การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม และผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

โดย
นายนิธินันท์ ลิบลับ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม และผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

โดย
นายนิธินันท์ ลิบลับ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT OF DAIRY FARM AND DAIRY PRODUCT IN PHETCHABURI COLLEGE OF AGRICULTURE AND TECHNOLOGY

By

MR. Nithinan LIBLAB

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (Animal Science)

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2020

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม และผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี
โดย	นิธินันท์ ลิบลับ
สาขาวิชา	สัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันท์ เชาว์เครือ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.อรรถพล เทียนทอง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันท์ เชาว์เครือ)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ จำปาวะดี)

59751301 : สัตวศาสตร์ แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : ก๊าซเรือนกระจก, คาร์บอนฟุตปริ้นท์, การผลิตน้ำนม, โคนม, ผลิตภัณฑ์นม, น้ำนมพาสเจอร์ไรส์

นาย นิธินันท์ ลิบลับ: การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมและผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันท์ เชาว์เครือ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมและผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี กรณีศึกษาในเขตพื้นที่ ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพรชบุรี โดยแบ่งออกเป็น 2 การศึกษาย่อย ได้แก่ 1. การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำนมดิบจากฟาร์มโคนมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี 2. การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

การศึกษาที่ 1. การประเมินผลคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำนมในฟาร์มโคนมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ทำการศึกษาเก็บข้อมูลจากระบบการเลี้ยงแบบที่อยู่ในโรงเรือนตลอดเวลาของฟาร์มโคนมในวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี โดยโคนมเป็นสายพันธุ์ลูกผสมพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเซียน 96.5% จำนวน 106 ตัว แบ่งโคเป็น 5 กลุ่มได้แก่ โครีดนม, โคพักรีดนม, โคสาวท้อง, ลูกโค-โครุ่น, และโคนมเพศผู้ขุน ทำการบันทึกข้อมูลผลผลิตน้ำนม, น้ำหนักตัวสัตว์, การเก็บสะสมมูลในฟาร์ม, การใช้น้ำมัน, และการใช้ไฟฟ้าในฟาร์ม เพื่อนำมาประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่ปล่อยจากฟาร์มโคนม จากการศึกษาพบว่าค่าผลรวมการปล่อย GHG ทั้งหมด (4,640.33 กิโลกรัม CO_2e), คิดเป็นค่าผลรวมสู่การผลิตน้ำนม (65.18 %), และค่าผลผลิตน้ำนมรวมทั้งปีต่อตัว (2,865.39 กิโลกรัม) นำมาประเมินผลปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าเท่ากับ 1.11 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent; CO_2e) ต่อกิโลกรัมของผลผลิตน้ำนม ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากที่เกิดขึ้นโดยตัวสัตว์ปลดปล่อยออกมา (67.69 %) และมาจากการปลดปล่อยระว่างการจัดการมูลสิ่งขับถ่าย (18.65 %) โดยปลดปล่อยเป็นออกมาในรูปของ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละ 28.96 และ 38.73 % ของการผลิตก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทั้งหมด ตามลำดับ สรุปจากการศึกษาครั้งนี้ ค่าการประเมินผลคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของฟาร์มนี้มีค่าสูง เนื่องมาจากสัดส่วนฝูงของโคในฟาร์มจะเห็นได้ว่ากลุ่มโครีดนมมีปริมาณน้อยและผลผลิตน้ำนมต่อตัวต่อวันค่อนข้างต่ำ

การศึกษาที่ 2. การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ทำการศึกษาเก็บข้อมูลการสูญเสียทรัพยากรในกระบวนการผลิตเกิดขึ้นในจุดหลักๆ คือ น้ำนมตกค้างในถังรวมนม 240.90 กิโลกรัม/ปี น้ำนมค้างท่อ 178.40 กิโลกรัม/ปี น้ำนมตกค้างในเครื่องพาสเจอร์ไรส์ 216.30

กิโลกรัม/ปี และน้ำนมตกค้างในเครื่องบรรจุ 208.00 กิโลกรัม/ปี รวมน้ำนมสูญเสียจากกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ 843.60 กิโลกรัม/ปี ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ในรอบ 1 ปีการผลิตประกอบด้วย น้ำนมดิบ 266,909 กิโลกรัม บรรจุภัณฑ์ (ฟิล์มบรรจุนม) 3,487 กิโลกรัม ไฟฟ้า 364,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง น้ำประปา 828,000 ลิตร น้ำมันดีเซล 1,314 ลิตร สารทำความสะอาด ชนิดกรด 75,900 มิลลิลิตร และด่าง 27,600 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจากทรัพยากรทั้งหมดดังกล่าวผลิตเป็นนมจืดพาสเจอร์ไรส์บรรจุถุงได้จำนวน 1,330,341 ถุง/ปี การศึกษานี้สรุปได้ว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) มีการปล่อยคาร์บอนฟุตปริ้นท์ เท่ากับ 0.401 กิโลกรัม CO_2e การควบคุมประสิทธิภาพการผลิตเพื่อลดการสูญเสียของทรัพยากรสามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์นมได้

จากการศึกษาวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่เกิดขึ้นจากผลิตน้ำนมดิบของฟาร์มโคนมด้วยระบบการเลี้ยงแบบที่อยู่ในโรงเรือนตลอดเวลาของฟาร์มโคนมในวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี มีค่าเท่ากับ 1.11 kg CO2eq / kg milk (หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมของผลผลิตน้ำนมส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละที่เกิดขึ้นมาจากการหมักย่อยโดยตัวโค (67.69 %) และการจัดการมูล (18.65 %) ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนฟุต ปริ้นท์ที่เกิดขึ้นในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์จากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี มีค่าเท่ากับ 0.401 kg CO2eq / 1 unit product (หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อขนาด 1 ถุง หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร) ส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละที่เกิดขึ้นมากจากน้ำนมดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นของการผลิต (55.42 %) และการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต (38.20 %) ตามลำดับ การประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA) แสดงให้เห็นได้ว่า แนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ควรมีกลยุทธ์ในการลดการหมักย่อยผลิตก๊าซมีเทนของโคนม ร่วมกับการจัดการลดขนาดฝูงที่เหมาะสม และการใช้พลังงานชีวภาพทางเลือกในระบบการผลิตฟาร์มโคนมและกระบวนการแปรรูปให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์นม

59751301 : Major (Animal Science)
Keyword : greenhouse gas, carbon footprint, milk production, dairy cattle, dairy product, pasteurized milk

MR. NITHINAN LIBLAB : CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT OF DAIRY FARM AND DAIRY PRODUCT IN PHETCHABURI COLLEGE OF AGRICULTURE AND TECHNOLOGY THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. ANAN CHAOKAUR, Ph.D.

The objective of this study was to conduct a life-cycle assessment (LCA) of greenhouse gas (GHG) emission and assess carbon footprint of dairy farm and dairy product in Phetchaburi College of Agriculture and Technology: A case study area in Samphraya subdistrict, Cha-Am district, Phetchaburi province. Device 2 study included that: 1) The assessment of carbon footprint in dairy cattle farm in Phetchaburi College of Agricultural and Technology, and 2) The assessment of carbon footprint in dairy product as in the production of pasteurized fresh milk 1 unit containing 200 ml (1 bag) of dairy processing plant in Phetchaburi College of Agriculture and Technology.

A case study 1: The assessment of carbon footprint in dairy cattle farm in Phetchaburi College of Agricultural and Technology. Dairy cattle production system of Phetchaburi College of Agricultural and Technology is the milking cows are in house using free stall barn system. One hundred and six crossbreds Holstein Friesian (96.5%) were allocated into 5 groups: lactating cows, dry cows, Pregnant heifers, heifers- calves, and bull. Milk production, body weight, manure storage, fuel, and electricity were recorded to assess the greenhouse gas (GHG) emissions via carbon footprint equation. The results were shown that total greenhouse gas was 4,640.33 kg CO_2e, allocated to milk (65.18 %), and annual milk production/cow (2,865.39 kg). The assessment of carbon footprint was 1.11 kg of CO_2 equivalent units/kg milk. Of the total GHG emission, 67.69% was enteric fermentation, 18.65% manure management. Methane and Carbon dioxide accounted for 28.96 and 38.73 % of total GHG emission, respectively. This study indicated that high carbon footprint value was due to decrease in imbalance of the herd of cattle in the farm and milk yield per day is low.

A case study 2: The assessment of carbon footprint in dairy product as in the production of pasteurized fresh milk 1 unit containing 200 ml (1 bag) of dairy processing plant in Phetchaburi College of Agriculture and Technology. Carbon footprint assessment

in pasteurized milk production of dairy processing plant of Phetchaburi College of Agriculture and Technology. There is a loss of resources in the production process, which occurs in the main point such as the milk is suspended in the milk tank, milk freezes the pipe, milk retain in pasteurizer and packaging machine as 240.90, 178.40, 216.30 and 208.00 kg / year, respectively. Total milk loss from the production of pasteurized milk 843.60 kg / year. Resources used to produce pasteurized fresh milk in round year production consists of raw milk 266,909 kilograms, packaging 3,487 kilograms, electricity 364,000 kilowatt hours, water supply 828,000 liters, diesel fuel 1,314 liters, acid and alkali cleaning agent as 75,900 ml and 27,600 grams, respectively. All resources are produced in pasteurized milk containing 1,330,341 bags / year. This study was concluded that carbon footprint in the production of pasteurized fresh milk 1 unit containing 200 ml (1 bag) as 0.401 kg CO_2e. Control of production efficiency to reduce the loss of resources can be improved to reduce greenhouse gas emissions of milk production and processing.

