้าวหลามโดยใช้ก๊าซ LPG

เตาเผาข้าวหลามโดยใช้ก๊าซ LPG จะมีลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในตู้แบ่งเป็น 2 ชั้น สำหรับวางกระบอกข้าวหลาม สร้างจากเหล็กซิงค์ มีฉนวนใยแก้ว สำหรับกันความร้อน มีหัวปรับแรงดัน จำนวน 8 หัว ต่อกับถังก๊าซ LPG ขนาดบรรจุก๊าซ 48 กิโลกรัม 1 ถัง ตามตารางที่ 3-5 โดย 1 รอบการเผา จะใช้ก๊าซ LPG 16 กิโลกรัม ในการเผาให้ข้าวหลามสุก ใช้เวลาประมาณ 2.30-3 ชั่วโมง

ตารางที่ 3-5 ปริมาณวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาข้าวหลามโดยใช้ก๊าซ LPG

วัตถุดิบและเชื้อเพลิง	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
แผ่นเหล็กซิงค์	6	แผ่น	320	1,920
เหล็กซิงค์แบบกล่อง	5	ท่อน	296	1,480
ฉนวนใยแก้ว	1	แผ่น	2,640	2,640
บอลวาล์วทองเหลือง	8	หัว	390	3,120
สายก๊าซหุงต้ม PVC	2.5	เมตร	150	150
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	16	กิโลกรัม	21.875	350

2.2.2 ไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเตาเผาข้าวหลามโดยใช้ก๊าซ LPG

ในการสร้างเตาเผาข้าวหลามโดยใช้ก๊าซ LPG นั้น มีอุปกรณ์เครื่องมือที่ต้องใช้ไฟฟ้าในการทำงาน ตามตารางที่ 3-6 ซึ่งในการสร้างเตาเผาข้าวหลามโดยใช้ก๊าซ LPG จะใช้เวลา 3 วัน

ตารางที่ 3-6 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเตาเผาข้าวหลามโดยใช้ก๊าซ LPG

เครื่องมือ	**จำนวน**	**หน่วย**	**กำลังไฟฟ้า (วัตต์)**	**จำนวนชั่วโมงที่ใช้ (ชั่วโมง)**	**พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)**
เครื่องเชื่อมไฟฟ้า	1	ตัว	5300	4	63.6
สว่านไฟฟ้า	2	ตัว	650	6	23.4
เครื่องตัดเหล็กไฟฟ้า	1	ตัว	2000	3	18
เครื่องเจียร์ไฟฟ้า	2	ตัว	1050	5	47.25
หลอดไส้	3	หลอด	100	8	7.2
พัดลมเพดาน	1	ตัว	150	6	2.7
พัดลมตั้งพื้น	1	ตัว	45	8	1.08

2.3 กระบวนการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล

2.3.1 การสร้างเตาเผาข้าวหลามชีวมวล

ใช้ข้อมูลจากการสร้างเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 3 (กฤษรัตน์ มงคลธนชัย และคณะ, 2558) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ห้องบรรจุกระบอกข้าวหลาม และส่วนที่ 2 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งทำจากสังกะสี โดยห้องเผาไหม้จะบุฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนด้วยอิฐทนไฟและแคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate) ส่วนประตูของห้องบรรจุข้าวหลามจะด้วยบุฉนวนแคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate) ไว้ด้านใน เพื่อป้องกันความร้อนสูญเสีย ตามตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ปริมาณวัตถุดิบและเชื้อเพลิงที่ใช้ในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล

วัตถุดิบและเชื้อเพลิง	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
เหล็กกล่อง 25×25 mm. หนา 2.3 mm.	3	เส้น	240	720
เหล็กกล่อง 50×50 mm. หนา 2.3 mm.	3	เส้น	435	1,305
เหล็กฉาก 50 mm. หนา 2.3 mm.	2	เส้น	310	620
เหล็กกล่อง 20×20 mm. หนา 1.2 mm.	4	เส้น	110	440
เหล็กแบน 25 mm. หนา 2 mm.	1	แผ่น	90	90
เหล็กแผ่นเจาะรู 25×25 mm. หนา 2.3 mm.	1	แผ่น	1,200	1,200
ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต	38	ชิ้น	150	5,700
อิฐทนไฟ	44	ก้อน	60	2,640
สังกะสี	8	แผ่น	450	3,600
ปล่องควัน	1	ชิ้น	4,280	4,280
สีทนความร้อน	1	กระป๋อง	2,197	2,197
เศษไม้ไผ่	3.6	กิโลกรัม	5	18
กาบมะพร้าว	14.4	กิโลกรัม	5	72

2.3.2 ไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเตาเผาข้าวหลามชีวมวล

การเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 3 (กฤษรัตน์ มงคลธนชัย และคณะ, 2558) ที่ออกแบบ พัฒนาและสร้างโดยนิสิตปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา ใช้เวลาในการสร้างรวมทั้งสิ้น 15 วัน โดยมีอุปกรณ์เครื่องมือที่ต้องใช้ไฟฟ้าในการทำงาน ตามตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างเตาเผาข้าวหลามชีวมวล

เครื่องมือ	จำนวน	หน่วย	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	จำนวนชั่วโมงที่ใช้ (ชั่วโมง)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)
เครื่องเชื่อมไฟฟ้า	1	ตัว	5,300	6	477
สว่านไฟฟ้า	1	ตัว	650	6	58.5
เครื่องตัดเหล็กไฟฟ้า	1	ตัว	2,000	8	240
เครื่องเจียร์ไฟฟ้า	1	ตัว	1,050	5	78.75

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตข้าวหลามหนองมน

ในกระบวนการผลิตข้าวหลามหนองมนได้มีการจำแนกข้อมูลวัตถุดิบที่ใช้ วัสดุอุปกรณ์เครื่องมือ เชื้อเพลิง และต้นทุนที่ใช้ในการผลิตข้าวหลามหนองมน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร จำนวน 143 กระบอก โดยมีการประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยวิธีการเผา ทั้ง 3 วิธีการเผา ด้วยวิธีการประเมิน 3 รูปแบบ คือ

1. การประเมินกระบวนการหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (PCA) โดยใช้บัญชีฐานข้อมูล Inventory data ของประเทศไทย (TGO) ในกระบวนการต้นน้ำ (PCA-TGO) โดยจำแนกข้อมูลตามตารางค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emission Factor) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559) ดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 ค่า CO_2 Emission Factor ของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการ ($kgCO_{2eq}$/ หน่วย)

ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ข้าวเหนียว	kg	7.8	ข้อมูลจากโครงการวิจัย “การวิเคราะห์และจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวสำหรับการติดฉลากคาร์บอน เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำในการบรรเทาภาวะโลกร้อน” โดย ดร.รัตนาวรรณ มั่งคั่ง และคณะ

ตารางที่ 3-9 (ต่อ)

ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
กะทิ	kg	0.0109	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (น้ำกะทิ)
น้ำตาลทราย	kg	1.08	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (น้ำตาล)
เกลือป่น	kg	0.0056	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (เกลือทะเล)
ถั่วดำ	kg	0.3684	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (ถั่วดำ)
เผือก	kg	0.0548	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (มันสำปะหลังอินทรีย์)
กล้วยตาก	kg	0.4336	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (กล้วยไข่)
น้ำประปา	m^3	0.7043	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (น้ำประปาการประปาภูมิภาค)
กาบมะพร้าว	kg	0.6563	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (มะพร้าว)
กะลามะพร้าว	kg	0.6563	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (มะพร้าว)
ไม้ไผ่	kg		คำนวณด้วยการขนส่งจากจังหวัดกาญจนบุรี ระยะทาง 229 กิโลเมตร ด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน
เสาไม้เนื้อแข็ง	kg	0.0615	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (Wood domestic)
คานไม้เนื้อแข็ง	kg	0.0615	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (Wood domestic)

ตารางที่ 3-9 (ต่อ)

ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
สังกะสีมุงหลังคา	kg	2.7073	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (Galvanized steel)
ตะปู	kg	1.76	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (เหล็ก)
ตะปูตอกสังกะสี	kg	1.76	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (เหล็ก)
แผ่นเหล็กซิงค์	kg	2.7073	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (Galvanized steel)
เหล็กซิงค์แบบกล่อง	kg	2.7073	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (Galvanized steel)
ฉนวนใยแก้ว	kg	2.5453	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (ฉนวนใยแก้ว)
บอลวาล์วทองเหลือง	kg	2.4528	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (Bass)
สายก๊าซหุงต้ม PVC	kg	2.4704	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (PVC)
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	kg	3.1100	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (ก๊าซหุงต้ม)
เหล็ก	kg	2.4495	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (Steel, plate)
ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต	kg	1.0676	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (หินปูน (lime, CaCO3) - การผลิต)
อิฐทนไฟ	kg	0.2414	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (Brick)

ตารางที่ 3-9 (ต่อ)

ชื่อ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
สังกะสี	kg	2.7073	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (Galvanized steel)
สีทนความร้อน	kg	2.86	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (Alkyd resin, long oil, 70% in white sprit, at plant/ RER U)
ไฟฟ้า	kWh	0.6093	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (ไฟฟ้า)

2. การประเมินกระบวนหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ โดยใช้ข้อมูลกระบวนการต้นน้ำที่ได้จากการประเมินแบบ Input-Output analysis (Combined PCA-IOA) นำข้อมูลมาจำแนกตามตารางค่าความหนาแน่นของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emissions Intensity) (Pawinee Suksuntornsiri et al., 2013) ดังตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10 ค่า CO_2 Emissions Intensity ปี 2558 ของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการ (t- CO_2/ million Baht)

กระบวนการ	Sector Code	Sector	ค่า EF
การเตรียมวัตถุดิบข้าวหลาม			
ข้าวเหนียว	001	การทำนา	17.53
โรงสีข้าว	049	โรงสีข้าว	19.18
ถั่วดำ	006	การทำไร่พืชตระกูลถั่ว	20.25
เผือก	005	การเพาะปลูกพืชไร่อื่น ๆ	13.63
กล้วยตาก	008	การทำสวนผลไม้	21.25
กะทิ	010	การทำสวนมะพร้าว	4.06
น้ำตาล	055	การผลิตน้ำตาล	20.92
เกลือ	060	การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ	22.81

ตารางที่ 3-10 (ต่อ)

กระบวนการ	Sector Code	Sector	ค่า EF
การเผาแบบลาน			
เสาไม้	025	การทำไม้ซุง	9.10
คานไม้	078	โรงเลื่อย	18.16
สังกะสีมุงหลังคา	035	การทำเหมืองแร่อื่น ที่มิใช่แร่เหล็ก	19.31
ตะปู	108	การผลิตเครื่องตัด เครื่องมือและเครื่องใช้ที่ทำด้วยเหล็ก	40.33
ตะปูตอกสังกะสี	108	การผลิตเครื่องตัด เครื่องมือและเครื่องใช้ที่ทำด้วยเหล็ก	40.33
ไม้ไผ่	027	ผลิตภัณฑ์จากป่าและการล่าสัตว์อื่น ๆ	12.10
กาบมะพร้าว	010	การทำสวนมะพร้าว	4.06
กะลามะพร้าว	010	การทำสวนมะพร้าว	4.06
การเตาเผาโดยใช้ ก๊าซ LPG			
เหล็กซิงค์	106	การผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กกล้า	61.87
ฉนวนใยแก้ว	100	การผลิตแก้ว ผลิตภัณฑ์แก้ว	72.43
บอลวาล์วทองเหลือง	111	การผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ	50.58
สายก๊าซหุงต้ม PVC	086	การผลิตยางสังเคราะห์ และปิโตรเคมี	70.44
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	136	การผลิตก๊าซธรรมชาติ	110.06
เตาเผาข้าวหลามเชื้อเพลิงชีวมวล			
เหล็กกล่อง 25×25 mm. หนา 2.3 mm.	032	การทำเหมืองแร่เหล็ก	25.64
เหล็กกล่อง 50×50 mm. หนา 2.3 mm.	032	การทำเหมืองแร่เหล็ก	25.64
เหล็กฉาก 50 mm. หนา 2.3 mm.	032	การทำเหมืองแร่เหล็ก	25.64
เหล็กกล่อง 20×20 mm. หนา 1.2 mm.	032	การทำเหมืองแร่เหล็ก	25.64
เหล็กแบน 25 mm. หนา 2 mm.	032	การทำเหมืองแร่เหล็ก	25.64

ตารางที่ 3-10 (ต่อ)

กระบวนการ	Sector Code	Sector	ค่า EF
เหล็กแผ่นเจาะรู 25×25 mm. หนา 2.3 mm.	032	การทำเหมืองแร่เหล็ก	25.64
	039	การทำเหมืองหินปูน	13.05
ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต	101	การผลิตผลิตภัณฑ์จากดินที่ใช้กับงานก่อสร้าง	88.23
อิฐทนไฟ			
	035	การทำเหมืองแร่อื่นที่มิใช่แร่เหล็ก	19.31
สังกะสี			
	087	การผลิตสีทา น้ำมันชักเงา และแลคเกอร์	66.19
สีทนความร้อน			
น้ำประปา	137	การประปา	25.43
ไฟฟ้า	135	การไฟฟ้า	112.84

3. การประเมินกระบวนการหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ โดยใช้ข้อมูลกระบวนการต้นน้ำ จากการประเมินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมน โดยใช้ข้อมูลกระบวนการต้นน้ำ จากการประเมินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 8.2 ด้วยวิธี IPCC 2013 GWP 100a โดยอาศัยฐานข้อมูล Ecoinvent เวอร์ชั่น 3 เป็นตัวประเมิน ดังตารางที่ 3-11

ตารางที่ 3-11 การเลือกใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 8.2

ชื่อ	หน่วย	ฐานข้อมูล
ข้าวเหนียว	kg	Rice {RoW}| production	Consequences, Unit
กะทิ	kg	เพิ่มข้อมูลโดยใช้ฐานข้อมูล Inventory data ของประเทศไทย (TGO)
น้ำตาลทราย	kg	Sugar cane, at farm/ TH Mass

ตารางที่ 3-11 (ต่อ)

ชื่อ	หน่วย	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
เกลือป่น	kg	Sodium chloride, powder {RoW}| production | Consequences, Unit
ถั่วดำ	kg	Beans, dry, at farm/ US Mass
เผือก	kg	เพิ่มข้อมูลโดยใช้ฐานข้อมูล Inventory data ของประเทศไทย (TGO)
กล้วยตาก	kg	Banana {GLO}| production | Consequences, Unit
กาบมะพร้าว	kg	Coconut husk, from dehusking, at plant/ PH Energy
กะลามะพร้าว	kg	Coconut husk, from dehusking, at plant/ PH Energy
เศษไม้ไผ่	kg	เพิ่มข้อมูลโดยใช้ฐานข้อมูล Inventory data ของประเทศไทย (TGO)
เสาไม้เนื้อแข็ง	kg	Bark, hardwood, green, at logyard, NE-NC/ kg/ RNA
คานไม้เนื้อแข็ง	kg	Bark, hardwood, green, at logyard, NE-NC/ kg/ RNA
สังกะสีมุงหลังคา	kg	Galvanized steel sheet, at plant/RNA
ตะปู	kg	Sinter, iron {GLO}| production | Conseq, U
ตะปูตอกสังกะสี	kg	Sinter, iron {GLO}| production | Conseq, U
แผ่นเหล็กซิงค์	kg	Galvanized steel sheet, at plant/ RNA
เหล็กซิงค์แบบกล่อง	kg	Galvanized steel sheet, at plant/ RNA
ฉนวนใยแก้ว	kg	Glass wool mat {RoW}| production | Consequences, Unit
บอลวาล์ว ทองเหลือง	kg	Brass {RoW}| production | Consequences, Unit
สายก๊าซหุงต้ม PVC	kg	PVC pipe E
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	kg	Liquefied petroleum gas {RoW}| petroleum refinery operation | Consequences, Unit
เหล็กรูปพรรณ	kg	Cast iron {RoW}| production | Consequences, Unit

ตารางที่ 3-11 (ต่อ)

ชื่อ	หน่วย	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต	Kg	Calcium silicate, blocks and elements, production mix, at plant, density 1400 to 2000 kg/ m^3 RER S
อิฐทนไฟ	kg	Clay brick {RoW}| production | Consequences, Unit
สังกะสี	kg	Zinc, sheet/ GLO
สีทนความร้อน	kg	Alkyd resin, long oil, without solvent, in 70% white spirit solution state {RoW}| alkyd resin production, long oil, product in 70% white spirit solution state | Consequences, Unit
ไฟฟ้า	kWh	Electricity, high voltage {TH}| electricity production, natural gas, combined cycle power plant | Consequences, Unit

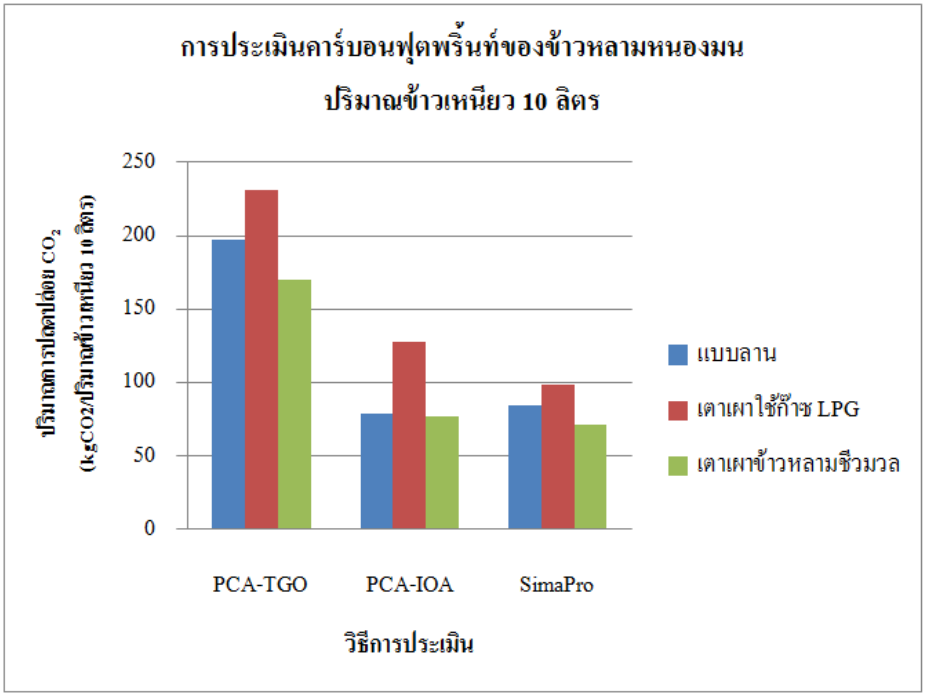
การแปลผล

หลังจากทำการประเมินผลกระทบ เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$) จากทั้ง 3 วิธีการเผา จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วย 3 รูปแบบการประเมิน คือ

การประเมินแบบ PCA-TGO แบบ Combined PCA-IOA และแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a

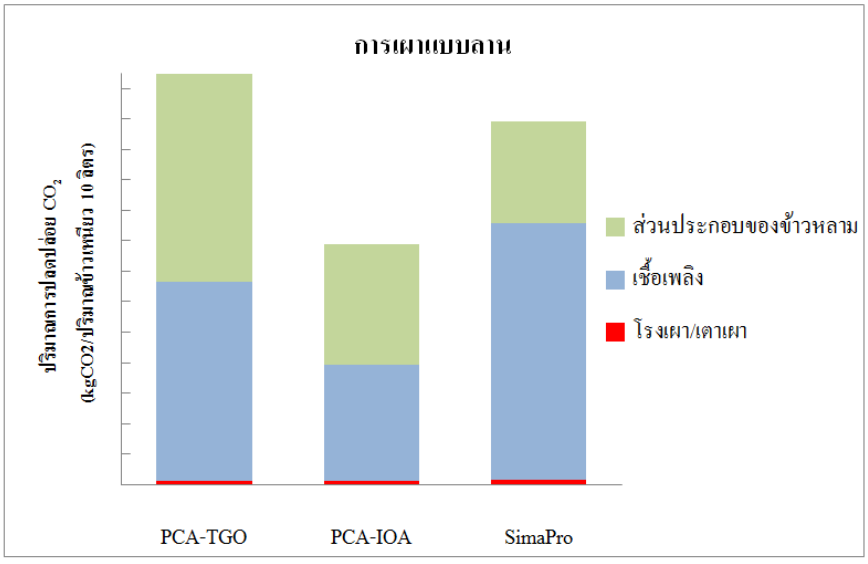
การเปรียบเทียบแบ่งออกเป็น

1. เปรียบเทียบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน ด้วย 3 รูปแบบการประเมิน โดยเปรียบเทียบตามรูปแบบการประเมิน ดังภาพที่ 3-9



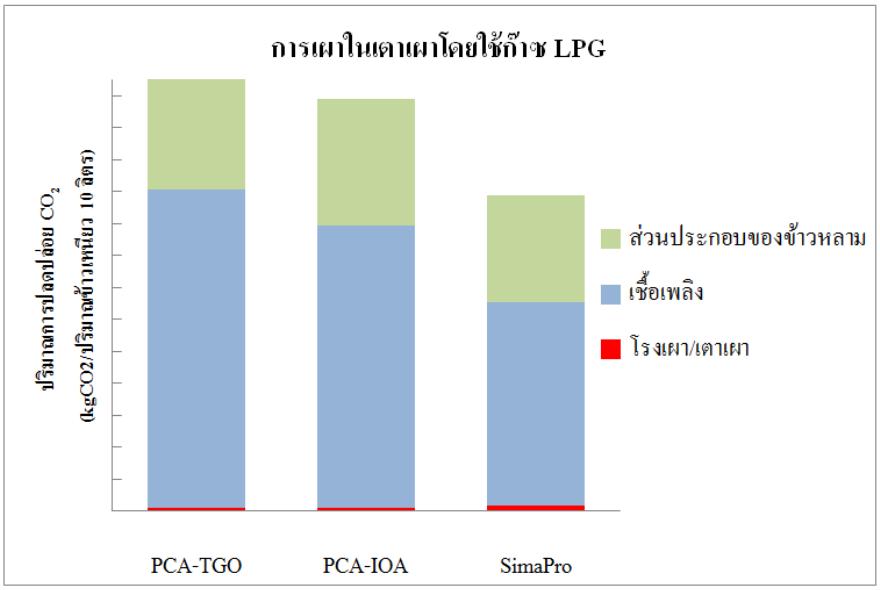
ภาพที่ 3-9 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนด้วย 3 รูปแบบการประเมิน

2. เปรียบเทียบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน วิธีการเผาแบบลาน ดังภาพที่ 3-10



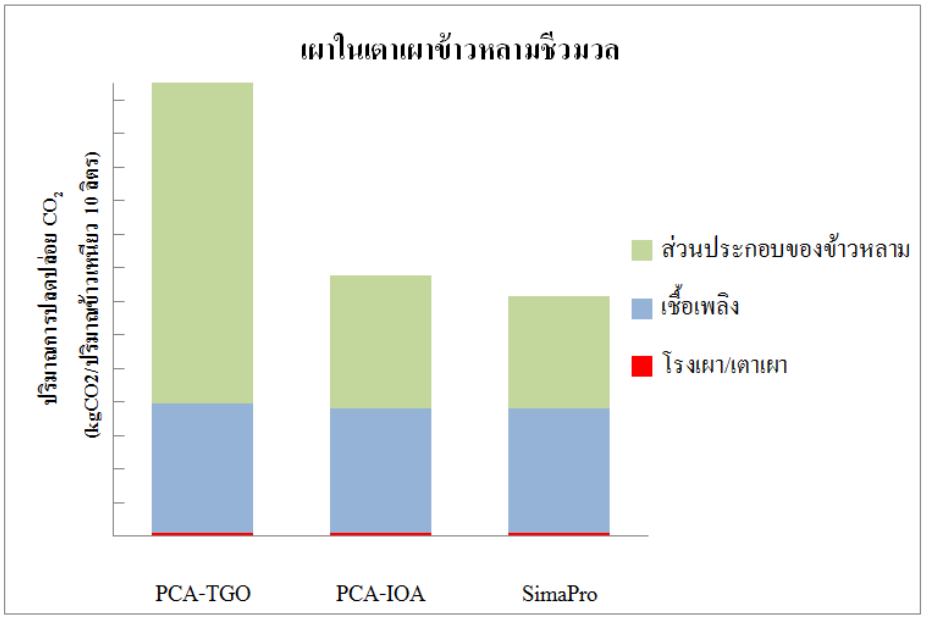
ภาพที่ 3-10 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน วิธีการเผาแบบลาน

3. เปรียบเทียบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน วิธีการเผาในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน วิธีการเผาในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG

4. เปรียบเทียบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน วิธีการเผาในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล ดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน วิธีการเผาในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล

บทที่ 4
ผลการศึกษา

การศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการเลือกวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (CFP) ของผลิตภัณฑ์ในประเทศไทย กรณีศึกษา ข้าวหลามหนองมน มีผลการศึกษาจากการศึกษา เก็บรวบรวมข้อมูล และประเมิน CFP ของผลิตภัณฑ์ โดยเปรียบเทียบการประเมิน CFP ของข้าวหลามหนองมนจาก 3 วิธีการเผา ด้วย 3 รูปแบบการประเมิน ได้ผลการประเมินดังภาพที่ 4-1

1. การประเมินปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลาน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร โดยใช้การประเมินแบบ PCA-TGO เท่ากับ 164.63 $kgCO_{2eq}$ /ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

2. การประเมินปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลาน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร โดยใช้การประเมินแบบ Combined PCA-IOA เท่ากับ 40.45 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

3. การประเมินปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลาน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร โดยใช้การประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a เท่ากับ 50.60 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

4. การประเมินปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาก๊าซ LPG ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร โดยใช้การประเมินแบบ PCA-TGO เท่ากับ 184.88 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