In the case study indicating that carbon footprint in dairy cattle farm using free stall barn system in Phetchaburi College of Agricultural and Technology was 1.11 kg of CO_2 /kg milk. Methane (CH_4) and Carbon dioxide (CO_2) accounted for 28.96 and 38.73 % of total GHG emission, respectively. The carbon footprint in the production of pasteurized fresh milk 1 unit containing 200 ml (1 bag) as 0.401 kg CO_2e. Of the total GHG emission, 55.42%% was raw milk supply, 38.20% electricity consumption. This LCA showed that greatest reductions in GHG emissions would be achieved by applying mitigation strategies to reduced enteric CH_4 from the cow, with minimal herd size management, and used of bio-energy option for dairy farm cattle production and milk product of processing plant.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันท์ เชาว์เครือ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการดำเนินการศึกษาวิจัย ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศักดิ์ จำปาวะดี อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.อรรถพล เทียนทอง กรรมการประจำหลักสูตรเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีประโยชน์และคุณค่าความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษามาโดยตลอด และขอขอบพระคุณครู-อาจารย์ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยี เพชรบุรี ที่อบรมสั่งสอนและสนับสนุนให้ได้เรียนรู้และทำงานมีประสบการณ์วิชาชีพ พร้อมกับการเอื้อเฟื้อเวลาและสถานที่ให้ได้ทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณญาติพี่น้อง เพื่อนร่วมงาน และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จได้ และช่วยพลักดันให้การศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาบรรลุสู่เป้าหมายได้ด้วยความสำเร็จดี

นิธินันท์ ลิบลับ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ซ

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 3

1.4 ขอบเขตของการศึกษา 3

บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 สภาวะโลกร้อน (Global Warming; GW) 4

2.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 8

2.3 การผลิตก๊าซเรือนกระจก 12

2.4 การผลิตก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรม 24

2.5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตร 31

2.6 การผลิตโคนมและผลิตภัณฑ์นม 32

2.7 การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ (Carbon footprint; CF) 38

2.8 The Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC 43

2.9 การประเมินระดับฟาร์ม 45

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์..... 48
2.11 การพัฒนาระบบการผลิตคาร์บอนต่ำในประเทศไทย..... 55
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 57
3.1 การศึกษาที่ 1 การประเมินผลคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำนมในฟาร์มโคนมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี..... 57
3.2 การศึกษาที่ 2 การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี..... 63
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 68
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 69
4.1 ผลการศึกษาที่ 1 การประเมินผลคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำนมในฟาร์มโคนม..... 69
4.2 ผลการศึกษาที่ 2 การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม..... 88
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 97
รายการอ้างอิง..... 99
ภาคผนวก..... 107
ภาคผนวก ก..... 108
ภาคผนวก ข..... 109
ประวัติผู้เขียน..... 110

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก 6

ตารางที่ 2 ความรุนแรงของก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e) 11

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติและปริมาณก๊าซเรือนกระจก 14

ตารางที่ 4 จำนวนโคนมในประเทศที่สำคัญของโลก ปี พ.ศ. 2558-2562 33

ตารางที่ 5 จำนวนโคนมและผลผลิตน้ำนมดิบของไทย ปี 2558 – 2563 34

ตารางที่ 6 ปริมาณผลผลิตน้ำนมดิบในประเทศที่สำคัญของโลก ปี พ.ศ. 2558-2562 35

ตารางที่ 7 ปริมาณการบริโภคน้ำนมในประเทศที่สำคัญของโลก ปี พ.ศ. 2558-2562 36

ตารางที่ 8 ปริมาณและมูลค่านมและผลิตภัณฑ์นมส่งออกของไทย ปี พ.ศ. 2558-2562 37

ตารางที่ 9 ปริมาณและมูลค่านมและผลิตภัณฑ์นมนำเข้าของไทย ปี พ.ศ. 2558-2562 37

ตารางที่ 10 ก๊าซเรือนกระจกที่พิจารณาในภาค IPPU และค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน 45

ตารางที่ 11 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มและโยเกิร์ต 52

ตารางที่ 12 ปริมาณคาร์บอนฟุตปรินทร์ที่แตกต่างกันของแต่ละช่วงของการผลิต 52

ตารางที่ 13 สมการทำนายน้ำหนักตัวโค 59

ตารางที่ 14 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 60

ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ 62

ตารางที่ 16 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 67

ตารางที่ 17 ข้อมูลจำนวนโค (ตัว) แบ่งกลุ่มตามระยะของการผลิตโคนม ในรอบการผลิต 1 ปี 69

ตารางที่ 18 ข้อมูลน้ำหนักตัวของโครีดนม และค่าเทียบหน่วย Live Unit (LU) ในรอบการผลิต 1 ปี .. 70

ตารางที่ 19 ข้อมูลน้ำหนักตัวของโคแห้งนม และค่าเทียบหน่วย Live Unit (LU) ในรอบการผลิต 1ปี . 71

ตารางที่ 20 ข้อมูลน้ำหนักตัวของโคสาวท้อง และค่าเทียบหน่วย Live Unit (LU) ในรอบการผลิต 1ปี 72

ตารางที่ 21 ข้อมูลน้ำหนักตัวของลูกโค-โครุ่น และค่าเทียบหน่วย Live Unit (LU) ในรอบการผลิต 1ปี 73
ตารางที่ 22 ข้อมูลน้ำหนักตัวของโคนมเพศผู้ขุน และค่าเทียบหน่วย Live Unit (LU) ในรอบการผลิต 1ปี74
ตารางที่ 23 ข้อมูลปริมาณผลผลิตน้ำนมดิบของฟาร์ม ในรอบการผลิต 1 ปี 75
ตารางที่ 24 ข้อมูลปริมาณทรัพยากรที่ใช้ภายในฟาร์ม ในรอบการผลิต 1 ปี 76
ตารางที่ 25 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสม จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ ในรอบ 1 ปี 77
ตารางที่ 26 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมในการผลิตนมดิบ ในรอบ 1 ปี 78
ตารางที่ 27 แหล่งของที่มาและปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมของการทำฟาร์มโคนมในรอบ 1 ปี 79
ตารางที่ 28 ข้อมูลปริมาณการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ บรรจุถุง ขนาด 200 มิลลิลิตร ในรอบการผลิต 1 ปี 89
ตารางที่ 29 ข้อมูลการสูญเสียน้ำนม (ลิตร) ในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ในรอบการผลิต 1 ปี 90
ตารางที่ 30 ข้อมูลปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ในรอบการผลิต 1 ปี 91
ตารางที่ 31 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์ ในรอบ 1 ปี... 92
ตารางที่ 32 แหล่งที่มาและปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์ ในรอบ 1 ปี 93

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3

ภาพที่ 2 ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect)..... 7

ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ 7

ภาพที่ 4 อุณหภูมิของโลกโดยเฉลี่ยซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต 8

ภาพที่ 5 แสดงระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นระหว่างปี 1995 ถึง 2013 โดยอัตราเฉลี่ยของการเพิ่มของระดับน้ำทะเลคือ 3.19 มิลลิเมตรต่อปี..... 9

ภาพที่ 6 วัฏจักรของคาร์บอน (Carbon cycle) 17

ภาพที่ 7 การเกิดก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน 20

ภาพที่ 8 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ 22

ภาพที่ 9 กระบวนการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ 23

ภาพที่ 10 อันดับประเทศที่มีการปล่อย ก๊าซ CO2 สูงสุด 40 อันดับ แรกของโลก ในปี 2013 25

ภาพที่ 11 ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 ในแต่ละภาคและสาขา ปี พ.ศ. 2556 26

ภาพที่ 12 การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย (Thailand’s INDC) ในทุกสาขาเศรษฐกิจ 26

ภาพที่ 13 ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาค IPPU ปี พ.ศ. 2556 ($MtCO_2e$, %) 27

ภาพที่ 14 ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตแร่ปี พ.ศ. 2556 ($MtCO_2e$, %)..... 28

ภาพที่ 15 ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมีปี พ.ศ. 2556 ($MtCO_2e$, %)..... 29

ภาพที่ 16 ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตโลหะปี พ.ศ. 2556 ($MtCO_2e$, %)..... 29

ภาพที่ 17 กราฟแสดงแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาค IPPU ปี พ.ศ. 2543 - 2556..... 30

ภาพที่ 18 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามภาคส่วนธุรกิจในหน่วยร้อยละ 31
ภาพที่ 19 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ B to C 39
ภาพที่ 20 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ B to B 39
ภาพที่ 21 ตัวอย่างฉลากบ่งชี้การปล่อยคาร์บอนต่ำ 40
ภาพที่ 22 ตัวอย่างฉลากบ่งชี้ระดับการปล่อยคาร์บอน 41
ภาพที่ 23 ฉลากระบุขนาดคาร์บอน 41
ภาพที่ 24 ตัวอย่างฉลากชดเชยคาร์บอน 41
ภาพที่ 25 ฉลากลดคาร์บอนในประเทศไทย 42
ภาพที่ 26 ฉลากคาร์บอนฟุตปริ้นท์ ประเทศไทย 42
ภาพที่ 27 ฉลากลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์ ประเทศไทย 43
ภาพที่ 28 สมการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 44
ภาพที่ 29 แผนผังการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 58
ภาพที่ 30 แผนผังการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการแปรรูปผลิตภัณฑ์นม 64
ภาพที่ 31 นมบรรจุถุงขนาด 200 มิลลิลิตร 65

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สภาวะโลกร้อน (Global Warming) ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่องและสิ่งแวดล้อมยังคงเป็นปัญหาอันดับหนึ่งของโลก ส่งผลให้หลายประเทศต้องเผชิญกับภัยพิบัติต่าง ๆ ที่ร้ายแรง ทั้งคลื่นความร้อน ภัยแล้ง ไฟป่า พายุ ธรรมชาติสิ่งแวดล้อมมีสภาพเสื่อมทรุดลงอีกทั้งน้ำแข็งขั้วโลกยังละลายตัวอย่างรวดเร็ว จนระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 10-25 เซนติเมตร (ธนวัฒน์, 2550) ข้อมูลจากรายงานการตรวจประเมินสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 4 (Fourth Assessment Report; AR 4) ที่เผยแพร่โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ “ไอพีซีซี” (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ขององค์การสหประชาชาติ ตั้งแต่เมื่อครั้งปี พ.ศ. 2550 ได้ระบุยืนยัน ชัดเจนว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเกิดเป็นภาวะโลกร้อนมาจาก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาจากผลการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ทั้งในภาคพลังงาน ภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม ป่าไม้และการใช้ที่ดิน และภาคของเสียในโลกยุคอุตสาหกรรม (มนนภา, 2561)

ในด้านการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกมีการคาดการณ์ว่าประชากรโลกจะเพิ่มขึ้นเป็น 9.5 พันล้านคนในปี พ.ศ. 2593 การเพิ่มขึ้นดังกล่าวจะส่งผลอย่างมากต่อความต้องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อตอบสนองต่อความต้องการพื้นฐานในการดำรงชีวิต ทั้งอาหาร เครื่องนุ่งห่ม ที่พักอาศัยและยารักษาโรค ความต้องการด้านอาหาร ของประชากรที่เพิ่มขึ้น (Capper, 2011) ดังนั้นความต้องการบริโภคของมนุษย์ที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้อุตสาหกรรมและการเกษตรเพิ่มขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นย่อมมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และก๊าซอื่น ๆ รวมถึงเพื่อตอบสนองความสะดวกสบายในการดำรงชีวิตเช่นการคมนาคมขนส่ง การพัฒนาเทคโนโลยีล้วนก่อให้เกิดเป็นก๊าซเรือนกระจก ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (วิโรจน์, 2557) ปัญหาเกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจก (Green House Gas; GHG) คือการเพิ่มปริมาณของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศโดยเพิ่มผลกระทบจากรังสีความร้อนและความร้อนต่ออุณหภูมิพื้นผิวและชั้นบรรยากาศ จะถูกแสดงบนพื้นฐานของ CO_2 เทียบเท่า (CO_2e) อย่างไรก็ตามผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่เกิดจากภาวะ ของก๊าซมีเทนอยู่ที่ 25 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ 310 เท่า ดังนั้นแม้ความเข้มข้นของไนตรัสออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในบรรยากาศจะส่งผลต่อภาวะโลกร้อนอย่างมาก

ในภาคการเกษตรเป็นส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ การเกษตรมีส่วนทำให้เกิดการปล่อยมลพิษทั่วโลกประมาณ 10-12% ด้านปศุสัตว์เป็น

ผู้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 80% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตร (FAO, 2006 อ้างอิงโดย Kristensen et al., 2011) ซึ่งมีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตน้ำนมดิบ Rotz et al. (2010) ประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมใน Pennsylvania ที่มีการจัดการฟาร์มและขนาดของฟาร์มแตกต่างกัน พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.37 ถึง 0.69 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (Energy Corrected Milk; ECM) และการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทยศึกษาโดยมธุรสและวิโรจน์ (2556) ทำการศึกษาในฟาร์มโคนมของเกษตรกรในจังหวัดขอนแก่น ที่เลี้ยงในระบบปล่อยแทะเล็มแปลงหญ้าร่วมกับเสริมฟางข้าวและเสริมอาหารข้นให้กินในระหว่างมื้อรีดนม พบว่าค่าผลรวมของการปล่อยก๊าซรวม เท่ากับ 5,141.12 กิโลกรัม CO_2e และค่าผลรวม สู่ผลผลิตน้ำนม เท่ากับ 88.87 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมมีค่าเท่ากับ 0.89 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) นอกจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำนมดิบในฟาร์มกว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์นมยังมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์นมจากการศึกษาของ Zhao et al. (2017) รายงานว่าการประเมินผลการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับผลิตภัณฑ์นมภายในประเทศ: ตามแนวทางการประเมินวงจรชีวิต (Lifecycle Based Approach) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดของนมบริสุทธิ์เท่ากับ 1,120g CO_2 ต่อลิตรของนมบริสุทธิ์ ส่วนการประเมินในประเทศไทยพลพมล, (2554) รายงานว่าคาร์บอนฟุตปริ้นท์จากการผลิตนมจืดพลาสเจอร์ไรซ์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตรตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงานเท่ากับ 0.32 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การผลิตวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.25, 0.01, และ 0.07 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ ในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์ ไฟฟ้าเป็นทรัพยากรที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 61.92 ในขณะที่นมสูญสียมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 1.20 ซึ่งการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของฟาร์มโคนมหรือส่วนของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมในประเทศไทยยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนักมีองค์กรที่เกี่ยวข้องคือองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) มีบทบาทในการรับรองฉลากคาร์บอนให้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ที่เรียกว่า คาร์บอนฟุตปริ้น (Carbon footprint)

แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งถ้าหากเราทราบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกก็จะสามารถหาแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในฟาร์มเลี้ยงโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรีและการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรซ์โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในฟาร์มเลี้ยงโคนมและโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

1.2.2 เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของการผลิตน้ำนมดิบในฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

1.2.3 เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรซ์โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

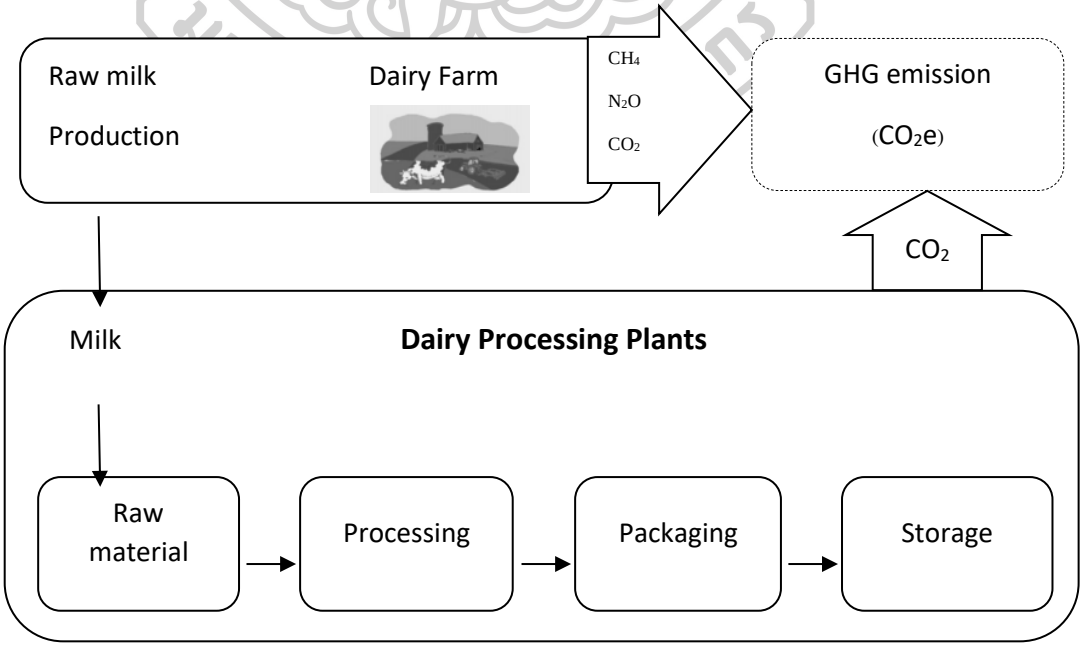
1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์สามารถทำได้โดยการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CH_4, CO_2 และ N_2O) จากกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต และการจัดการผลิตภัณฑ์

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 การศึกษาครั้งนี้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของฟาร์มโคนมและโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

1.4.2 ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ประเมินในส่วนของฟาร์ม และประเมินในส่วนของโรงงานแปรรูปนม ดังแสดงในภาพที่



ภาพที่ 1 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 สภาวะโลกร้อน (Global Warming; GW)

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และใช้เวลานานกว่าที่จะสังเกตพบได้ แต่กิจกรรมของมนุษย์ในช่วง 100 ปีที่ผ่านมาหรือ ตั้งแต่ในยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม ทำให้การสะสมของก๊าซเรือนกระจกและการเก็บกักความร้อนในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนซึ่งส่งผลให้ภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ รวมถึงการเพิ่มขึ้นทั้งปริมาณและความเข้มข้นจะไปจำกัดการสะท้อนกลับของพลังงานความร้อนของดวงอาทิตย์ที่สองมายังพื้นผิวโลก ส่งผลทำให้อุณหภูมิของพื้นดินและมหาสมุทรสูงขึ้น ในปี 2001 (พ.ศ. 2544) คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ได้ประเมินไว้ว่า นับตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกได้เพิ่มสูงขึ้น 0.6 องศาเซลเซียส และภายใน ค.ศ. 2100 (พ.ศ. 2643) อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะเพิ่มสูงขึ้นอีกประมาณ 1.4 ถึง 5.8 องศาเซลเซียส รวมถึงน้ำทะเลจะเพิ่มสูงขึ้น 0.1 ถึง 0.9 เมตร หากยังไม่มีมาตรการในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก (มิ่งสรรพ์ และกอบกุล, 2553) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสามารถเกิดขึ้นได้ในหลายพื้นที่และหลายรูปแบบสามารถตั้งข้อสังเกตได้จากการขาดแคลนหยาดน้ำฟ้าทำให้เกิดสภาวะที่ร้อนและแห้งแล้งขึ้นฤดูแล้งยาวนานยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ผลผลิตทางการเกษตรลดลงภาวการณ์ขาดแคลนอาหารในหลายทวีป ผลกระทบที่สำคัญโดยตรงต่อการดำรงชีพของมนุษย์ คือ การเปลี่ยนแปลงในห่วงโซ่อาหารและระบบนิเวศวิทยา การเพิ่มขึ้นหรือสั้นลงของฤดูกาลและฤดูเพาะปลูกเปลี่ยนแปลงไป (IPCC, 2001) รวมถึงการเกิดภัยธรรมชาติที่ทวีความรุนแรงขึ้น ยกตัวอย่างเช่น มรสุมและพายุโซนร้อน (Tropical cyclone) ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดพิบัติ ภัยน้ำท่วมทั้งในเขตเอเชียและเขตอบอุ่นมากตามไปด้วย (กัณฑรีย์, 2548) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)

สภาพภูมิอากาศ (Climate) คือ ค่าเฉลี่ยอากาศ ซึ่งได้มาจากการตรวจวัด ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ แสงแดด ลม ในช่วงระยะเวลา หนึ่ง ปกติแล้วจะเป็นค่าสถิติของค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรของปริมาณที่เกี่ยวข้องทั้งหมดยาวนานกว่า 30 ปีขึ้นไป ตามมาตรฐานของ WMO (World Methodological Organization) (MRC, 2013)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) คือการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอากาศเฉลี่ยรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอากาศ เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและ

ทางอ้อม ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศของโลก หรือพื้นดินในช่วงเวลาเดียวกัน (ณรงค์ , 2556)

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) คือ สภาวะที่โลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) สู่ชั้นบรรยากาศจนเกินสมดุลธรรมชาติ จึงเกิดปรากฏการณ์ความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกไม่สามารถระบายหรือสะท้อนกลับได้ (มิ่งสรรพ์ และกอบกุล, 2553)

สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The causes of Climate Change)

นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรืออุณหภูมิเฉลี่ยโดยรวมของโลกสูงขึ้น มาจากสภาวะโลกร้อนเนื่องจากปรากฏการณ์ภาวะเรือนกระจกส่วนประกอบสำคัญของก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และ ซัลเฟอร์เฮกซ่าฟลูออไรด์ (SF_6) โดย CO_2 เป็นก๊าซเรือนกระจกที่คิดเป็นสัดส่วนมากที่สุดถึง 77% ของทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซต่าง ๆ รวมถึงการตัดไม้ทำลายป่า (ตารางที่ 1)

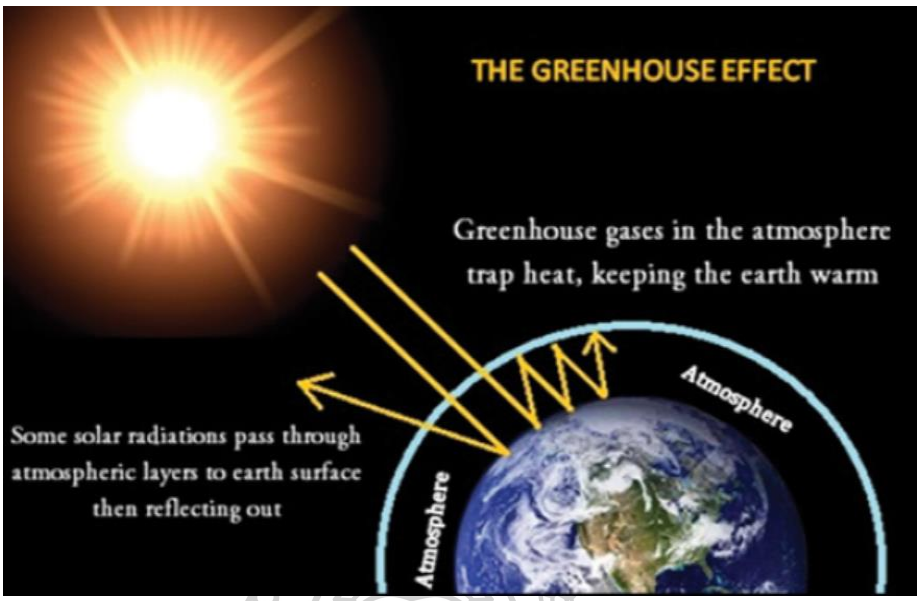
มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 1 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก	แหล่งที่มา	อายุในชั้นบรรยากาศ (ปี)
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์รวมถึงโรงผลิตไฟฟ้า และการเผาตัดไม้ ทำลายป่า	200-450
ก๊าซมีเทน	เกิดจากการทำการเกษตร ปศุสัตว์และการย่อยสลายของซากพืชและซากสัตว์ การทำเหมืองแร่ การผลิตถ่านหิน และการทับถมของปริมาณขยะ	9-15
ก๊าซไนตรัสออกไซด์	เกิดจากการทำการเกษตร ปศุสัตว์และการย่อยสลายของซากพืชและซากสัตว์	120
สารซีเอฟซีเอชเอฟซี	เกิดจากอุสาหกรรมเครื่องทำความเย็น โดยใช้เป็นสารหล่อเย็นในตู้เย็น และ เครื่องปรับอากาศบรรจุภัณฑ์ กระป๋องสเปรย์ เป็นต้น	20-100