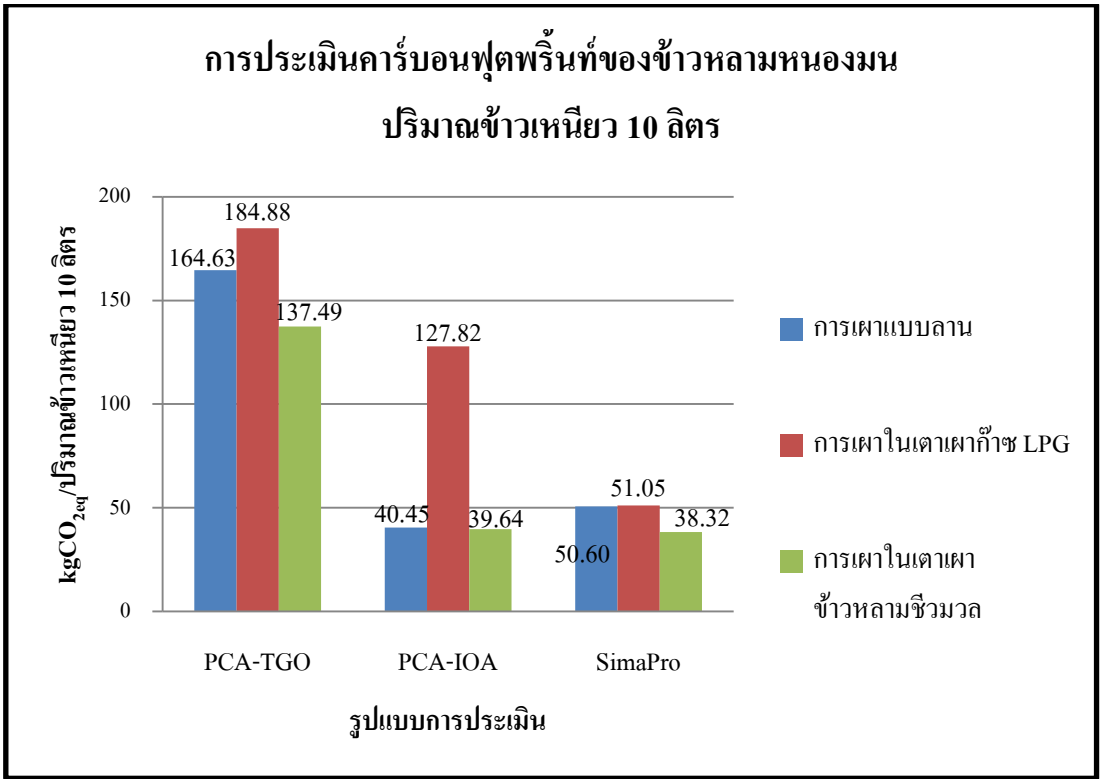
5. การประเมินปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาก๊าซ LPG ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร โดยใช้การประเมินแบบ Combined PCA-IOA เท่ากับ 127.82 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

6. การประเมินปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาก๊าซ LPG ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร โดยใช้การประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a เท่ากับ 51.05 $kgCO_{2eq}$/ batch

7. การประเมินปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร โดยใช้การประเมินแบบ PCA-TGO เท่ากับ 137.49 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

8. การประเมินปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร โดยใช้การประเมินแบบ Combined PCA-IOA เท่ากับ 39.64 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

9. การประเมินปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร โดยใช้การประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a เท่ากับ 38.32 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร



ภาพที่ 4-1 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนจาก 3 วิธีการเผา ด้วย 3 รูปแบบการประเมิน

จากภาพที่ 4-1 จะเห็นได้ว่าผลการประเมินปริมาณ CFP ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลาน การเผาข้าวหลามในเตาเผาก๊าซ LPG และการเผาข้าวหลามในเตาเผาชีวมวล ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร โดยใช้การประเมินแบบ PCA-TGO แบบ Combined PCA-IOA และแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a มีผลการประเมินที่แตกต่างกัน เนื่องจากการเลือกใช้ค่า Emission Factor (EF) จากฐานข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน คือ การประเมินแบบ PCA-TGO ใช้ค่า EF จากฐานข้อมูล Inventory data ประเทศไทย (คณะกรรมการเทคนิค

ด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554) ส่วนการประเมินแบบ Combined PCA-IOA ใช้ข้อมูลจากตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (I-O Table) ซึ่งเป็นค่า EF ที่อยู่ในรูปแบบการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากใช้พลังงาน (ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ และบัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย, 2548) และการประเมินแบบ SimaPro ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ที่อาศัยฐานข้อมูล Ecoinvent เวอร์ชั่น 3 เก็บรวบรวมค่า EF ของทั่วทั้งโลกเอาไว้ (Mark Goedkoop et al., 2014) โดยใช้วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a ซึ่งจะมีรายละเอียดการประเมินดังนี้

ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของข้าวหลามหนองมนปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

การประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิต สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ ขั้นตอนการใช้วัตถุดิบส่วนประกอบข้าวหลาม ขั้นตอนการสร้างเตาเผาข้าวหลาม และขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในการเผาข้าวหลาม

1. ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในขั้นตอนการใช้วัตถุดิบส่วนประกอบของข้าวหลาม

วัตถุดิบส่วนประกอบของข้าวหลาม ประกอบด้วย ข้าวเหนียว ถั่วดำ เผือก กล้วยตาก กะทิ น้ำตาลทราย เกลือ น้ำ และกระบอกไม้ไผ่ โดยมีรายละเอียดแยกตามวัตถุดิบได้ ดังนี้

1.1 ข้าวเหนียว

จากการศึกษาฐานข้อมูลของแต่ละรูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ของการได้มาของวัตถุดิบข้าวเหนียว ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดแทนด้วยข้าว มีค่า Emission factor (EF) ของฐานข้อมูลที่มีความแตกต่างกันซึ่งการประเมินแบบ PCA-TGO จะใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลทุติยภูมิของโครงการวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์และจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวสำหรับการติดฉลากคาร์บอน เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำในการบรรเทาภาวะโลกร้อน (รัตนาวรรณ มั่งคั่ง แชบเบียร์, กีวาลา บัณฑิต, งามทิพย์ ภู่วโรดม และสิรินทรเทพ เต้าประยูร, 2553) ที่ทำการประเมินครอบคลุมตั้งแต่การปลูกข้าว การสีข้าว การผลิตภาชนะบรรจุ การจัดจำหน่ายไปยังผู้ซื้อ และการขนส่งที่เกี่ยวข้องในทุกขั้นตอนมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าว คิดเป็น 7.8 $kgCO_{2eq}$/ kgข้าว ส่วนของการประเมินแบบ Combined PCA-IOA จะเป็นการประเมินภาคการใช้พลังงานในการทำนาและโรงสีข้าว และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a จะใช้ฐานข้อมูล Rice {RoW}| production | Consequences, Unit

ที่ได้จากการประเมินการผลิตข้าวบาร์เลย์ โดยการประเมินจะครอบคลุมและใกล้เคียงกับการผลิตข้าวของประเทศไทยมากที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดผลการประเมินดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวเหนียว

วัตถุดิบ	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)		
	PCA-TGO	Combined PCA-IOA	SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a
ข้าวเหนียว	124.80	23.49	31.5

จากตารางที่ 4-1 จะเห็นได้ว่าจากการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าว ซึ่งในที่นี้ คือ ข้าวเหนียว ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตข้าวหลาม พบว่า ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวเหนียว จำนวน 10 ลิตร (16 กิโลกรัม) ด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ การประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของภูมิประเทศที่ถูกเลือกใช้ในการประเมิน และการประเมินแบบ Combined PCA-IOA มีผลการประเมินน้อยที่สุด เนื่องจากการประเมินแบบ Combined PCA-IOA จะยังไม่ครอบคลุมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรกรรมด้วย ซึ่งผลจากการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าว 3 รูปแบบ จะมีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นการเลือกใช้ฐานข้อมูลปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวเหนียวจึงมีความจำเป็นมาก ที่ต้องนำฐานข้อมูลต่าง ๆ ของข้าว มาประยุกต์ใช้เหมาะสมและครอบคลุมทั้งวัฏจักรชีวิตของข้าว เพื่อให้ได้เป็นตัวแทนข้อมูลที่เหมาะสม

1.2 ส่วนผสมเพิ่มเติม ได้แก่ ถั่วดำ เผือก กล้วยตาก

ในส่วนของส่วนผสมเพิ่มเติมของข้าวหลาม จะประกอบไปด้วย ถั่วดำ เผือก และกล้วยตาก ได้ทำการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วย 3 รูปแบบการประเมินเช่นเดียวกัน โดยมีผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่น้อยมาก โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-2 ซึ่งจากผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์อยู่ในสัดส่วนที่ไม่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

ตารางที่ 4-2 ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของส่วนผสมเพิ่มเติม

วัตถุดิบ		ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)		
		PCA-TGO	**Combined PCA-IOA**	**SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a**
ส่วนผสมเพิ่มเติม	ถั่วดำ	0.3684	0.51	0.5
	เผือก	0.0548	0.55	0.0823
	กล้วยตาก	0.0112	1.70	0.192

จากตารางที่ 4-2 พบว่าการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ถั่วดำ ด้วยวิธีการประเมินแบบ Combined PCA-IOA โดยใช้ฐานข้อมูลจากการทำไร่พืชตระกูลถั่ว มีค่าใกล้เคียงกับการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a โดยใช้ฐานข้อมูล Beans, dry, at farm/ US Mass ซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ในส่วนการใช้พลังงานเช่นเดียวกัน ส่วนการประเมินแบบ PCA-TGO ที่มีค่าต่ำกว่า จะใช้ฐานข้อมูลจากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ถั่วดำ (Thai National LCI Database/ MTEC) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลค่าเฉลี่ยที่ได้จากขั้นตอนตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบสำหรับผลิตถั่วดำ จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ถั่วดำ แต่ไม่รวมขั้นตอนการใช้งานหรือกำจัดซาก และต่อมาในส่วนของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เผือก ด้วยวิธีการประเมินแบบ Combined PCA-IOA โดยใช้ฐานข้อมูลจากการเพาะปลูกพืชไร่อื่น ๆ มีผลการประเมินสูงที่สุด รองลงมาคือ การประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a และการประเมินแบบ PCA-TGO ซึ่งมีผลที่ใกล้เคียงกัน โดยใช้ฐานข้อมูลแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังอินทรีย์ (Thai National LCI Database/ MTEC) เช่นเดียวกัน และสุดท้ายการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์กล้วยตาก ด้วยวิธีการประเมินแบบ Combined PCA-IOA โดยใช้ฐานข้อมูลจากการทำสวนผลไม้มีผลการประเมินสูงที่สุด รองลงมาคือ การประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a ซึ่งใช้ฐานข้อมูลจาก Banana {GLO}|production| Consequences, Unit ที่เกิดจากกิจกรรมการผลิตกล้วยที่เป็นค่าเฉลี่ยที่ใช้ได้สำหรับทุกประเทศทั่วโลก และการประเมินแบบ PCA-TGO จากฐานข้อมูลแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่ (Thai National LCI Database/ MTEC) มีผลการประเมินน้อยที่สุด

ดังนั้น การเลือกใช้ฐานข้อมูลในการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของส่วนผสมเพิ่มเติม ได้แก่ ถั่วดำ เผือก กล้วยตาก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลจากฐานข้อมูลทั้ง 3 รูปแบบมาใช้ร่วมกัน เนื่องจากการประเมินแบบ PCA-TGO เป็นฐานข้อมูลค่าเฉลี่ยที่ได้จากขั้นตอนตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบสำหรับผลิต จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ แต่ไม่รวมขั้นตอนการใช้งานหรือกำจัดซาก โดยเป็นข้อมูลที่เป็นตัวแทนของทั้งประเทศ ส่วนการประเมินแบบ Combined PCA-IOA จะเป็นการประเมินภาคพลังงานเป็นสำคัญ ซึ่งจะยังไม่ครอบคลุมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรกรรม และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a ของถั่วดำและเผือกยังมีข้อมูลในฐานข้อมูลไม่ครอบคลุมตามวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

1.3 ส่วนประกอบของกะทิ

ส่วนประกอบของกะทิที่ใช้ในการผลิตข้าวหลามหนองมน จะประกอบด้วย น้ำกะทิ น้ำตาลทราย และเกลือ โดยแต่ละวัตถุดิบมีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่น้อยเช่นเดียวกับส่วนผสมเพิ่มเติม ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกะทิ

วัตถุดิบ		**ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)**		
		PCA-TGO	**Combined PCA-IOA**	**SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a**
ส่วนประกอบของกะทิ	กะทิ	0.0763	1.85	0.0763
	น้ำตาลทราย	5.4	3.14	0.388
	เกลือ	0.0112	0.55	0.486

จากตารางที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของน้ำกะทิด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a มีผลการประเมินที่เท่ากัน เนื่องจากฐานข้อมูลของโปรแกรม SimaPro ไม่พบฐานข้อมูลของน้ำกะทิ จึงใช้ฐานข้อมูลจากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์น้ำกะทิ จากข้อมูลกรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในการประเมิน ส่วน