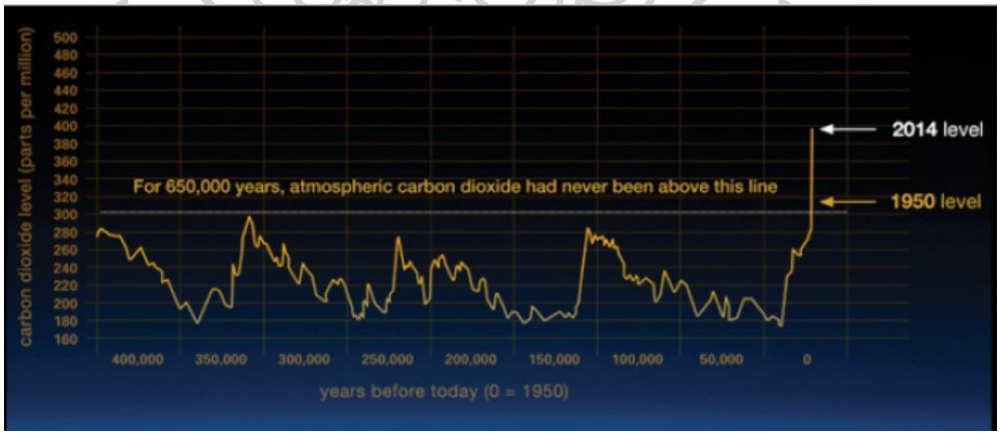
ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2558)

ก๊าซเรือนกระจกเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดได้จากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติเด่นคือ สามารถเก็บกักความร้อนบางส่วนจากดวงอาทิตย์ไว้บนพื้นผิวโลกและในชั้นบรรยากาศของโลกโดยหมอกเมฆ ทำให้อุณหภูมิของโลกระหว่างกลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันมากนัก แต่กิจกรรมของมนุษย์ได้เพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ทำให้รังสีและความร้อนไม่สามารถสะท้อนกลับออกไปจากผิวโลกได้ จึงเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ภาวะเรือนกระจก (แสดงในภาพที่ 2 และ 3) แสดงความผันแปรของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอดีตหลายแสนปีที่ผ่านมาและในปัจจุบันปริมาณที่วัดได้มีค่าสูงกว่าที่เคยมีมาในบรรยากาศโลกในอดีต และยังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคต



ภาพที่ 2 ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect)
ที่มา :NASA's Jet Propulsion Laboratory (2015)

สาเหตุที่สำคัญคือ ก๊าซเรือนกระจกถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศและห่อหุ้มผิวโลกมากเกินไป ทำให้เกิดการกั้นการสะท้อนกลับของรังสีต่าง ๆ และความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้น (Sun and Earth images: adaptation from Google website)

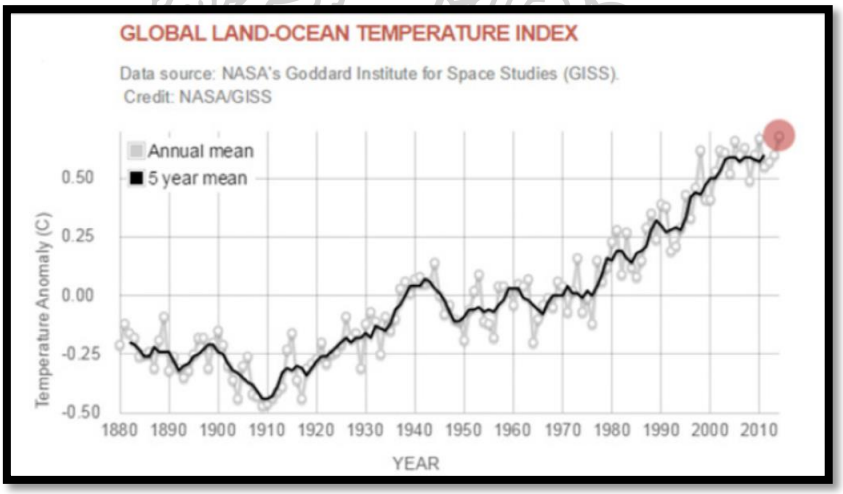


ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ
ที่มา :NASA's Jet Propulsion Laboratory (2015)

ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 650,000 ปีมาแล้ว หลังจากปี 1950 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงกว่าที่เคยมีในบรรยากาศโลกในอดีต และในปี 2014 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ที่ 400 ppm และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอีกในอนาคต

2.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Consequences of Climate Change) คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้คาดการณ์ผลกระทบในด้านต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นหากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกยังดำเนินต่อไปในระดับที่เป็นอยู่หรือสูงกว่าในปัจจุบัน จะส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดความแปรปรวนของระบบภูมิอากาศโลกมากกว่าที่เคยเป็นมาในอดีต สภาวะโลกร้อนยังทำให้อุณหภูมิที่ขั้วโลกเหนือร้อนเป็นประวัติกาล ในขณะที่ปริมาณน้ำแข็งที่ขั้วโลกใต้ลดลงร้อยละ 20 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากโลกร้อนเชื่อมโยงกันทั้งโลกตั้งแต่ขั้วโลกเหนือถึงขั้วโลกใต้ (มิ่งสรรพ์ และกอบกุล, 2553) NASA's Jet Propulsion Laboratory: NASA JPL ได้แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก (ภาพที่ 4) ตั้งแต่ปี 1880 จนถึงปี 2010 จากกราฟสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าหลังจากปี 1980 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น 0.5 องศาเซลเซียส



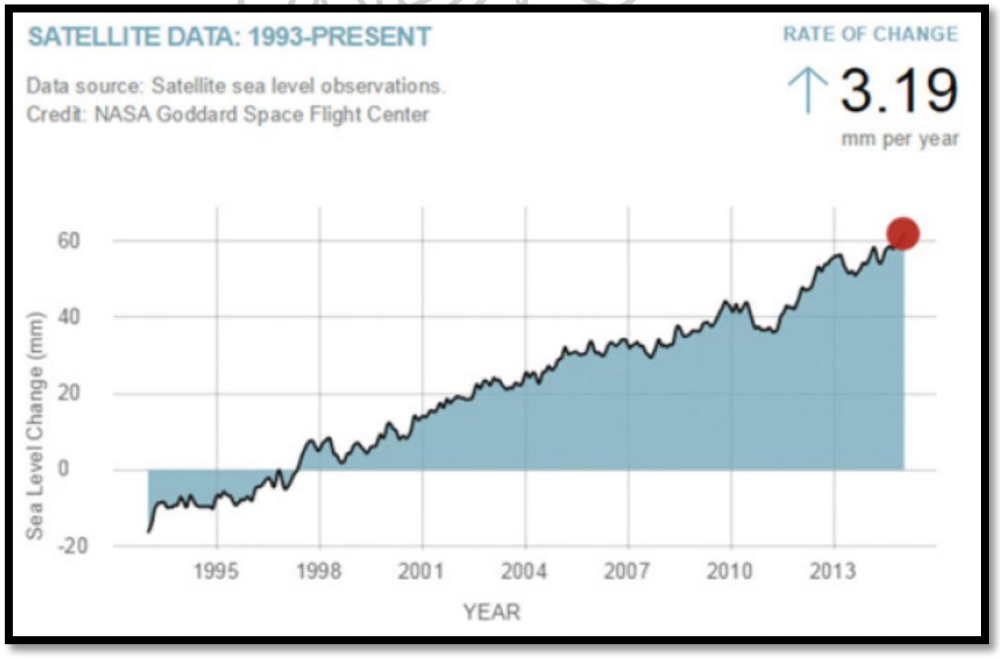
ภาพที่ 4 อุณหภูมิของโลกโดยเฉลี่ยซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต
ที่มา :NASA's Jet Propulsion Laboratory (2015)

ปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้นส่งผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาและวิจัยถึงผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพ

ภูมิอากาศในด้านต่าง ๆ รวมถึงภาครัฐบาลและทุกฝ่ายต้องมีความเข้าใจเพื่อรับมือกับผลกระทบซึ่งมีสาเหตุมาจากภาวะโลกร้อน ดังนี้

2.2.1 ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น

สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำในทุกส่วนและทุกภูมิภาค เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ (ภาพที่ 5) มีการคาดการณ์ว่าระดับน้ำทะเล จะเพิ่มสูงขึ้นถึง 90 เซนติเมตรในอีกหนึ่งร้อยปีข้างหน้า ผลกระทบล่าสุดที่เกิดจากภาวการณ์เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศคือ ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นที่เกาะ Carteret ของประเทศปาปัวนิวกินีส่งผลให้มีการอพยพประชากรประมาณ 2,700 คนจากเกาะนี้ไปยังเกาะ Bougainville (รัตนสุดา, 2558) และยังมีการคาดการณ์ว่าเนื่องจากภาวะเรือนกระจกที่ไปทำให้น้ำแข็งขั้วโลกละลาย และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น 3 องศาเซลเซียส จะเกิดการละลายของน้ำแข็งที่กรีนแลนด์ทำให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นถึง 7 เมตร ซึ่งส่งผลให้หลายๆ ประเทศประสบปัญหาสูญเสียพื้นที่ชายฝั่ง หรืออาจต้องมีการอพยพประชากรบริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำขนาดใหญ่



ภาพที่ 5 แสดงระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นระหว่างปี 1995 ถึง 2013 โดยอัตราเฉลี่ยของการเพิ่มของระดับน้ำทะเลคือ 3.19 มิลลิเมตรต่อปี

ที่มา :NASA’s Jet Propulsion Laboratory (2015)

2.2.2 ภัยธรรมชาติที่รุนแรง

สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ความแปรผันของอุณหภูมิเฉลี่ยสูงต่ำความชื้นสัมพัทธ์ ทำให้เกิดภัยธรรมชาติบ่อยครั้งขึ้น ฝนฟ้าคะนองไม่เป็นไปตามฤดูกาล ก่อให้เกิดภาวะน้ำท่วมฉับพลันในหลายพื้นที่ คณะกรรมการเจรจาระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้คาดการณ์ความเป็นไปได้ของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากภัยพิบัติยกตัวอย่างเช่น เมื่อฝนตกแรงและหนักขึ้นจะทำให้เกิดความเสียหายจากแผ่นดินทรุดและโคลนถล่ม และเมื่อมีพายุโซนร้อนถี่และรุนแรงมากขึ้น ชีวิตจะมีความเสี่ยงต่อภัยอันตราย และเกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศชายฝั่ง (IPCC, 2001; กัณฑรีย์, 2548)

2.2.3 ผลกระทบต่อระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ

ระบบนิเวศวิทยาและความหลากหลายทางชีวภาพมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รวดเร็วก่อให้เกิดความเปราะบางและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในระบบนิเวศวิทยา เช่น รูปแบบของฝนและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทำให้วัฏจักรของน้ำเปลี่ยนแปลง ลักษณะการไหลของของบนผิวดินและใต้ดิน ลักษณะความหลากหลายทางชีวภาพจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย พืชพันธุ์ และพันธุ์สัตว์จะเสี่ยงต่อการสูญพันธ์ประมาณ 20-30% หากอุณหภูมิสูงขึ้นเกิน 1.5-2.5 องศาเซลเซียส (มิ่งสรรพ์ และกอบกุล, 2553, องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558.)