การประเมินแบบ Combined PCA-IOA ที่มีผลการประเมินมากกว่า จะใช้ฐานข้อมูลจากการทำสวนมะพร้าว ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการเพาะปลูกมะพร้าว โดยไม่รวมถึงขั้นตอนได้น้ำกะทิออกมา และต่อมาส่วนของน้ำตาลทรายจากการประเมินด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO มีค่าสูงที่สุด ซึ่งได้จากการใช้ฐานข้อมูลจากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย รองลงมาคือ การประเมินแบบ Combined PCA-IOA โดยใช้ฐานข้อมูลการผลิตน้ำตาลในภาคการใช้พลังงาน และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a มีผลการประเมินที่ต่ำสุด เป็นข้อมูลจากฐานข้อมูล Sugar cane, at farm/ TH Mass ซึ่งเป็นการใช้พลังงานในการผลิตน้ำตาลจากอ้อยของประเทศไทย แต่เป็นค่าเฉลี่ยของทั้งประเทศ และการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเกลือ ซึ่งผลการประเมินแบบ Combined PCA-IOA และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a มีผลการประเมินที่ใกล้เคียงกัน โดยการประเมินแบบ Combined PCA-IOA จะใช้ฐานข้อมูลจากการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ ซึ่งเกลืออยู่ในกลุ่มนี้ และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a จะใช้ฐานข้อมูลจาก Sodium chloride, powder {RoW}| production | Consequences, Unit ซึ่งเป็นข้อมูลเกลือ หรือเกลือแกงที่ใช้บริโภค โดยทำการประเมินครอบคลุมทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในภูมิประเทศที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ส่วนการประเมินแบบ PCA-TGO ที่มีค่าต่ำที่สุด จะมาจากฐานข้อมูลแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เกลือทะเล (Thai National LCI Database/ MTEC)

ดังนั้นการเลือกใช้ฐานข้อมูลในการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของส่วนประกอบของกะทิ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลจากทั้ง 3 รูปแบบการประเมินมาใช้ร่วมกันเช่นเดียวกัน

1.4 กระบอกไม้ไผ่

ในการหาปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบอกไม้ไผ่ด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO จะต้องใช้ข้อมูลจากการเก็บรวบรวมจากการขนส่งเป็นหลัก เนื่องจากไม้ไผ่ที่นำมาใช้ในการผลิตข้าวหลามหนองมนเป็นไม้ไผ่ป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และขนส่งจากจังหวัดกาญจนบุรีมายังจังหวัดชลบุรี จึงใช้การคำนวณในส่วนของการขนส่งมาคิดเป็นปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบอกไม้ไผ่ และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a จะใช้วิธีการเพิ่มข้อมูลที่ได้จากการคำนวณของการประเมินแบบ PCA-TGO เข้าไปเช่นเดียวกัน เนื่องจากในฐานข้อมูลของโปรแกรม SimaPro ไม่พบการประเมิน

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของไม้ไผ่ ส่วนการประเมินรูปแบบ Combined PCA-IOA จะสามารถใช้ฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์จากป่าและการล่าสัตว์อื่นๆ ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของไม้ไผ่ได้ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่วนของกระบอกไม้ไผ่

วัตถุดิบ		ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)		
		PCA-TGO	Combined PCA-IOA	SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a
กระบอก	ไม้ไผ่	3.918	7.74	3.918
	น้ำ	0.032	0.01	0.0784

จากตารางที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของไม้ไผ่ด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a มีผลการประเมินที่เท่ากัน โดยใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการคำนวณตามการประเมินแบบ PCA-TGO เพิ่มเข้าไป ส่วนผลการประเมินแบบ Combined PCA-IOA จะมีผลมากกว่าอีก 2 รูปแบบการประเมิน และการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของน้ำ พบว่าทั้ง 3 รูปแบบการประเมินมีผลการประเมินที่ไม่ต่างกันมาก โดยการประเมินแบบ PCA-TGO จะใช้ฐานข้อมูลจากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ของน้ำประปาการประปาภูมิภาค ส่วนการประเมินแบบ Combined PCA-IOA จะใช้ฐานข้อมูลของการประปาในการประเมิน และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a จะใช้ฐานข้อมูลจาก Water, Deionised, form tap water, at user {RoW}| production | Consequences, Unit ซึ่งเป็นข้อมูลของการผลิตน้ำประปา โดยทำการประเมินครอบคลุมทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในส่วนของภูมิประเทศที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

2. ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในขั้นตอนการผลิตเตาเผาข้าวหลาม

ในการเผาข้าวหลามแต่ละวิธีการเผา จะมีส่วนประกอบของการใช้วัตถุดิบ ไฟฟ้า และเชื้อเพลิงในการผลิตเตาเผาที่แตกต่างกัน โดยที่การศึกษาครั้งนี้กำหนดอายุในการใช้งานของเตาเผาแต่ละวิธีการเผาไว้ที่ 10 ปี ซึ่งมีการใช้งาน 3,170 วัน สามารถผลิตข้าวหลามได้ 31,700 ลิตร และแบ่งวิธีการเผาออกเป็น 3 วิธีการเผา คือ

2.1 เผาแบบลาน

จากการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลจากผู้ประกอบการที่ผลิตข้าวหลามหนองมนจากการเผาแบบลาน พบว่าในการเผาแบบลานจะไม่ใช่การเผาในเตาเผา แต่จะเป็นการเผาบนพื้นดิน โดยอาศัยโรงเผาที่เป็นลักษณะโครงสร้างมีหลังคาคลุม โดยมีรายละเอียดการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการเผาแบบลาน ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตเตาเผาข้าวหลามแบบลาน

วัตถุดิบ	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)		
	PCA-TGO	Combined PCA-IOA	SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a
- เสาไม้เนื้อแข็ง	6.09	11.65	6.38
- คานไม้เนื้อแข็ง	9.23	34.87	9.67
- สังกะสีมุงหลังคา	16.24	1.62	16.2
- ตะปู	1.76	0.89	0.46
- ตะปูตอกสังกะสี	31.68	20.57	8.34
รวม (อายุการใช้งาน 10 ปี)	0.002	0.002	0.001

จากตารางที่ 4-5 พบว่า การประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเสาไม้เนื้อแข็ง คานไม้เนื้อแข็ง และสังกะสีมุงหลังคา ด้วยการประเมินแบบ PCA-TGO และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a มีผลการประเมินที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งการประเมินแบบ PCA-TGO จะใช้ฐานข้อมูลจากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ของ Wood domestic และ Galvanized steel ส่วนการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a จะใช้ฐานข้อมูล Bark, hardwood, green, at logyard, NE-NC/ kg/ RNA และ Galvanized steel sheet, at plant/ RNA ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จาก US LCI database

2.2 เผาในเตาเผาก๊าซ LPG

การเผาในเตาเผาก๊าซ LPG เป็นที่นิยมมากในผู้ประกอบการผลิตข้าวหลามหนองมนส่วนใหญ่ จากการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูล พบว่าในการเผาในเตาเผาก๊าซ LPG จะมีส่วนประกอบ

หลักที่ทำจากเหล็กซิงค์ และใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักในการก่อสร้าง โดยมีรายละเอียดการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการเผาในเตาเผาก๊าซ LPG ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตเตาเผาข้าวหลามโดยใช้ก๊าซ LPG

วัตถุดิบ	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)		
	PCA-TGO	Combined PCA-IOA	SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a
- แผ่นเหล็กซิงค์	348.14	118.79	414
- เหล็กซิงค์แบบกล่อง	290.11	91.57	345
- ฉนวนใยแก้ว	3.31	191.22	3.97
- บอลวาล์วทองเหลือง	9.81	157.81	21
- สายก๊าซหุงต้ม PVC	12.35	10.57	16.2
- ไฟฟ้า	99.46	68.82	68.1
รวม (อายุการใช้งาน 10 ปี)	0.024	0.020	0.027

จากตารางที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของส่วนประกอบแต่ละส่วนของการเผาในเตาเผาก๊าซ LPG มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่สูงมาก แต่เมื่อเทียบกับอายุการใช้งาน 10 ปี พบว่ามีการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับวัตถุดิบส่วนของข้าวเหนียว

2.3 เผาในเตาเผาชีวมวล

จากการการออกแบบ พัฒนา ปรับปรุง และก่อสร้างเตาเผาข้าวหลามแบบเชื้อเพลิงชีวมวลของนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา เพื่อนำมาใช้การเผาข้าวหลามหนองมนโดยประยุกต์ให้มีการใช้เชื้อเพลิงในการเผาเช่นเดียวกับการเผาแบบลาน แต่ใช้การเผาในเตาเผาแบบเดียวกับการเผาในเตาเผาก๊าซ LPG ซึ่งการก่อสร้างเตาเผาจึงมี

ความจำเป็นต้องใช้เหล็ก ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต อิฐทนไฟ และสังกะสี เป็นส่วนประกอบ และใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานในการก่อสร้าง โดยมีรายละเอียดการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตเตาเผาข้าวหลามชีวมวล

วัตถุดิบ	**ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)**		
	PCA-TGO	**Combined PCA-IOA**	**SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a**
- เหล็กกล่อง 25×25 mm. หนา 2.3 mm.	67.46	18.46	75.2
- เหล็กกล่อง 50×50 mm. หนา 2.3 mm.	147.26	33.46	164
- เหล็กฉาก 50 mm. หนา 2.3 mm.	88.18	15.90	98.3
- เหล็กกล่อง 20×20 mm. หนา 1.2 mm.	48.21	11.28	53.7
- เหล็กแบน 25 mm. หนา 2 mm.	8.57	2.31	9.55
- เหล็กแผ่นเจาะรู 25×25 mm. หนา 2.3 mm.	22.49	30.77	25.1
- ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต	21.35	74.39	2.94
- อิฐทนไฟ	10.86	232.93	11.8
- สังกะสี	172.83	69.52	214

ตารางที่ 4-7 (ต่อ)

วัตถุดิบ	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)		
	PCA-TGO	**Combined PCA-IOA**	**SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a**
- สีทนความร้อน	10.83	145.42	16.3
- ไฟฟ้า	520.49	268.12	356
รวม	0.035	0.028	0.032

จากตารางที่ 4-5 ถึง 4-7 พบว่า ในการผลิตและใช้งานเตาเผาทั้ง 3 วิธีการเผา มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีการใช้วัสดุประเภทโลหะ และใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตเช่นเดียวกัน

1. ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในการเผาข้าวหลาม

ในขั้นตอนการเผาข้าวหลามทั้ง 3 วิธีการเผา จะมีการใช้เชื้อเพลิงในแต่ละวิธี คือ การเผาแบบลานและการเผาในเตาเผาชีวมวล จะใช้เชื้อเพลิงจากเศษไม้ไผ่ที่เหลือจากการตัดเพื่อทำกระบอกข้าวหลามที่มีการประเมินแล้ว และเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากกาบและกะลามะพร้าว ส่วนการเตาในเผาก๊าซ LPG จะใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผา ซึ่งมีผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในการเผาข้าวหลาม

วัตถุดิบ	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)			
		Combined PCA-IOA		SimaPro วิธีการประเมิน
	PCA-TGO	Direct emission	Indirect	IPCC 2007 GWP 100a
เผาแบบลาน				
- กาบมะพร้าว	13.13	-	0.41	5.95
- กะลามะพร้าว	16.41	-	0.51	7.43
รวม	29.53	-	0.91	13.4
เตาในเผาก๊าซ LPG				
- ก๊าซหุงต้ม (LPG)	49.76	49.74	38.52	13.8
เผาในเตาเผาชีวมวล				
- กาบมะพร้าว	2.36	-	0.07	1.07

ผลการประเมินจากตารางที่ 4-8 จะเห็นได้ว่าจากผลการประเมินจากที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 3 วิธีการเผา เตาที่มีการใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง จะมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงกว่าเตาที่ใช้เชื้อเพลิงจากเศษไม้ไผ่ที่เหลือจากส่วนของกระบอก และเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากการประเมินด้วยรูปแบบ Combined PCA-IOA ของเตาเผาที่ใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง มีการประเมิน 2 ส่วน คือ การประเมินทางอ้อมของก๊าซ LPG มีค่าเท่ากับ 38.52 $kgCO_2$ และการประเมินทางตรง ตามแนวทางของ IPCC guidelines ของก๊าซ LPG เท่ากับ 49.74 $kgCO_2$

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขั้นตอนต่าง ๆ มาสรุปเป็นผลรวมปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยการศึกษา (Functional unit) คือ ข้าวหลามหนองมนปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดการประเมินและเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนที่ได้จากการเผา 3 วิธีการเผา โดยใช้วิธีการประเมิน 3 รูปแบบ

การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

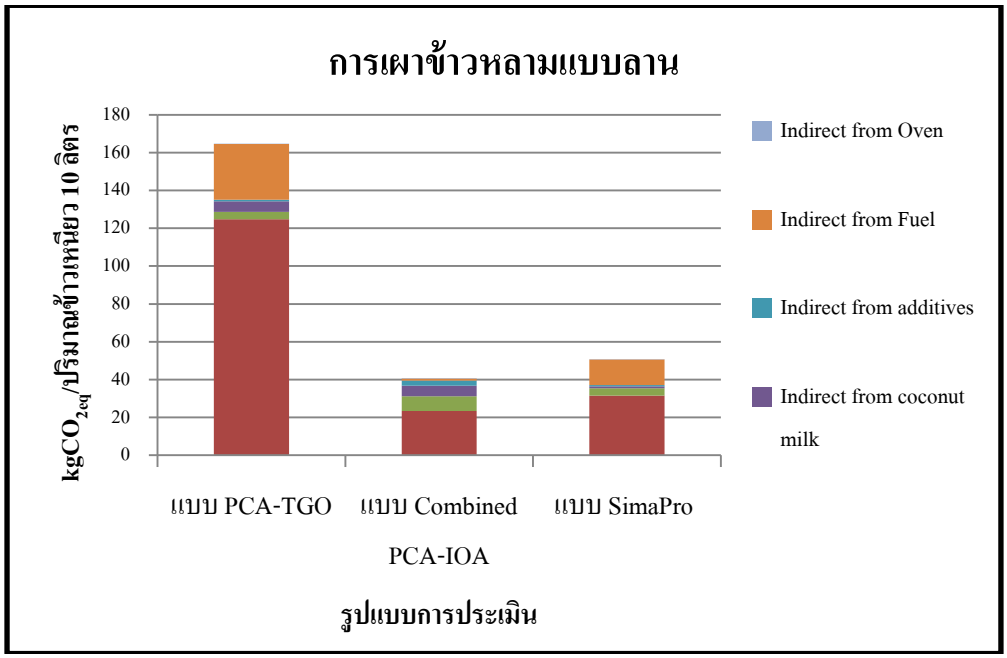
จากผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละช่วงของขั้นตอนจนได้มาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมน ที่เกิดจากรูปแบบการประเมินที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ และมีวิธีการเผา 3 วิธีการเผา สามารถนำมาเปรียบเทียบผลรวมของการปลดเปลี่ยนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ โดยมีรายละเอียดดังต่อ ไปนี้

1. การเผาข้าวหลามแบบลาน

เปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลานด้วยการประเมิน 3 รูปแบบ จากตารางที่ 4-9 พบว่า การประเมินแบบ PCA-TGO มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 164.63 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร รองลงมาคือการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 50.60 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับการประเมินแบบ Combined PCA-IOA ที่มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 40.45 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร ดังภาพที่ 4-2 เมื่อพิจารณาแยกแต่ละส่วนของการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะเห็นได้ว่าข้าวเหนียว (ข้าว) มีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วยประเมินแบบ PCA-TGO ที่สูงที่สุด และทำให้การประเมินแบบ PCA-TGO มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่มากที่สุดด้วย ซึ่งการประเมินอีก 2 รูปแบบ มีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวเหนียว (ข้าว) ที่สูงที่สุดเช่นเดียวกัน ส่วนปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่อยู่ในอันดับรองลงมาในการประเมินแบบ PCA-TGO และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a จะอยู่ที่ขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยวิธีการเผาแบบลาน โดยการประเมินแบบ PCA-TGO ของกาบและกะลามะพร้าวในประเทศไทย โดยจะครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554) ส่วนการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a จะเป็นการประเมินของประเทศอินเดียที่ครอบคลุมตั้งแต่การปลูก ตลอดจนการแปรรูป แล้วได้ส่วนของกาบและกะลามะพร้าวออกมา (PRé Sustainability, 2016) แต่การประเมินแบบ Combined PCA-IOA กลับไม่เป็นเช่นเดียวกัน เนื่องจากเป็นการประเมินเพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยจากขั้นตอนต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ภาคพลังงานของการทำสวนมะพร้าวเท่านั้น

ตารางที่ 4-9 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลาน

ขั้นตอน	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)		
	แบบ PCA-TGO	แบบ Combined PCA-IOA	แบบ SimaPro
Direct emission from fuel	-	-	-
Indirect from rice	124.80	23.49	31.5
Indirect from package	3.95	7.76	3.996
Indirect from coconut milk	5.49	5.53	0.9503
Indirect from additives	0.86	2.75	0.7743
Indirect from fuel	29.53	0.91	13.38
Indirect from oven	0.002	0.002	0.001
รวม	164.63	40.45	50.60



ภาพที่ 4-2 การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามแบบลาน

2. การเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG

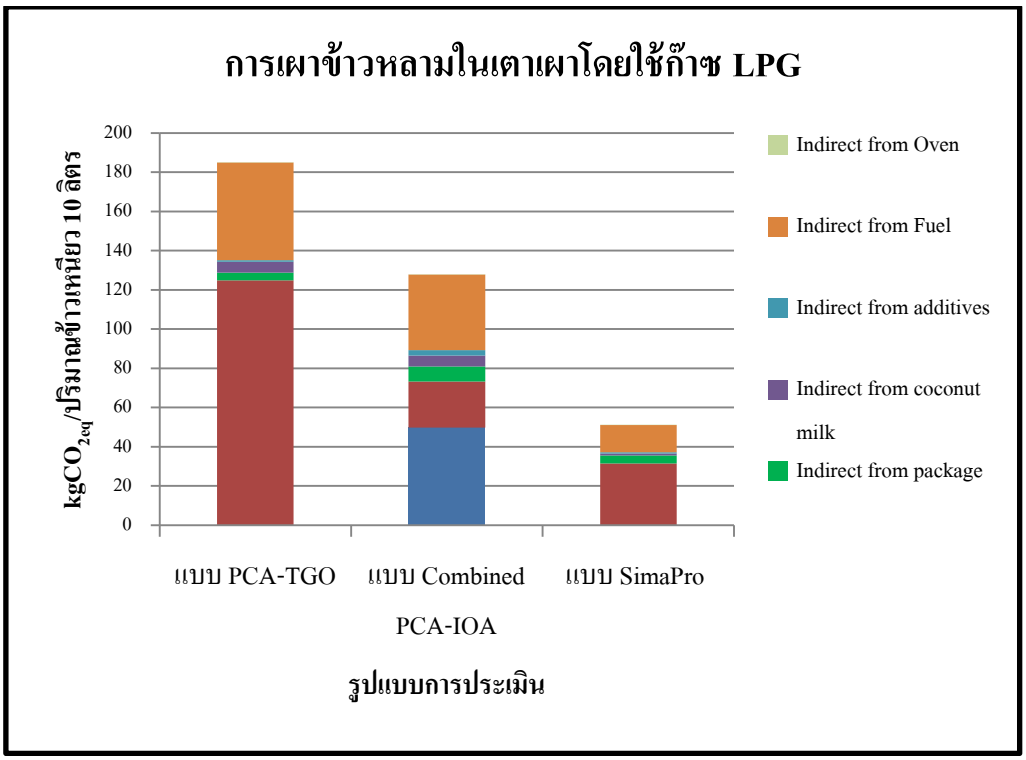
การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG ด้วยการประเมิน 3 รูปแบบ จากตารางที่ 4-10 พบว่า การประเมินแบบ PCA-TGO มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 184.88 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร รองลงมาคือการประเมินแบบ Combined PCA-IOA ที่มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 127.82 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a ซึ่งมีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 51.05 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร ดังภาพที่ 4-3 เมื่อพิจารณาแยกแต่ละส่วนของการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะเห็นได้ว่าข้าวเหนียว (ข้าว) มีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วยประเมินแบบ PCA-TGO ที่สูงที่สุดเช่นเดิม แต่ในส่วนการประเมินแบบ Combined PCA-IOA จะมีผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการใช้เชื้อเพลิง (ก๊าซ LPG) ทางตรงเพิ่มเข้ามา ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับการประเมินแบบ PCA-TGO ที่ใช้ข้อมูลอ้างอิงจาก IPCC แต่จะมีผลที่แตกต่างจากการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a เนื่องจากการประเมินการใช้เชื้อเพลิง (ก๊าซ LPG) จะเป็นค่าเฉลี่ยที่สำหรับใช้กับทุกประเทศทั่วโลก โดยจะครอบคลุมตั้งแต่การแยกส่วนของโพรเพน (Propane) จนกระทั่งได้โพรเพน (Propane) ออกมา รวมถึงการใช้พลังงาน ไอน้ำ และน้ำด้วย

ตารางที่ 4-10 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG

ขั้นตอน	**ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)**		
	แบบ PCA-TGO	**แบบ Combined PCA-IOA**	**แบบ SimaPro**
Direct emission from fuel	-	49.74	-
Indirect from rice	124.80	23.49	31.5
Indirect from package	3.95	7.76	3.996
Indirect from coconut milk	5.49	5.53	0.9503
Indirect from additives	0.86	2.75	0.7743

ตารางที่ 4-10 (ต่อ)

ขั้นตอน	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)		
	แบบ PCA-TGO	แบบ Combined PCA-IOA	แบบ SimaPro
Indirect from fuel	49.76	38.52	13.8
Indirect from oven	0.024	0.020	0.027
รวม	184.88	127.82	51.05



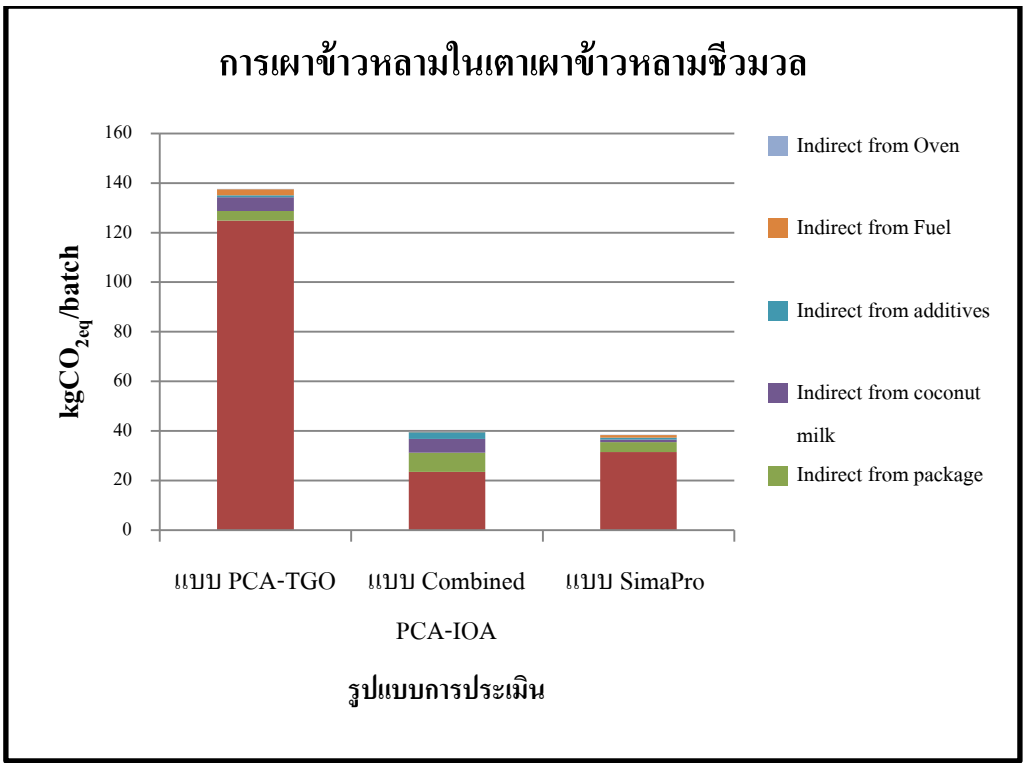
ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาโดยใช้ก๊าซ LPG

3. การเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามแบบเชื้อเพลิงชีวมวล

เปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามแบบเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยการประเมิน 3 รูปแบบ จากตารางที่ 4-11 พบว่า การประเมินแบบ PCA-TGO มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 137.49 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร รองลงมาคือการประเมินแบบ Combined PCA-IOA มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 39.64 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a ที่มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 38.32 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร ซึ่งคล้ายกับการเผาแบบลาน ที่มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการประเมินแบบ Combined PCA-IOA และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a ที่ใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 4-4 ทำการพิจารณาแยกแต่ละส่วนของการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะเห็นได้ว่าข้าวเหนียว (ข้าว) มีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วยประเมินแบบ PCA-TGO ที่สูงที่สุดเช่นเดิม แต่ในส่วนการประเมินส่วนอื่นๆ กลับมีผลการประเมินปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4-11 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล

ขั้นตอน	**ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ($kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร)**		
	แบบ PCA-TGO	แบบ Combined PCA-IOA	แบบ SimaPro
Direct emission from fuel	-	-	-
Indirect from rice	124.80	23.49	31.5
Indirect from package	3.95	7.76	3.996
Indirect from coconut milk	5.49	5.53	0.9503
Indirect from additives	0.86	2.75	0.7743
Indirect from fuel	2.36	0.07	1.07
Indirect from oven	0.035	0.028	0.032
รวม	137.49	39.64	38.32



ภาพที่ 4-4 การเปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล

การเปรียบเทียบรูปแบบการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

จากการศึกษาการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ตามมาตรฐาน ISO 14067 ด้วยรูปแบบการประเมิน 3 รูปแบบ คือ การประเมินแบบ PCA-TGO, การประเมินแบบ Combined PCA-IOA และการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a พบว่าสามารถนำมาใช้ในการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปล่อยออกมาตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา ข้าวหลามหนองมนได้เช่นเดียวกัน โดยใช้การคำนวณจากค่า Emission Factor (EF) จากฐานข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การประเมินแบบ PCA-TGO สามารถประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมน ได้โดยการพิจารณาเลือกค่า Emission Factor (EF) จากฐานข้อมูล Inventory data ประเทศไทยที่ถูกเก็บรวบรวมจากแหล่งอ้างอิงต่าง ๆ แล้วนำมาคำนวณออกมาเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตามขอบเขตที่ศึกษา ในหน่วย $kgCO_2eq$ ซึ่งการเลือกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล Inventory data ต้องมีการตรวจสอบแหล่งอ้างอิงที่เลือกใช้ด้วย เนื่องจากข้อมูล 1 รายชื่อ อาจมีค่า Emission Factor (EF) จากแหล่งอ้างอิงที่แตกต่างกัน