2.2.4 ผลกระทบต่อการเกษตรและแหล่งน้ำ

ภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบโดยตรงต่อทรัพยากรน้ำเนื่องจากปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็วในพื้นที่หนึ่ง ๆ วัฏจักรน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงและย่อมส่งผลกระทบต่อเนื่องไปถึงการทำเกษตรกรรมเนื่องจากพื้นที่เกษตรกรรมเกือบทุกภูมิภาคของโลกต้องอาศัยน้ำฝนเป็นต้นทุนในการผลิต ปัญหาหลักๆ เช่น ปัญหาน้ำท่วมประชากรไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้ตรงตามฤดูกาล และในบางพื้นที่อาจเกิดสภาวะแห้งแล้งที่ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งมีการขยายตัวของพื้นที่แห้งแล้งด้วย (ณรงค์, 2556)

2.2.5 ผลกระทบทางด้านสุขภาพ

สุขภาพและอนามัยของมนุษย์เป็นอีกด้านหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เมื่ออุณหภูมิสูง อากาศอุ่นขึ้นโรคและเชื้อโรคบางชนิดสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว เกิดการระบาดของโรคที่มีแนวโน้มว่าจะเพิ่มสูงมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่นยุง ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคไข้เลือดออกและโรคมาเลเรีย (ณรงค์, 2556) รวมถึงผลกระทบทางสุขภาพที่ส่งผลต่อประชากรโลกหลายล้านคนคือภาวะการขาดสารอาหารและวิตามิน จากสภาพอากาศที่แปรปรวน ประชากรมีความเสี่ยงที่จะประสบกับโรคหัวใจและระบบทางเดินหายใจมากขึ้น เช่น โรคไข้หวัดนก และโรคซาร์ส เมื่ออุณหภูมิและคลื่นความ

ร้อนเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้มนุษย์เจ็บป่วยและตายเพิ่มขึ้นรวมถึงการเกิดความเครียดที่เกิดจากความร้อน (Heat stress) (IPCC, 2001; กัณฑรีย์, 2548)

ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential; GWP)

ก๊าซเรือนกระจกส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิพื้นผิวโลกและชั้นบรรยากาศ โดยการแผ่รังสีและความร้อน จากแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามการดูดกลืนของรังสีอินฟราเรดนั้นใกล้จะอิ่มตัวแล้วเนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากในชั้นบรรยากาศและมีเพียงการดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นรอบ ๆ โซน การดูดกลืนแสงขนาดใหญ่ที่ความยาวคลื่น 16 ไมครอนแม้ว่าความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับรังสีอินฟราเรดใน CO_2 จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก สำหรับ CH_4 นั้นการดูดซับสัมพัทธ์ของรังสีอินฟราเรดไกลมีขนาดใหญ่ (ประมาณ 21 เท่า CO_2 สำหรับแต่ละโมเลกุลและ 58 เท่าในอัตราส่วนน้ำหนัก) และการดูดซับไม่อิ่มตัวเชน CO_2 การดูดซับรังสีอินฟราเรดไกลในมีเทนเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น พื้นที่การดูดซับก๊าซมีเทนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 8-13 ไมครอนซึ่งไม่ทับซ้อนกับโซนการดูดซึมของไอน้ำและ CO_2 ดังนั้นแม้ความเข้มข้นของมีเทนที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในบรรยากาศก็ส่งผลอย่างมากต่อภาวะโลกร้อน

ก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์และความร้อนบนพื้นผิวและอุณหภูมิในบรรยากาศและมักจะแสดงบนพื้นฐานที่เทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2-equivalent: CO_2e) อย่างไรก็ตามภาวะเรือนกระจกที่มีผลต่อภาวะโลกร้อนของมีเทนคือ 25 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ไนตรัสออกไซด์เป็น 298 เท่า (ดังแสดงในตารางที่ 2) บ่อยครั้งที่มีการใช้ฐานที่แตกต่างและสับสนในการแสดงสัดส่วนของก๊าซเรือนกระจกและการปล่อยก๊าซมีเทนจากการเกษตรปศุสัตว์ (Knapp et al., 2014)

ตารางที่ 2 ความรุนแรงของก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2e)

Greenhouse gas	Acronym	Global warming potential
Carbon dioxide	CO_2	1
Methane	CH_4	25
Nitrous oxide	N_2O	298

ที่มา: ดัดแปลงจาก พรพมล (2554)

2.3 การผลิตก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) คือ กลุ่มก๊าซในชั้นบรรยากาศโลกที่สามารถกักเก็บและดูดกลืนคลื่นความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด (Infrared) ที่ส่งผ่านลงมายังพื้นผิวโลกจากดวงอาทิตย์ได้ดี ก่อนทำการปลดปล่อยพลังงานดังกล่าวออกมาในรูปของความร้อน ซึ่งทำให้โลกเกิด “ภาวะเรือนกระจก” ที่สามารถช่วยรักษาสมดุลของอุณหภูมิพื้นผิวดาวเคราะห์ไว้ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศอย่างฉับพลันในช่วงระหว่างกลางวันและกลางคืน ส่งผลให้โลกมีอุณหภูมิที่อบอุ่นและเหมาะสมต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต

ปรากฏการณเรือนกระจก คือ ขบวนการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวโลกที่ถูกดูดซับโดยก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ และแผ่รังสีกลับในทุกทิศทาง เนื่องจากการแผ่รังสีกลับนี้บางสวนกลับไปยังพื้นผิวและชั้นบรรยากาศที่ต่ำกว่า ทำใหระดับอุณหภูมิพื้นผิวโลกเฉลี่ยสูงขึ้นดวงอาทิตยเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลก พลังงานแสงอาทิตยสงมายังโลกโดยการแผ่รังสีในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟา (Electromagnetic spectrum) ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นในชวงความยาวคลื่นที่เป็นรังสีอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet) รังสีที่มองเห็นได้ (Visible) และรังสีอินฟราเรด (Infrared) นอกจากนี้ ในบรรยากาศยังประกอบด้วยก๊าซ ฝุ่นละออง และเมฆ ซึ่งลวนแล้วแต่ทำหนาที่กั้นรังสีที่จะผ่านเขามายังพื้นผิวโลก รังสีแสงอาทิตยผ่านชั้นบรรยากาศลงมาถึงพื้นโลกได้ประมาณร้อยละ 70 ที่เหลืออีกร้อยละ 30 กระจายและถูกสะทอนกลับไปนอกอวกาศด้วยชั้นบรรยากาศ และพื้นผิวโลก พื้นดินและมหาสมุทรจะดูดซับพลังงานแสงอาทิตยที่ผ่านชั้นบรรยากาศลงมาแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน และมีการแผ่รังสีกลับออกไปสู่บรรยากาศ เพื่อความสมดุลของพลังงานภายในโลก ในรูปของรังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาว โดยรังสีอินฟราเรดที่แผ่กลับออกไปขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่พื้นผิวโลกดูดซับรังสีแสงอาทิตยไวรังสีอินฟราเรดบางสวนจะถูกสงผ่านชั้นบรรยากาศออกไปนอกอวกาศ แต่โดยสวนมากจะถูกขวางกั้นไม่ใหออกนอกโลกด้วยส่วนประกอบที่อยู่ในบรรยากาศและดูดซับรังสีอินฟราเรดไวจากนั้นมีการปล่อยรังสีกลับออกมาทางด้านล่างคืนสู่พื้นผิวโลกและปล่อยออกทางดานบนซึ่งในท้ายที่สุดจะออกไปนอกอวกาศ (นเรศ และคณะ, 2557)

ก๊าซที่อยู่ในบรรยากาศมีลักษณะโปร่งแสงโดยสามารถใหรังสีผ่านได้ประกอบด้วย ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซดและก๊าซอื่น ๆ ทำหนาที่ดูดซับรังสีอินฟราเรดเอาไวและปล่อยรังสีกลับออกมาเพื่อป องกันพลังงานที่จะผานออกไปนอกอวกาศ ทำใหโลกไม่สูญเสียความร้อน ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับแผ่นกระจกของเรือนต้นไม้ที่สร้างความอบอุน โดยยอมใหรังสีจากดวงอาทิตยผ่านเขามา แต่กลับเก็บกักความร้อนด้วยการกั้นอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้นสูงเอาไวเรียกปรากฏการณนี้วาปรากฏการณเรือนกระจก (Greenhouse effect) แสดงในภาพที่ 6 และเรียกก๊าซต่าง ๆ เหลานี้ว่า กาซเรือนกระจก (Greenhouse gases; GHGs)

กระบวนการของปรากฏการณเรือนกระจกเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติบรรยากาศชั้นบนช่วยรักษาสมดุลของพลังงานใหกับโลก เป็นการเก็บรักษาความร้อนของโลกใหเหมาะสมกับการอยูอาศัยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญประกอบไปด้วย

2.3.1 กาซเรือนกระจก (Greenhouse gases; GHGs)

เอกสารเผยแพร่ขององคการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก อธิบายไว้ว่า ก๊าซเรือนกระจกเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน หรือรังสีอินฟาเรดได้ดี ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกใหคงที่ ซึ่งหากบรรยากาศโลกไม่มีก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ดังเช่นดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ ในระบบสุริยะแล้ว จะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันนั้นร้อนจัดและในตอนกลางคืนนั้นหนาวจัด เนื่องจากก๊าซเหล่านี้ดูดคลื่นรังสีความร้อนไว้ในเวลากลางวัน แล้วค่อย ๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศโลกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ก๊าซหลายชนิดมีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน และถูกจัดอยู่ในกลุมก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีทั้งก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกซ์ โอโซน มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และสารซีเอฟซี เป็นตน แต่ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต มีเพียง 6 ชนิด โดยจะตองเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic greenhouse gas emission) เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF6) ทั้งนี้ ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ สารซีเอฟซี (CFC หรือ Chlorofluorocarbon) ซึ่งใช้เป็นสารทำความเย็นและใช้ในการผลิตโฟม แต่ไม่ถูกกำหนดในพิธีสารเกียวโต เนื่องจากเป็นสารที่ถูกจำกัดการใช้ในพิธีสารมอนทรีออลแลว(Philander, 2012)