มากกว่า 1 ค่า เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เพื่อป้องกันการคำนวณซ้ำ และข้อมูลบางข้อมูลแหล่งอ้างอิงที่ถูกเก็บรวบรวมมา อาจไม่ครอบคลุมตามวัฏจักรชีวิต ทำให้มีผลการคำนวณที่ไม่ครบถ้วนหรือไม่ถูกต้องได้

2. การประเมินแบบ Combined PCA-IOA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ที่สามารถใช้ทำการประเมิน โดยใช้ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (I-O Table) ในการคำนวณ เพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยจากขั้นตอนต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ภาคพลังงานเท่านั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการคำนวณทางตรงเพิ่มเข้ามา โดยเฉพาะการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ที่จะต้องมีการประเมินปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ถูกเผาไหม้ทั้งหมด แล้วคำนวณปริมาณ CO_2 จากปริมาณคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ตามแนวทางของ IPCC guidelines เพื่อให้การประเมินมีความถูกต้อง และแม่นยำมากขึ้น

3. การประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a เป็นการประเมินตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้ง 6 ชนิด ตามที่กำหนดในพิธีสารโตเกียว โดยอาศัยฐานข้อมูล Ecoinvent เวอร์ชั่น 3 จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 8.2 ในการคำนวณ โดยฐานข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมจะเป็นข้อมูลจากทั่วทั้งโลกที่อยู่ในรูปแบบต่างๆ ซึ่งอ้างอิงจากที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ได้แก่

3.1 GLO หมายถึง กิจกรรมที่ถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยที่ใช้ได้สำหรับทุกประเทศทั่วโลก

3.2 RER หมายถึง กิจกรรมที่เกิดในทวีปยุโรป

3.3 RoW หมายถึง กิจกรรมที่เกิดในส่วนที่เหลือของโลก ซึ่งในฐานข้อมูล Ecoinvent เวอร์ชั่น 3 จะเป็นกิจกรรมของภูมิประเทศที่มีความเฉพาะและเหมาะสม

3.4 ชุดข้อมูลภูมิภาคเพิ่มเติม เช่น DE คือ เยอรมนี ES คือ สเปน และ FR คือ ฝรั่งเศส รวมถึง TH คือ ไทย เป็นต้น

แต่ข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ในฐานข้อมูลบางรายชื่อ อาจไม่ใช่ข้อมูลที่เกิดขึ้นในประเทศที่ถูกประเมิน หรืออาจจะไม่ได้ถูกรวบรวมไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้ข้อมูลรายชื่ออื่นที่มีความใกล้เคียง หรือใช้ข้อมูลของประเทศอื่นที่ใกล้เคียงแทน ทำให้การประเมินแบบ SimaPro จะเหมาะกับข้อมูลที่เป็นของต่างประเทศมากกว่า ถึงแม้ว่าโปรแกรมจะสามารถให้ผู้ใช้เพิ่มข้อมูลเข้าไป เพื่อใช้ในการคำนวณได้ก็ตาม แต่การเพิ่มข้อมูลเข้าไปผู้ใช้ต้องมีข้อมูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำเช่นกัน

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เมาะสม สำหรับกรณีศึกษา ข้าวหลามหนองมนตลอดวัฏจักรชีวิต ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร พบว่าในการผลิตข้าวหลามหนองมนเพื่อบริโภค ซึ่งมีขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ ขั้นตอนการใช้วัตถุดิบส่วนประกอบของข้าวหลาม ขั้นตอนการผลิตเตาเผาข้าวหลาม และขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในการเผาข้าวหลาม ล้วนแล้วแต่มีการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งสิ้น โดยสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนที่มีค่าสูงที่สุด คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาก๊าซ LPG โดยใช้การประเมินแบบ PCA-TGO มีค่าเท่ากับ 184.88 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร และปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนที่มีค่าน้อยที่สุด คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวล โดยใช้การประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a มีค่าเท่ากับ 38.32 $kgCO_{2eq}$/ ปริมาณข้าวเหนียว 10 ลิตร

1.1 ขั้นตอนการใช้วัตถุดิบส่วนประกอบของข้าวหลาม โดยข้าวเหนียวซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตข้าวหลาม มีค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วยวิธีการประเมิน PCA-TGO มากที่สุดอยู่ที่ 124.80 $kgCO_{2eq}$ เนื่องจากกิจกรรมการปลูกข้าวมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง

1.2 ขั้นตอนการผลิตเตาเผาข้าวหลาม เนื่องจากมีการกำหนดอายุการใช้งานของเตาไว้ที่ 10 ปี โดยมีการใช้งาน 3,170 วัน ทำให้การผลิตและใช้งานเตาเผาทั้ง 3 วิธีการเผา มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ

1.3 ขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในการเผาข้าวหลาม การเผาแบบลานและการเผาในเตาเผาชีวมวล จะใช้เชื้อเพลิงจากเศษไม้ใผ่ที่เหลือจากส่วนของกระบอก และเชื้อเพลิงที่ได้จากกาบและกะลามะพร้าว ซึ่งถือว่าเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ทำให้ค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์น้อยมาก ส่วนการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG จากผลการประเมินพบว่าค่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วยวิธีการประเมิน PCA-TGO และวิธีการประเมินแบบ Combined PCA-IOA มีค่าที่สูง เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นพลังงานสิ้นเปลือง และส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน

2. การได้มาซึ่งวัตถุดิบในส่วนของข้าวเป็นช่วงที่มีความสำคัญต่อการศึกษาครั้งนี้อย่างมาก เนื่องจากข้าว มีการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ออกมามากที่สุด ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ

ของการศึกษาโครงการวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์และจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าว สำหรับการติดฉลากคาร์บอน เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำในการบรรเทาภาวะโลกร้อน” (รัตนาวรรณ มั่งคั่ง และคณะ, 2553) พบว่า สาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าว มาจากขั้นตอนการปลูกข้าว ซึ่งการปลูกข้าวแบบน้ำท่วมขังจะมีการปล่อยก๊าซมีเทนออกมามากที่สุด ซึ่งเป็นผลทำให้ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวมีค่าสูง

3. จากการศึกษารูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ วิธีการประเมินแบบ PCA-TGO วิธีการประเมินแบบ Combined PCA-IOA และวิธีการประเมินแบบ SimaPro วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a มีปัญหาและอุปสรรคในการเลือกใช้ฐานข้อมูลในการประเมินทั้ง 3 รูปแบบ แต่การเลือกใช้การประเมินแบบ SimaPro จะเป็นรูปแบบการประเมินที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่ารูปแบบอื่น เนื่องจากการเลือกใช้ฐานข้อมูลที่มีจำนวนมาก และมีรายละเอียดของฐานข้อมูลแต่ละฐานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการกำหนดขอบเขตของการประเมินแต่ฐานข้อมูลและการแบ่งภูมิประเทศของการประเมิน ซึ่งการเลือกใช้การประเมินแบบ SimaPro จึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงรายละเอียดที่มาของฐานข้อมูลก่อนทำการเลือกใช้ แต่การประเมินแบบ SimaPro มีข้อดีที่แตกต่างจากการประเมินอีก 2 รูปแบบ คือ จำนวนข้อมูลและขอบเขตการประเมิน ข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลมีความหลากหลาย ทำให้สามารถนำฐานข้อมูลที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และที่มาของผลิตภัณฑ์ที่ถูกประเมินได้ ส่วนวิธีการประเมินแบบ PCA-TGO จะเป็นใช้ค่า Emission Factor จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลบัญชีรายการวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในประเทศไทย รูปแบบการประเมินแบบ PCA-TGO จะสามารถเลือกใช้ฐานข้อมูลได้ง่ายกว่าการประเมินแบบ SimaPro แต่ฐานข้อมูลของการประเมินแบบ PCA-TGO ส่วนใหญ่จะถูกเก็บรวบรวมเป็นข้อมูลระดับตัวแทนของประเทศในลักษณะของค่าเฉลี่ย ทำให้การเลือกใช้ต้องตรงกับที่มาของผลิตภัณฑ์ที่ทำการประเมินด้วย

4. สิ่งที่ทำให้ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของแต่ละรูปแบบการประเมินมีค่าที่แตกต่างกันมาจากแหล่งที่มาของฐานข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน โดยวิธีการประเมินแบบ PCA-TGO จะเป็นข้อมูลทุติยภูมิ ที่ได้จากการรวบรวมโดยคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์แห่งประเทศไทย แล้วนำมาคำนวณออกมาเป็นข้อมูลปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO2eq) วิธีการประเมินแบบ Combined PCA-IOA เป็นการประเมินเพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยจากขั้นตอนต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ภาคพลังงาน โดยใช้ข้อมูลตามตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (I-O Table) นำมาใช้คำนวณ เพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยจากขั้นตอนต่าง ๆ และวิธีการประเมินแบบ SimaPro

วิธีการประเมิน IPCC 2007 GWP 100a เป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดยจะทำการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้ง 6 ชนิด ซึ่งอาศัยฐานข้อมูล Ecoinvent เวอร์ชั่น 3 ที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั่วโลก ดังนั้นเพื่อให้เกิดความถูกต้องและแม่นยำของผลการประเมินมากยิ่งขึ้น การเลือกใช้ฐานข้อมูลจากรูปแบบการประเมินต่าง ๆ ควรนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันให้ตรงกับแหล่งที่มาของสิ่งที่ถูกประเมิน และควรตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล ซึ่งอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์มากกว่าการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลของรูปแบบการประเมินใดประเมินหนึ่งมาใช้

5. แนวทางในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เมื่อผู้ผลิตข้าวหลามหนองมนสามารถทราบถึงขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทางการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์แล้ว จะทำให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุงแก้ไข ลดปริมาณการใช้หรือเลือกใช้วัตถุดิบที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากการศึกษานี้ พบว่าข้าวเหนียวซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตมีการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงที่สุด จึงจำเป็นต้องมีการนำประเด็นนี้มาศึกษาต่อไป เพื่อนำมาปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีความเหมาะสม และเกิดการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์น้อยลง เพื่อเป็นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับผลิตภัณฑ์ข้าวหลามหนองมนอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. ในการพิจารณาเลือกใช้รูปแบบการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประเมินเป็นสิ่งสำคัญ และมีผลต่อความแม่นยำของผลการประเมินที่สุด

2. จากการศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เหมาะสมสำหรับ กรณีศึกษาข้าวหลามหนองมน โดยใช้รูปแบบการประเมินที่แตกต่างกัน จนทำให้ทราบถึงข้อดีและข้อจำกัดของการเลือกใช้การประเมินรูปแบบต่าง ๆ ทำให้ผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกรูปแบบการประเมิน เพื่อใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ สำหรับเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์หรือบริการต่าง ๆ ที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์น้อยที่สุด รวมทั้งยังสามารถใช้เครื่องมือทางการค้าเพื่อการส่งออกผลิตภัณฑ์ในประเทศไปสู่ตลาดโลก แต่สิ่งสำคัญที่การศึกษาครั้งนี้พบ คือ ประเทศไทยยังมีฐานข้อมูลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตที่ยังไม่ครบถ้วน และครอบคลุม จึงอยากเสนอให้มีการศึกษาและทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตเพิ่มขึ้น เพื่อให้มีฐานข้อมูลที่สามารถนำไปใช้งานต่อยอดได้

3. ผลจากการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนด้วยการเผาข้าวหลามในเตาเผาข้าวหลามชีวมวลมีค่าน้อยที่สุด จึงควรนำเตาเผาข้าวหลามชีวมวลไปเผยแพร่สร้างความรู้และการยอมรับให้กับผู้ผลิตข้าวหลามหนองมน ได้รู้จักกับเตาเผาข้าวหลามชีวมวลสำหรับใช้ในการผลิตข้าวหนองมน เพื่อรักษาเอกลักษณ์ของข้าวหลามหนองมนที่แท้จริง รวมทั้งลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากผลิตภัณฑ์อีกด้วย

บรรณานุกรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2551). LCA: *เครื่องมือสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเขียว*. กรุงเทพฯ: ส.เจริญการพิมพ์.

กฤษรัตน์ มงคลธนชัย, ชัยวัฒน์ โฆษิตชัยมงคล และวัชรากร กล้าหาญ. (2558). *การพัฒนาเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 3*, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

กายร์ฎิรัตน์ เลิศดารารัศมี, ภราดร นามโลมา และอัษฎาวุฒิ ทาปลัด. (2548). *การพัฒนาเตาเผาข้าวหลามชีวมวลต้นแบบรุ่นที่ 2*, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทย. (2554). *แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทย*. พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง (มหาชน).

จารึก ถึงลาภ. (2546) *ข้าวหลามหนองมน*. ชลบุรี: กลุ่มเกษตรกรบ้านเหมือง.

ณพฤกษ์ สุเนตร, บรรพต ชมพูเพชร, วรรณพล พิทักษ์สมบัติ, ฤกษ์ชัย วณิชประภาพร และเอกชัย เอกสิทธิชู. (2546). *เตาเผาข้าวหลามต้นแบบโดยใช้วัสดุชีวมวลเหลือทิ้งเป็นเชื้อเพลิง*, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ทิพย์สุดา รันนัน. (2557). *ข้าวหลาม อาหารจากภูมิปัญญาไทย*. เข้าถึงได้จาก http://www.stou.ac.th/study/sumrit/12-57(500)/page6-12-57(500).html.

นเรศ ใหญ่วงศ์. (2554). *การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องด้วยวิธีการคัดกรองตัวแปร*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ. (2558). *วิชาพลังงาน สิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ*. ชลบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา. เอกสารการสอน.

รัตนาวรรณ มั่งคั่ง, แชบเบียร์ กีวาลา บัณฑิต, งามทิพย์ ภู่วโรดม และสิรินทรเทพ เต้าประยูร. (2553). *การวิเคราะห์และจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวสำหรับการติดฉลากคาร์บอน เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำในการบรรเทาภาวะโลกร้อน*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

ร้านแม่นิยม. นิยม สร้อยสน. (2558, ตุลาคม 14). สัมภาษณ์.

ร้านแม่สุภา. อมรรัตน์ ศรีประศาสตร์. (2558, ตุลาคม 29). สัมภาษณ์.

ร้านข้าวหลาม. แม่วิไล ประยงค์ วิไล. (2559, มีนาคม 2). สัมภาษณ์.

สถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ. (2557). *ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases-Carbon footprint of products-Requirements and guidelines for quantification and ommunication*. เข้าถึงได้จาก http://www.masci.or.th/upload/warningfile/2.ISO%20TS%2014067-2013.pdf.

องค์กรธุรกิจเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (TBCSD). (2557). *Green Label Scheme (โครงการฉลากเขียว)*. เข้าถึงได้จาก http://www.tei.or.th/greenlabel.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2559). *Update Emission Factor CFP มิถุนายน 2559*. เข้าถึงได้จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emission/products_emission.pnc.

อุรศา ศรีบุญลือ. (2557). *ฉลากสิ่งแวดล้อมทางเลือก เพื่อสิ่งแวดล้อมสำหรับผู้บริโภค*. เข้าถึงได้จาก http://www2.ftpi.or.th/dwnld/prdsrv/14000/nana/label.pdf.

เอกชัย วิรุฬห์ประภา. (2556). *การศึกษาเปรียบเทียบการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์โดยสมมติฐานของขอบเขตที่แตกต่างกันกรณีศึกษา: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผงซักฟอก*. งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

Eric Johnson. (2009). *Charcoal versus LPG grilling: A carbon-footprint comparison*. Environmental Impact Assessment Review, *9*(2009), 370-378.

International Organization for Standardization. (2002). *ISO13602-1:2002 Technical energy systems - Methods for analysis*, Switzerland.

International Organization for Standardization. (2006). *ISO14044: Environment management - Life cycle assessment - Requirement and guidelines*, Switzerland.

IPCC. (2013). *Climate Change 2013*: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Mark Goedkoop, Michiel Oele, Marisa Vieira, Jorrit Leijting, Tommie Ponsioen & Ellen Meijer. (2014). *SimaPro Tutorial (Report version 5.1)*, San Francisco, California: Creative Commons.

Namy Espinoza-Orias, Heinz Stichnothe & Adisa Azapagic. (2011). *The carbon footprint of bread. Int J Life Cycle Assess*, *16*(2011), 351-365.

Panatda Riyakad & Siriluk Chiarakorn. (2015). Energy Consumption and Greenhouse Gas Emission from Ceramic Tableware Production: A Case Study in Lampang, Thailand. In *2015 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies* (pp. 98-102). Sheraton Grande Sukhumvit Hotel, Bangkok, Thailand.

Pawinee Suksuntornsiri & Bundit Limmeechokchai. (2005). The PCA and IOA approaches for life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from Thai commodities and energy consumption, *Songklanakarin J. Sci. Technol*., *27*(1), 177-189.

Pawinee Suksuntornsiri, Paiboon Limpitipanich, Warunee Tia & Bundit Limmeechokchai. (2013). Embodied Primary Energy and CO2 EMission Intensity in Thai Commodities Based on PDP2010: An Input-Output Analysis. *6th AUN/SEED-Net Regional Conference on Energy Engineering (RCEneE)*, 14.

PRé Sustainability. (2016) SimaPro Faculty. เข้าถึงได้จาก https://simapro.com/.

The ecoinvent database. (2015). *Methodology of ecoinvent 3*. Retrieved from http://www.ecoinvent.org/support/faqs/methodology-of-ecoinvent-3/what-do-the-shortcuts-such-as-ch-rer-row-and-glo-mean.html.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์

แบบสัมภาษณ์ผู้ผลิตข้าวหลามหนองมน

1. ชื่อ .....
2. ที่อยู่ .....
3. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง
4. อายุ ☐ ต่ำกว่า 20 ปี ☐ 20 – 30 ปี
   ☐ 31 – 40 ปี ☐ 41 – 50 ปี
   ☐ 51 – 60 ปี ☐ 60 ปีขึ้นไป
5. ทางร้านมีการผลิตข้าวหลามกี่แบบ.....
   .....
6. เริ่มผลิตข้าวหลามมาเป็นระยะเวลาเท่าไหร่ .....
   .....
7. ส่วนประกอบของข้าวหลามมีอย่างไรบ้าง.....
   .....
   .....
   .....
8. การผลิตข้าวหลามด้วยการเผาแบบไหนเหมาะสมที่สุด เพราะเหตุใด.....
   .....
9. การเผาข้าวหลามที่เผาอยู่ในปัจจุบันแบบไหน มีปัญหามากที่สุดอะไรบ้าง
   ด้านเชื้อเพลิง.....
   ด้านเครื่องมือ.....
   อื่นๆ.....
   .....
10. ข้าวหลามที่มีการเผาแบบใด เป็นที่ต้องการของตลาดมากที่สุด.....
    .....
11. มีหน้าร้านในการจำหน่ายข้าวหลามเองหรือไม่ อย่างไร.....
    .....

แบบสัมภาษณ์ผู้จำหน่ายข้าวหลามหนองมน

ชื่อ .....

ที่อยู่ .....

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง
2. อายุ ☐ ต่ำกว่า 20 ปี ☐ 20 – 30 ปี
   ☐ 31 – 40 ปี ☐ 41 – 50 ปี
   ☐ 51 – 60 ปี ☐ 60 ปีขึ้นไป
3. เปิดร้านจำหน่ายผลิตภัณฑ์มาแล้วกี่ปี
   ☐ ต่ำกว่า 5 ปี ☐ 5 – 10 ปี
   ☐ 10 – 20 ปี ☐ 20 – 30 ปี
   ☐ 30 ปีขึ้นไป
4. ในร้านมีผลิตภัณฑ์ (ข้าวหลาม) จำหน่ายกี่ชนิด .....
   .....
5. ผลิตภัณฑ์ชนิดใดขายดีที่สุด .....
   .....
6. กลุ่มเป้าหมายในการซื้อผลิตภัณฑ์คือใคร .....
   .....
7. ทางร้านผลิตและจำหน่ายข้าวหลามเองหรือไม่ อย่างไร .....
   .....
8. ข้าวหลามที่ผลิต (เผา) แบบใดจำหน่ายดีที่สุด เพราะเหตุใด .....
   .....

ตารางภาคผนวก ก-1 สรุปผลจากแบบสัมภาษณ์ผู้ผลิตข้าวหลามหนองมน

ชื่อ	ร้าน ข้าวหลามแม่นิยม	ร้าน ข้าวหลามแม่สุภา	ร้าน ลุงประยงค์ ป้าวิไล	ร้านหน้าตลาด หนองมน	ร้านด้านในตลาด หนองมน	ร้านฝั่งตรงข้าม ตลาดหนองมน
การผลิตข้าวหลาม (แบบ)	2 แบบ (แบบลาน, แบบใช้ก๊าซ LPG)	1 แบบ (แบบใช้ก๊าซ LPG)	1 แบบ (แบบลาน)	1 แบบ (แบบใช้ก๊าซ LPG)	1 แบบ (แบบลาน)	2 แบบ (แบบลาน, แบบใช้ก๊าซ LPG)
จำนวนปีที่ผลิต	มากกว่า 50 ปี	มากกว่า 20 ปี	มากกว่า 30 ปี	มากกว่า 30 ปี	มากกว่า 30 ปี	มากกว่า 25 ปี
การเผาแบบไหน เหมาะสมที่สุด	แบบใช้ก๊าซ LPG	แบบใช้ก๊าซ LPG	แบบลาน	แบบใช้ก๊าซ LPG	แบบลาน	แบบใช้ก๊าซ LPG
การเผาแบบใด เป็นที่ต้องการมากที่สุด	แบบลาน	แบบใช้ก๊าซ LPG	แบบลาน	แบบใช้ก๊าซ LPG	แบบลาน	แบบลาน
หน้าร้านใน การจำหน่าย ข้าวหลาม	มี	มี	ไม่มี	มี	มี	มี

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

ชื่อ	ร้าน ข้าวหลามแม่นิยม	ร้าน ข้าวหลามแม่สุภา	ร้าน ลุงประยงค์ ป้าวิไล	ร้านหน้าตลาด หนองมน	ร้านด้านในตลาด หนองมน	ร้านฝั่งตรงข้าม ตลาดหนองมน
ปัญหาที่พบจาก การเผาข้าวหลาม	ควันไฟ	การดูแลรักษา เตาเผา	เผาได้จำนวนน้อย	ไม่มี	สีกระบอกเป็นสีดำ คนไม่ชอบ	เผาลานจะเหนื่อย กว่าเผาก๊าซ

ตารางที่ ก-2 สรุปผลจากแบบสัมภาษณ์ผู้จำหน่ายข้าวหลามหนองมน

ชื่อ	ร้าน ข้าวหลามแม่นิยม	ร้าน ข้าวหลามแม่สุภา	ร้านหน้าตลาด หนองมน	ร้านด้านในตลาด หนองมน (1)	ร้านด้านในตลาด หนองมน (2)	ร้านฝั่งตรงข้าม ตลาดหนองมน
เปิดร้านมาแล้ว	> 10 ปี	> 20 ปี	> 30 ปี	> 10 ปี	> 5 ปี	> 20 ปี
จำหน่ายผลิตภัณฑ์ (ข้าวหลาม) กี่ชนิด	2 ชนิด	2 ชนิด	1 ชนิด	2 ชนิด	1 ชนิด	1 ชนิด

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

ชื่อ	ร้าน ข้าวหลามแม่นิยม	ร้าน ข้าวหลามแม่สุภา	ร้านหน้าตลาดหนองมน	ร้านด้านในตลาดหนองมน (1)	ร้านด้านในตลาดหนองมน (2)	ร้านฝั่งตรงข้ามตลาดหนองมน
ผลิตภัณฑ์ในร้านชนิดใดขายดี	ข้าวหลาม/ขนมจาก	ข้าวหลาม	ข้าวหลาม/ ขนมจาก/ ของฝาก	ข้าวหลาม/ ขนมจาก	ข้าวหลาม	ข้าวหลาม/ ขนมจาก/ ของฝาก/ ของทะเล
กลุ่มเป้าหมาย	คนทั่วไป	นักท่องเที่ยว/ คนทั่วไป	นักท่องเที่ยว/ ชาวต่างชาติ	นักท่องเที่ยว/ ชาวต่างชาติ	นักท่องเที่ยว/ ชาวต่างชาติ	นักท่องเที่ยว/ ชาวต่างชาติ
ทางร้านผลิตและจำหน่ายข้าวหลามเองหรือไม่	เผาเองขายเอง	เผาเองขายเอง	เผาเองขายเอง	เผาเองขายเอง	เผาเองขายเองและรับมาขาย	ไม่ได้เผาเอง
ข้าวหลามที่ผลิต (เผา) แบบใดจำหน่ายดีที่สุด	เผาลาน/ กลิ่นหอม	เผาลาน/ กลิ่นหอม	ขายดีหมด	เผาก๊าซ LPG/ แห้ง	เผาก๊าซ LPG/ อร่อย	แล้วแต่คนชอบ

ภาคผนวก ข

รายการคำนวณ

ตารางภาคผนวก ข-1 การคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนจาก 3 วิธีการเผาโดยใช้การประเมินแบบ PCA-TGO