กิจกรรมหลากหลายของมนุษย์ กำลังเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกเหลานี้ (ยกเว้นไอน้ำ) การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน น้ำมันและก๊าซธรรมชาติก๊าซจากท่อไอเสียของยานพาหนะ และอุตสาหกรรม รวมทั้ง การตัดไม้ทำลายป่า การทำการเกษตรและการปศุสัตว์ปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์นอกจากนี้ กระบวนการแปรรูปอุตสาหกรรมยังได้ปล่อยสารในกลุ่มฮาโลคาร์บอนด์ (CFCs, HFCs, PFCs) การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกนั้น ส่งผลให้ชั้นบรรยากาศกักเก็บรังสีความร้อนได้มากขึ้น ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดยังมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Global Warming Potential: GWP) ที่แตกต่างกัน ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนนี้ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของโมเลกุลและขึ้นอยู่กับอายุของก๊าซนั้น ๆ ในบรรยากาศ Intergovernmental Panel on Climate Change ได้รายงาน

เกี่ยวกับค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดเอาไว้ ซึ่งค่า GWP นี้เป็นค่าที่แสดงถึงศักยภาพของก๊าซเรือนกระจกในการทำให้โลกร้อนขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และจะคิดเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น 20 ปี 50 ปี หรือ 100 ปี โดย IPCC กำหนดให้ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ ในช่วงเวลา 100 ปี เป็นดังนี้คือ กำหนดให้ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็น 1 และค่า GWP ของก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์มีค่าเป็น 23 และ 296 ตามลำดับ (IPCC, 2001; IPCC, 2007) แต่หากเปรียบเทียบปริมาณแล้ว จะเห็นว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีอยู่ในปริมาณมหาศาลเมื่อเทียบกับก๊าซชนิดอื่น ๆ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีส่วนในการทำให้โลกร้อนขึ้นสูงที่สุดถึงร้อยละ 49 (Lyman, 1990) ก๊าซมีเทนร้อยละ 25 (Mosier, 1998) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ร้อยละ 6 (IPCC, 2001) คุณสมบัติของก๊าซเรือนกระจกหลักในบรรยากาศ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติและปริมาณก๊าซเรือนกระจก

คุณสมบัติ	**คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)**	**มีเทน (CH4)**	**ไนตรัสออกไซด์ (N2O)**
แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ	วัฏจักรธรรมชาติ การหายใจ	พื้นที่ชุ่มน้ำ	ดิน ป่าเขตร้อน
แหล่งกำเนิดโดยมนุษย์	การเผาป่า ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซเชื้อเพลิง	นาข้าว ปศุสัตว์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงมวลชีวภาพ	ปุ๋ย การใช้ประโยชน์ที่ดิน
อายุ (lifetime)[1]	ปี 200 – 50	ปี 17 – 12	ปี 120
ปริมาณในปัจจุบัน[1]	365 ppm	1,750 ppb	310 ppb
ความสามารถในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP)[1]	1	23	296
อิทธิพลต่อภาวะเรือนกระจก	49 %[2]	25 %[3]	6 %[1]

ที่มา: [1]IPCC (2001), [2]Lyman (1990), [3]Mosier (1998)

เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศโลกสูงสุด (ร้อยละ 75) และเป็นตัวการที่ทำให้เกิดการสะสมพลังงานความร้อนในชั้นบรรยากาศมากที่สุด คาร์บอนไดออกไซด์มีอายุอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานถึง 200 ปี โดยมีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติจากการระเบิดของภูเขาไฟและ

การย่อยสลายของอินทรียวัตถุ ขณะที่ในปัจจุบันนี้ มนุษย์กลายมาเป็นตัวการหลักในการสร้างและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ จากการเผาไม้เชื้อเพลิงฟอซซิลต่าง ๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ รวมถึงการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งมีส่วนต่อการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากถึง 1 ใน 3 ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ทั้งหมด (National Geographic ฉบับภาษาไทย, 2562)

2.3.1.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide): CO_2

คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) คือ สารประกอบของคาร์บอนที่อยู่ในสถานะก๊าซ ที่ลอยตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งประกอบด้วย คาร์บอน 1 อะตอม และ ออกซิเจน 2 อะตอมในหนึ่งโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในสารประกอบเคมีของคาร์บอนที่เป็นที่รู้จักมากที่สุด มีสูตรทางเคมี คือ CO_2

คาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น ภูเขาไฟระเบิด การหายใจของสิ่งมีชีวิต หรือการเผาไหม้ของสารประกอบอินทรีย์ ก๊าซนี้เป็นวัตถุดิบสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เพื่อใช้คาร์บอนและออกซิเจนในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต จากกระบวนการสังเคราะห์แสงนี้ พืชจะปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาสู่บรรยากาศ ทำให้สัตว์ได้ใช้ออกซิเจนนี้ในการหายใจ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของพืชนี้เป็นการลดก๊าซเรือนกระจกลงได้ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซหนึ่งที่เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ซึ่งหากหายใจเอาก๊าซนี้เข้าไปในปริมาณมาก ๆ จะรู้สึกเปรี้ยวที่ปาก เกิดการระคายเคืองที่จมูกและคอ เนื่องจากอาจเกิดการละลายของแก๊สนี้ในเมือกในอวัยวะก่อให้เกิดกรดคาร์บอนิกอย่างอ่อน คาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาแน่น 1.98 kg/m3 ซึ่งเป็นประมาณ 1.5 เท่าของอากาศ (Dow and Downing, 2016) โมเลกุลประกอบด้วยพันธะคู่ 2 พันธะ (O=C=O) ไม่ติดไฟและไม่ทำปฏิกิริยา คาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้ร้อยละ 1 ของสารละลายนั้นจะกลายเป็นกรดคาร์บอนิกซึ่งจะเปลี่ยนรูปเป็นไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในภายหลัง

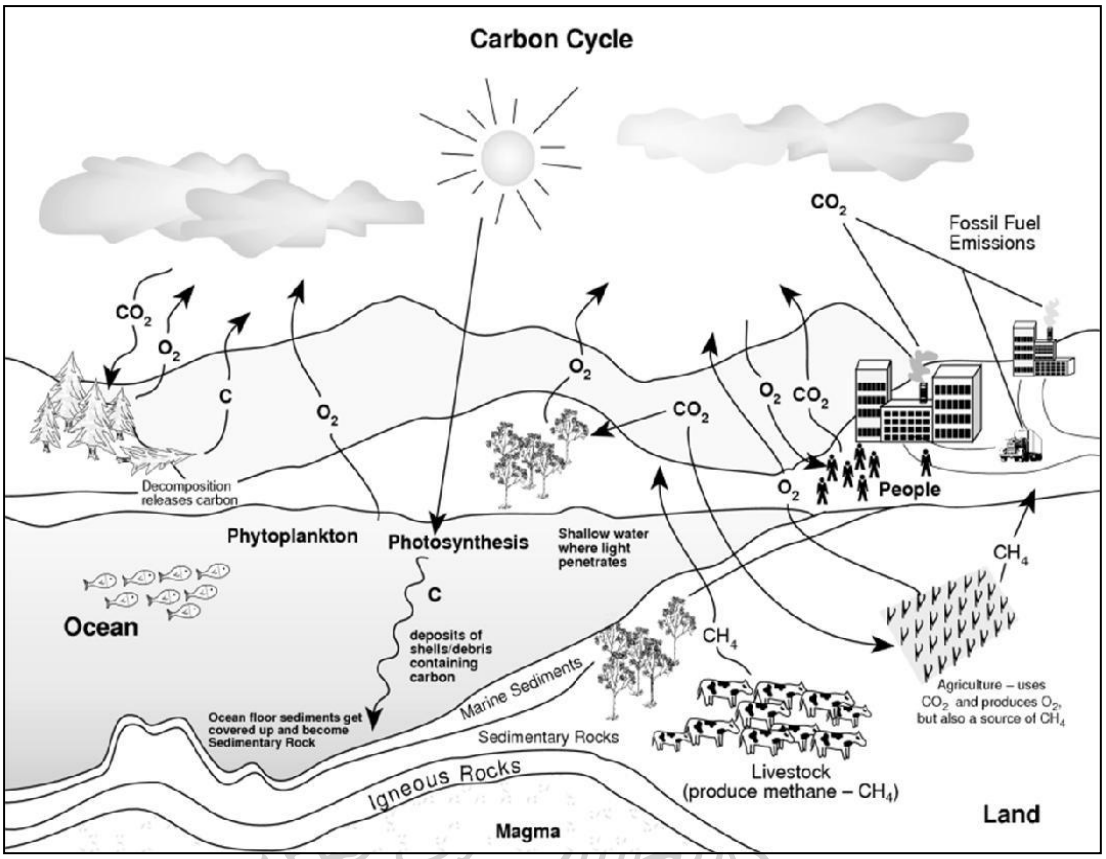
วัฏจักรคาร์บอน สารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ แหล่งที่มาของคาร์บอนจึงมีอยู่ทั้งที่อยู่ในพื้นดิน ชั้นหิน แหล่งน้ำและชั้นบรรยากาศ คาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น ภูเขาไฟระเบิด การหายใจของสิ่งมีชีวิต หรือการเผาไหม้และถ่านหิน ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์เป็น วัตถุดิบสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เพื่อใช้คาร์บอนในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้ พืชจะปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาสู่บรรยากาศ ทำให้สัตว์ได้ใช้ออกซิเจนนี้ในการหายใจ การนำคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชจึงเป็นการลดก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศลงได้ นอกจากนี้การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ ยังเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและถ่านหินที่มนุษย์ได้ขุดเจาะนำขึ้นมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ การใช้พลังงานในการดำรงชีวิตการหมุนเวียนของคาร์บอนในระบบนิเวศน์ของโลก เริ่มจากคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศที่ละลายในน้ำฝนมี

สภาพเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นกรดอ่อน ๆ ไหลผ่านซากอินทรีย์ ดิน ตลอดจนชั้นหิน ทำให้เกิดการสลายตัวของหิน และเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น แคลเซียมคาร์บอเนตสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ พืชน้ำสามารถนำไปใช้ได้ทันที ส่วนพืชบกจะได้รับคาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการหายใจของพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ และจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ ดังแสดงภาพที่ 6 ดังนั้นคาร์บอนจึงหมุนเวียนอยู่ในระบบนิเวศอย่างสมดุล

คาร์บอนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศมีโอกาสหมุนเวียนเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยการสังเคราะห์แสงของผู้ผลิต (พืชในธรรมชาติ) เป็นสำคัญ อัตราการจับคาร์บอนจากชั้นบรรยากาศของพืชในระบบนิเวศน์แต่ละแห่งมีค่าไม่เท่ากัน ป่าเขตร้อนมีอัตราการจับคาร์บอน (ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ในอัตราปีละ 1-2 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตร (Reynolds, 2010) ในขณะเดียวกับที่เขตทุนดราหรือทะเลทรายที่ว่างเปล่าสามารถจับได้เพียง 10-20 กรัมต่อตารางกิโลเมตร ซึ่งถือได้ว่าเป็นเพียงร้อยละ1-2 ของป่าเขตร้อนเท่านั้นส่วนในเขตอบอุ่นบริเวณที่เป็นป่าหรือบริเวณที่ทำการเพาะปลูก พืชมีอัตราการจับคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.2-0.4 กิโลกรัมต่อตารางกิโลเมตร (Lee, 2011) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาทั้งโลกนิเวศนั้นจะพบว่าอัตราการสร้างสารอินทรีย์จากคาร์บอนทั้งหมด คิดเป็นน้ำหนักของสารอินทรีย์ได้ประมาณ 20,000-30,000 ล้านตันต่อปี

ส่วนในมหาสมุทรนั้นมีแพลงตอนพืช ทำหน้าที่จับคาร์บอน ประมาณ 4 หมื่นล้านตันต่อปี (Pittock, 2013) ทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้กับออกซิเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาส่วนใหญ่อยู่ในรูป ของก๊าซที่ละลายน้ำในบริเวณผิวของมหาสมุทร แม้ว่าคาร์บอนในมหาสมุทรจะสามารถหมุนเวียน เป็นวัฏจักรได้ แต่ก็ยังมีการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (รวมทั้งก๊าซออกซิเจน) ระหว่างบรรยากาศกับทะเลโดยมีลมและคลื่นเป็นส่วนร่วมที่สำคัญในกระบวนการแลกเปลี่ยนนี้ และไม่ว่าขณะใดก็ตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่บริเวณผิวของน้ำทะเลจะยังคงความสมดุลกับความเข้มของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเสมอ (Philander, 2012)

โดยสรุป จะเห็นได้ว่าวัฏจักรของคาร์บอนสามารถแยกออกได้เป็น 2 วัฏจักร คือ วัฏจักรบนบกและวัฏจักรในมหาสมุทร แม้ว่าพืชบกมีบทบาทสำคัญในการตรึงคาร์บอนเอาไว้ในรูปของสารอินทรีย์ แต่แหล่งควบคุมใหญ่ของปริมาณคาร์บอนยังคงเป็นทะเลและมหาสมุทร ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศยังคงขึ้นอยู่กับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในมหาสมุทรธรรมชาติมีกลไกในการควบคุมสมดุลของปริมาณคาร์บอนบนบกและในทะเลเป็นอย่างดี กล่าวคือเมื่อคาร์บอนในรูปแคลเซียมคาร์บอเนตถูกชะล้างจากบกลงสู่ทะเล ทำให้ทะเลมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันคาร์บอนในทะเลก็จะตกตะกอนสู่ก้นทะเลลึก ทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในทะเลลดลงไป



ภาพที่ 6 วัฏจักรของคาร์บอน (Carbon cycle)

ที่มา :http//:kids.earth.nasa.gov/guide/earth_glossary.pdf

2.3.1.2 ก๊าซมีเทน (Methane): CH_4

ก๊าซมีเทนเป็นสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวมีสูตรทางเคมี คือ CH_4 เป็นก๊าซติดไฟที่ไม่มีสี ละลายในน้ำได้เล็กน้อย ละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ ก๊าซมีเทนสามารถดูดซับรังสีความร้อนได้ดีกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 23 เท่า (IPCC, 2001) ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียโดยปราศจากออกซิเจน การทำนาในที่ลุ่มน้ำขังและพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นในปริมาณสูงมีผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเกษตรกรรม ก๊าซมีเทนมีการผลิตจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งมีการหมักในลำไส้และการย่อยสลายของของเสียจากสัตว์ การย่อยสลายของขยะชุมชนจากสถานที่ฝังกลบ การผลิตก๊าซธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี การทำเหมืองแร่ถ่านหิน การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ปริมาณก๊าซมีเทนที่มีการปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์มีประมาณร้อยละ 60-80 ของปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด (Pittock, 2009)

การเกิดก๊าซมีเทน การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีที่เกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในระยะแรกที่มีออกซิเจนปนอยู่ก็จะย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ต่อจากนั้นเมื่อออกซิเจนถูกใช้หมดแล้วการย่อยสลายก็กลายเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ขณะดำเนินการย่อยสลายโดยกลุ่มแบคทีเรียหลายชนิดผสมกันมีลักษณะคล้ายกับสภาวะไร้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นที่ก้นบ่อ หรือหนองน้ำ ทำให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นเองในธรรมชาติ โดยมีขั้นตอนการย่อยสลาย 3 ขั้นตอน (Hites and Raff, 2012) ดังนี้

ก. การสลายโพลิเมอร์ ในขั้นนี้สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเซลลูโลส และส่วนประกอบต่าง ๆ ของเนื้อเยื่อพืชแบคทีเรียไม่สามารถที่จะย่อยสลายสิ่งเหล่านี้ได้ทันที จำเป็นต้องส่งเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์เพื่อทำให้โมเลกุลใหญ่เหล่านี้แตกตัวออกเป็นโมเลกุลเล็ก หรือเป็นสารละลายก่อน เอนไซม์ที่แบคทีเรีย ส่งออกมา ได้แก่ Cellulolytic, Lipolytic, Protelytic โดยที่ Cellulolytic จะทำหน้าที่คือ ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนแตกตัวออกเป็นสารละลายและสารประกอบอินทรีย์ในมูลสัตว์ ของเสียจากการเกษตร ได้แก่ เซลลูโลส ซึ่งการเปลี่ยนเซลลูโลสและสารประกอบเชิงซ้อนอื่น ๆ ให้เป็นสารพวกโมโนเมอร์

ข. การสร้างกรด แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในขั้นตอนนี้มีชื่อเรียกว่า อะซิโตจินิคแบคทีเรีย (Acetogenic bacteria) อาจจะเป็น พวกแฟคคัลเททีฟ (Facultative) หรือ แอนแอโรบิค (Anaerobic) ก็ได้จะทำการย่อยสลายโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่แตกตัวจากโมเลกุลใหญ่จากขั้นตอนแรกให้เป็นกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดแลคติก อย่างไรก็ตาม กรดอะซิติกเป็นกรดอินทรีย์ที่สำคัญที่สุดสำหรับการเกิดมีเทน เพราะร้อยละ 70 ของมีเทนเกิดจากกรดอะซิติก

ค. การสร้างมีเทน กรดอะซิติกที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนที่สองนั้น จะกลายมาเป็นสารอาหารสำหรับกลุ่มแบคทีเรียชนิดที่ต้องอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ แบคทีเรียกลุ่มนี้มีชื่อว่า เมทาโนจินิคแบคทีเรีย (Methanogenic bacteria) จะทำการย่อยสลายกรดอะซิติกให้เกิดเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นนี้จะรวมกับก๊าซมีเทนที่เกิดจากการที่แบคทีเรียรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และใช้ก๊าซไฮโดรเจน หรือฟอร์เมทที่เกิดจากแบคทีเรียชนิดอื่นเป็นปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของระบบ ซึ่งก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นตอนสุดท้ายนี้ไม่ละลายในน้ำ และจะถูกปลดปล่อยออกไปในรูปแบบก๊าซ สามารถที่จะเก็บและนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงที่เป็นประโยชน์ได้สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนจะออกไปในรูปแบบของก๊าซ และบางส่วนก็จะละลายในน้ำและทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิลอิออนในระบบ เกิดเป็นคาร์บอนเนตอิออน ผลของการหมุนเวียนของคาร์บอนไดออกไซด์นี้ทำให้เกิดมีผลต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบ เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารอาหาร ดังแสดงในภาพที่ 7

แหล่งกำเนิดก๊าซมีเทนที่สำคัญแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

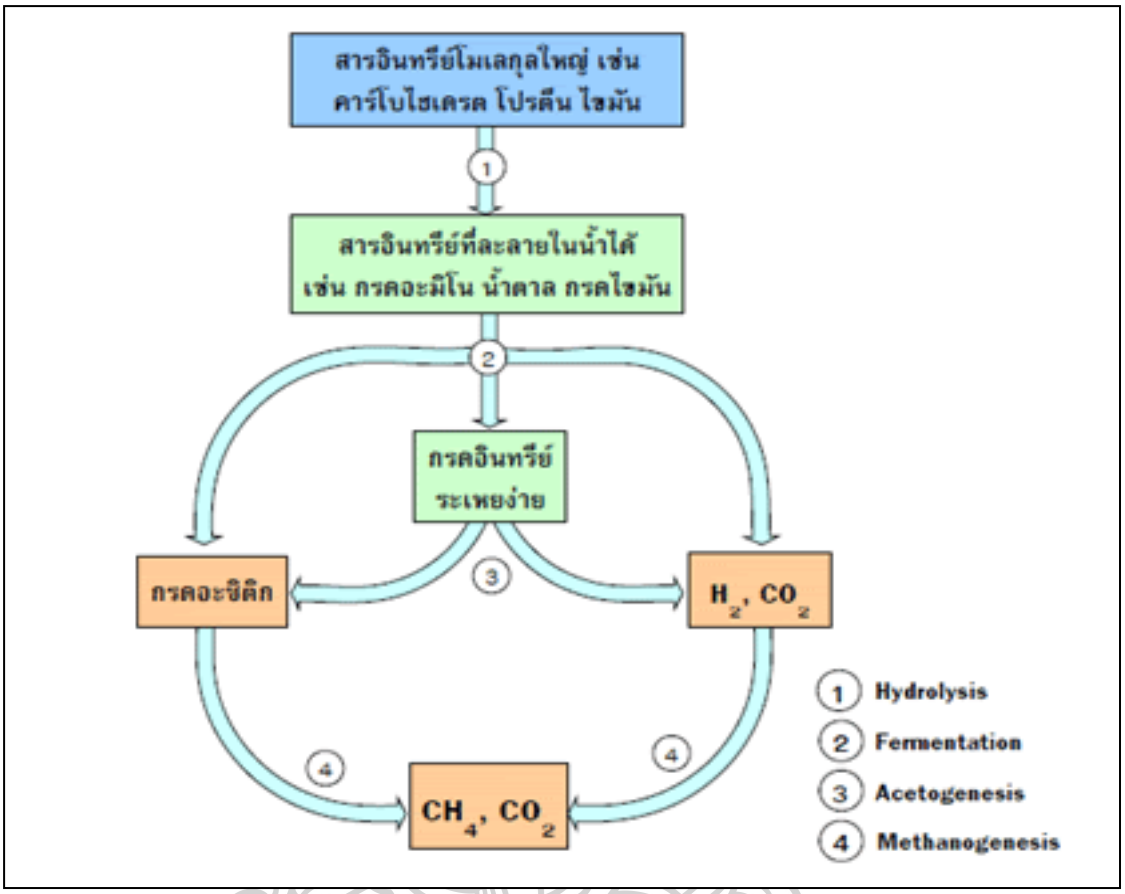
ก. แหล่งกำเนิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่

ก.1 การทำนาข้าว การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินนาเมื่อมีการทำนา สภาพน้ำขังในที่นาทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ สารอินทรีย์ได้จากซากพืชทับถมในดิน การใส่ปุ๋ย กิจกรรมแลกเปลี่ยนแร่ธาตุระหว่างพืชกับดิน ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะแทรกตัวไปตามลำต้น และใบของต้นข้าวเพื่อออกสู่บรรยากาศ (IPCC, 2001)