Raw material	**Number**	**Unit**	**ค่าแฟคเตอร์ (EF) ($kgCO_2eq$/ หน่วย)**	**ที่มา**	**$kgCO_2$**
ข้าวเหนียว	16	กิโลกรัม	7.8	ข้อมูลจากโครงการวิจัย การวิเคราะห์และจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวสำหรับการติดฉลากคาร์บอน เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำในการบรรเทาภาวะโลกร้อนโดย ดร.รัตนาวรรณ มั่งคั่ง และคณะ, 2553	124.8
กะทิ	7	กิโลกรัม	0.0109	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (น้ำกะทิ), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	0.0763
น้ำตาลทราย	5	กิโลกรัม	1.08	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (น้ำตาล), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	5.4
เกลือป่น	2	กิโลกรัม	0.0056	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (เกลือทะเล), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	0.0112
ถั่วดำ	1	กิโลกรัม	0.3684	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ถั่วดำ), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	0.3684

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	ค่าแฟคเตอร์ (EF) ($kgCO_2eq$/ หน่วย)	ที่มา	$kgCO_2$
เผือก	1	กิโลกรัม	0.0548	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์อินทรีย์), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	0.0548
กล้วยตาก	1	กิโลกรัม	0.4336	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (กล้วยไข่), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	0.4336
ไม้ไผ่	480	กิโลกรัม	-	คำนวณด้วยการขนส่งจากจังหวัดกาญจนบุรี ระยะทาง 229 กิโลเมตร ด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 11 ตัน	3.918
น้ำประปา	0.045	ลบ.ม.	0.7043	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	0.0316935

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	ค่าแฟคเตอร์ (EF) ($kgCO_2eq$/ หน่วย)	ที่มา	$kgCO_2$
เสาไม้แดง	99	กิโลกรัม	0.0615	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Wood domestic), (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554)	6.0885
คานไม้แดง	150	กิโลกรัม	0.0615	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Wood domestic), (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554)	9.225
สังกะสีมุงหลังคา	6	กิโลกรัม	2.7073	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Galvanized steel), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	16.2438
ตะปู	1	กิโลกรัม	1.76	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (เหล็ก), (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554)	1.76

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	ค่าแฟคเตอร์ (EF) ($kgCO_2eq$/ หน่วย)	ที่มา	$kgCO_2$
ตะปูตอกสังกะสี	18	กิโลกรัม	1.76	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (เหล็ก), (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554)	31.68
กาบมะพร้าว	20	กิโลกรัม	0.6563	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (มะพร้าว), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	13.126
กะลามะพร้าว	25	กิโลกรัม	0.6563	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (มะพร้าว), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	16.4075
แผ่นเหล็กชิงค์	153	กิโลกรัม	2.2754	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Steel sheet, electrogalvanized), (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554)	348.1362
เหล็กชิงค์แบบกล่อง	127.5	กิโลกรัม	2.2754	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Steel sheet, electrogalvanized), (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554)	290.1135

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	ค่าแฟคเตอร์ (EF) ($kgCO_2eq$/ หน่วย)	ที่มา	$kgCO_2$
ฉนวนใยแก้ว	1.3	กิโลกรัม	2.5453	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ฉนวนใยแก้ว), (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554)	3.30889
บอลวาล์วทองเหลือง	4	กิโลกรัม	2.4528	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Brass), (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559)	9.8112
สายแก๊สหุงต้ม PVC	5	กิโลกรัม	2.4704	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (PVC), 2559	12.352
ไฟฟ้า	163.23	kWh	0.6093	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ไฟฟ้า), 2559	99.456039
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	16	กิโลกรัม	3.11	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ก๊าซหุงต้ม), 2559	49.76

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	ค่าแฟคเตอร์ (EF) ($kgCO_2eq$/ หน่วย)	ที่มา	$kgCO_2$
เหล็กกล่อง 25×25 mm. หนา 2.3 mm.	27.54	กิโลกรัม	2.4495	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Steel, plate), 2554	67.45923
เหล็กกล่อง 50×50 mm. หนา 2.3 mm.	60.12	กิโลกรัม	2.4495	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Steel, plate), 2554	147.26394
เหล็กฉาก 50 mm. หนา 2.3 mm.	36	กิโลกรัม	2.4495	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Steel, plate), 2554	88.182
เหล็กกล่อง 20×20 mm. หนา 1.2 mm.	19.68	กิโลกรัม	2.4495	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Steel, plate), 2554	48.20616
เหล็กแบน 25 mm. หนา 2 mm.	3.5	กิโลกรัม	2.4495	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Steel, plate), 2554	8.57325

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	ค่าแฟคเตอร์ (EF) ($kgCO_2eq$/ หน่วย)	ที่มา	$kgCO_2$
เหล็กแผ่นเจาะรู 25×25 mm. หนา 2.3 mm.	9.18	กิโลกรัม	2.4495	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Steel, plate), 2554	22.48641
ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต	20	กิโลกรัม	1.0676	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ โดย TGO (หินปูน (lime, CaCO3) -การผลิต)	21.352
อิฐทนไฟ	45	กิโลกรัม	0.2414	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Brick), 2559	10.863
สังกะสี	63.84	กิโลกรัม	2.7073	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Galvanized steel), 2559	172.83403

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

Raw material	**Number**	**Unit**	**ค่าแฟคเตอร์ (EF) ($kgCO_2eq$/ หน่วย)**	**ที่มา**	**$kgCO_2$**
สีทนความร้อน	3.785	กิโลกรัม	2.86	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Alkyd resin, long oil, 70% in white sprit, at plant/RER U), 2559	10.8251
ไฟฟ้า	854.25	kWh	0.6093	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ไฟฟ้า), 2559	520.49453
กาบมะพร้าว	3.6	กิโลกรัม	0.6563	แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (มะพร้าว), 2559	2.36268

ตัวอย่างวิธีการคำนวณการปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้การประเมินแบบ PCA-TGO

ข้าวเหนียว 16 กิโลกรัม

สูตรการคำนวณ Carbon Footprint = Activity × Emission Factor

= 16 กิโลกรัม × 7.8 $kgCO_2eq$/ กิโลกรัม

= 124.8 $kgCO_2eq$

สรุป ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวเหนียว 16 กิโลกรัมเท่ากับ 124.8 $kgCO_2eq$

ตารางภาคผนวก ข-2 การคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวหลามหนองมนจาก 3 วิธีการเผาโดยใช้การประเมินแบบ Combined PCA-IOA

Raw material	Number	Unit	Price/Unit	Net Price (Baht)	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (t-CO_2/ million Baht)	ที่มา	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity ($kgCO_2$/ million Baht)	$kgCO_2$
ข้าวเหนียว	16	กิโลกรัม	40	640	17.53	001 การทำนา	17,530	11.22
โรงสีข้าวเหนียว	16	กิโลกรัม	40	640	19.18	049 โรงสีข้าว	19,180	12.28
กะทิ	7	กิโลกรัม	65	455	4.06	010 การทำสวนมะพร้าว	4,060	1.85
น้ำตาลทราย	5	กิโลกรัม	30	150	20.92	055 การผลิตน้ำตาล	20,920	3.14
เกลือป่น	2	กิโลกรัม	12	24	22.81	060 การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ	22,810	0.55

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	Price/Unit	Net Price (Baht)	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (t-CO_2/ million Baht)	ที่มา	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity ($kgCO_2$/ million Baht)	$kgCO_2$
ถั่วดำ	1	กิโลกรัม	25	25	20.25	006 การทำไร่พืชตระกูลถั่ว	20,250	0.51
เผือก	1	กิโลกรัม	40	40	13.63	005 การเพาะปลูกพืชไร่อื่น	13,630	0.55
กล้วยตาก	1	กิโลกรัม	80	80	21.25	008 การทำสวนผลไม้	21,250	1.70

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	Price/Unit	Net Price (Baht)	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (t-CO_2/ million Baht)	ที่มา	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity ($kgCO_2$/ million Baht)	$kgCO_2$
ไม้ไผ่ 16 ลำ	480	กิโลกรัม	40	640	12.1	027 ผลิตภัณฑ์จากป่าและการล่าสัตว์อื่น ๆ	12,100	7.74
น้ำประปา (0.045 หน่วย)	45	ลิตร	10.20	0.459	25.43	137 การประปา	25,430	0.01
กาบมะพร้าว	20	กิโลกรัม	5	100	4.06	010 การทำสวนมะพร้าว	4,060	0.406
กะลามะพร้าว	25	กิโลกรัม	5	125	4.06	11 การทำสวนมะพร้าว	4,060	0.508

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	Price/Unit	Net Price (Baht)	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (t-CO_2/ million Baht)	ที่มา	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity ($kgCO_2$/ million Baht)	$kgCO_2$
เสาไม้แดง	99	กิโลกรัม	320	1,280	9.10	025 การทำไม้ซุง	9,100	11.65
คานไม้แดง	150	กิโลกรัม	320	1,920	18.16	078 โรงเลื่อย	18,160	34.87
สังกะสีมุงหลังคา	6	กิโลกรัม	14	84	19.31	035 การทำเหมืองแร่อื่นที่มิใช่แร่เหล็ก	19,310	1.62
ตะปู	1	กิโลกรัม	22	22	40.33	108 การผลิตเครื่องตัดเครื่องมือและเครื่องใช้ที่ทำด้วยเหล็กและเหล็กกล้า	40,330	0.89

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	Price/Unit	Net Price (Baht)	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (t-CO_2/ million Baht)	ที่มา	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity ($kgCO_2$/ million Baht)	$kgCO_2$
ตะปูตอกสังกะสี	18	กิโลกรัม	510	510	40.33	109 การผลิตเครื่องตัด ครื่องมือและเครื่องใช้ที่ทำด้วยเหล็กและเหล็กกล้า	40,330	20.57
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	16	กิโลกรัม	21.875	350	110.06	136 การผลิตก๊าซธรรมชาติ	110,060	38.52
แผ่นเหล็กซิงค์	153	กิโลกรัม	320	1,920	61.87	106 การผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กกล้า	61,870	118.79

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	Price/Unit	Net Price (Baht)	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (t-CO_2/ million Baht)	ที่มา	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity ($kgCO_2$/ million Baht)	$kgCO_2$
เหล็กซิงค์แบบกล่อง	127.5	กิโลกรัม	296	1,480	61.87	106 การผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กกล้า	61,870	91.57
ฉนวนใยแก้ว	1.3	กิโลกรัม	2640	2640	72.43	100 การผลิตแก้วและผลิตภัณฑ์แก้ว	72,430	191.22
บอลวาล์วทองเหลือง	4	กิโลกรัม	390	3,120	50.58	111 การผลิตผลิตภัณฑ์อื่น	50,580	157.81

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	Price/Unit	Net Price (Baht)	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (t-CO_2/ million Baht)	ที่มา	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity ($kgCO_2$/ million Baht)	$kgCO_2$
สายแก๊สหุงต้ม PVC	5	กิโลกรัม	150	150	70.44	086 การผลิตยางสังเคราะห์และปิโตรเคมี	70,440	10.57
ไฟฟ้า	163.23	kWh	3.7362	609.86	112.84	135 การไฟฟ้า	112,840	68.82
เหล็กกล่อง 25×25 mm. หนา 2.3 mm.	27.54	กิโลกรัม	240	720	25.64	032 การทำเหมืองแร่เหล็ก	25,640	18.46

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	Price/Unit	Net Price (Baht)	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (t-CO_2/ million Baht)	ที่มา	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity ($kgCO_2$/ million Baht)	$kgCO_2$
เหล็กกล่อง 50×50 mm. หนา 2.3 mm.	60.12	กิโลกรัม	435	1305	25.64	032 การทำเหมืองแร่เหล็ก	25,640	33.46
เหล็กฉาก 50 mm. หนา 2.3 mm.	36	กิโลกรัม	310	620	25.64	032 การทำเหมืองแร่เหล็ก	25,640	15.90
เหล็กกล่อง 20×20 mm. หนา 1.2 mm.	19.68	กิโลกรัม	110	440	25.64	032 การทำเหมืองแร่เหล็ก	25,640	11.28
เหล็กแบน 25 mm. หนา 2 mm.	3.5	กิโลกรัม	90	90	25.64	032 การทำเหมืองแร่เหล็ก	25,640	2.31

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	Price/Unit	Net Price (Baht)	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (t-CO_2/ million Baht)	ที่มา	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity ($kgCO_2$/ million Baht)	$kgCO_2$
เหล็กแผ่นเจาะรู 25×25 mm. หนา 2.3 mm.	9.18	กิโลกรัม	1,200	1,200	25.64	032 การทำเหมืองแร่เหล็ก	25,640	30.77
ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต	20	กิโลกรัม	150	5,700	13.05	039 การทำเหมืองหินปูน	13,050	74.39
อิฐทนไฟ	45	กิโลกรัม	60	2,640	88.23	101 การผลิตผลิตภัณฑ์จากดินที่ใช้กับงานก่อสร้าง	88,230	232.93

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

Raw material	Number	Unit	Price/Unit	Net Price (Baht)	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (t-CO_2/ million Baht)	ที่มา	ค่า EF CO_2 Emissions Intensity (kgCO_2/ million Baht)	kgCO_2
สังกะสี	63.84	กิโลกรัม	450	3,600	19.31	035 การทำเหมืองแร่อื่น ที่มิใช่แร่เหล็ก	19,310	69.52
สีทนความร้อน	3.785	กิโลกรัม	2,197	2,197	66.19	087 การผลิตสีทา น้ำมันชักเงา และแลคเกอร์	66,190	145.42
ไฟฟ้า	854.25	kWh	2.7815	2,376.10	112.84	135 การไฟฟ้า	112,840	268.12