ก.2 การเลี้ยงสัตว์ มีเทนจากการเลี้ยงสัตว์เกิดเฉพาะในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากจุลินทรีย์ในลำไส้ของสัตว์ที่มีสภาวะไร้ออกซิเจน และสัตว์เหล่านี้กินอาหารที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้เกิดการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนหลังกินอาหาร โคหนึ่งตัวอาจผลิตก๊าซได้ถึง 30 ลิตรต่อชั่วโมง โดยสัตว์จะปล่อยออกทางปาก หากสัตว์ไม่เรอจะมีการสะสมก๊าซอยู่ภายใน ทำให้เป็นโรคและสามารถล้มตายได้ สัตว์แต่ละชนิดมีการปล่อยก๊าซมีเทนไม่เท่ากัน อายุ เพศ และเผ่าพันธุ์ก็เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการปล่อยมีเทนที่แตกต่างกัน (Lee, 2011)

ก.3 การบำบัดน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจากชุมชน หรือโรงงานอุตสาหกรรม หากเป็นการบำบัดด้วยระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้ทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีใหม่สามารถกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ การเกิดและปล่อยก๊าซมีเทนขึ้นกับชนิดและประสิทธิภาพของเทคโนโลยี ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และระบบการนำก๊าซมีเทนมาใช้ประโยชน์

มหาวิทยาลัยศิลปากร



ภาพที่ 7 การเกิดก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน
ที่มา : Hites and Raff, (2012)

ก.4 พื้นที่ฝังกลบขยะ การบำบัดขยะมูลฝอยซึ่งมีสารอินทรีย์ปนอยู่สูง โดยการนำมากองทับถมหรือการบำบัดแบบถูกสุขลักษณะด้วยการบดอัดขยะในหลุมแล้วกลบทับถมด้วยดินล้วนเหนี่ยวนำให้เกิดการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน ปัจจัยที่ทำให้การปล่อยก๊าซมีเทนจากการฝังกลบขยะแตกต่างกัน คือ องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอย ความชื้น อุณหภูมิ ความลึกและแรงบดอัดภายในหลุมฝังกลบ (Metz, 2009)

ก.5 แหล่งอื่น ๆ นอกจากการปล่อยมีเทนจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศแล้ว ก๊าซมีเทนอาจเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ได้ เช่น การเผาวัสดุเกษตรหรือชีวมวล การทำเหมืองถ่านหินหรือการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ ก็ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซองค์ประกอบหนึ่งในก๊าซธรรมชาติถูกปล่อยออกมาด้วย

ข. แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ ได้แก่

ข.1 พื้นที่ชุ่มน้ำและทะเลสาป กลไกการปล่อยมีเทนจะคล้ายกับนาข้าว แต่เป็นการเกิดตามธรรมชาติ มีพืชหลายชนิดเป็นตัวช่วยปล่อย และสารอินทรีย์ในดินจะแตกต่างกันไปในแต่ละแห่งความลึกของระดับน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในทะเลสาป การปล่อยจะเกิดสูงบริเวณใกล้ฝั่งในฤดูร้อนพื้นที่ชุ่มน้ำบางแห่งที่ขาดน้ำอาจไม่มีการปล่อยก๊าซมีเทน (Kernan et al., 2010)

กระบวนการเกิดก๊าซมีเทนในพื้นที่ชุ่มน้ำพื้นที่ชุ่มน้ำมีความสำคัญต่อการรักษาสมดุลของก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศ เพราะดินในพื้นที่ชุมน้ำเป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนที่สำคัญ โดยจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชหลากหลายชนิดในพื้นที่ชุ่มน้ำและย่อยสลายเปลี่ยนเป็นธาตุอาหารในดิน แต่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน การย่อยสลายสารต่าง ๆ เกิดขึ้นช้าลง และก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาพร้อม ๆ กับก๊าซมีเทน แต่หากเปรียบเทียบกันแล้ว พื้นที่ชุ่มน้ำจะดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าปริมาณที่ปลดปล่อยออกมา

ก๊าซมีเทนเกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของของแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobic bacteria) มักเกิดในพื้นที่น้ำขัง เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำ นาข้าว (Schutz et al.,1989) ซึ่งมีน้ำท่วมขังอยู่เกือบตลอดปี ดังนั้น จึงเกิดสภาวะไร้ออกซิเจนเกือบตลอดปีเช่นกัน สภาวะไร้ออกซิเจนนี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทำให้กิจกรรมของแบคทีเรียในกลุ่มที่ใช้อากาศ (Aerobic bacteria) ซึ่งใช้ออกซิเจนในการหายใจลดน้อยลง ส่วนในดินชั้นที่ถูกน้ำขังลึกลงไปจะเป็นชั้นดินที่ถูกรีดิวซ์ออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงในดินชั้นนี้จึงเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobic bacteria) ซึ่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนนี้ก่อให้เกิดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซมีเทนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในดินพื้นที่ชุ่มน้ำนั้นเคลื่อนออกสู่บรรยากาศได้ 3 ทาง (Braatzand and Hogan, 1991) คือ

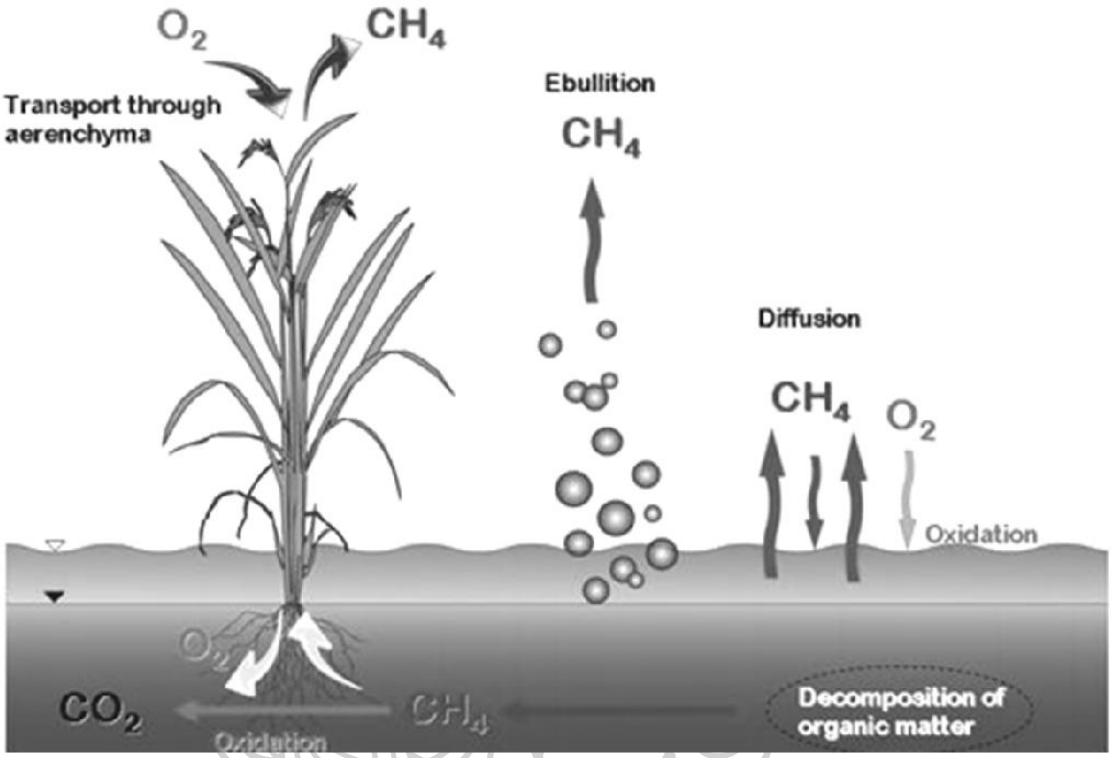
ก. เคลื่อนที่ผ่านทางลำต้นพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยเริ่มจากรากไปตามช่องอากาศภายในของกาบใบและใบ (Plant mediate passive transported) แล้วจึงออกสู่บรรยากาศ โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่ผ่านทางลำต้นพืชนี้คิดเป็นร้อยละ 90-95 ของการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด (ภาพที่ 8)

ข. เคลื่อนที่ผ่านผิวน้ำโดยกระบวนการแพร่ (Diffusion) คิดเป็นร้อยละ 2 ของการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด

ค. เคลื่อนที่ออกไปในรูปของฟองอากาศลอยสู่ผิวน้ำ (Ebullition) คิดเป็นร้อยละ 8 ของการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมด

การเคลื่อนที่ของก๊าซมีเทนผ่านระบบลำเลียงของลำต้นพืชจากรากผ่านช่องอากาศ (airspace) ภายในรากและกาบใบ และปล่อยออกสู่บรรยากาศ มีความสัมพันธ์กับการปล่อยก๊าซมีเทนโดยขนาดและ

ปริมาณของช่องอากาศในรากและกาบใบจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุของพืช หากปริมาณของช่องอากาศใหญ่ขึ้นความสามารถในการส่งผ่านก๊าซมีเทนก็จะมากขึ้นด้วย



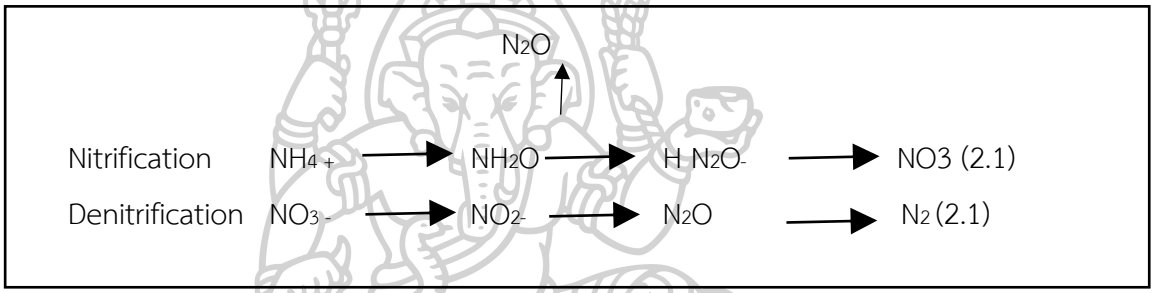
ภาพที่ 8 การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ
ทีมา : Braatz and Hogan (1991)

2.3.1.3 ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous oxide): N_2O

ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ในอดีตถูกใช้เป็นยาสลบอย่างอ่อนหรือใช้ระงับความเจ็บ คุณสมบัติพิเศษคือทำให้คนหัวเราะ บางครั้งจึงเรียกว่าก๊าซหัวเราะ แหล่งกำเนิดมีทั้งเกิดจากธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยในส่วนที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ประกอบด้วย การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะจากยานพาหนะกระบวนการทางอุตสาหกรรมของผลิตภัณฑ์กรด และกรดไนตริก ระบบบำบัดน้ำเสีย การเผาไหม้ของเสีย การเผาไหม้ชีวมวล และปล่อยจากพื้นดินจากการทำการเกษตร รวมทั้งนาข้าว (IPCC, 2007)

กระบวนการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์จากพื้นที่ชุ่มน้ำก๊าซไนตรัสออกไซด์เกิดขึ้นจากกระบวนการที่สำคัญ 2 กระบวนการด้วยกัน (Lee, 2011) คือกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งเป็นบริเวณดินชั้นบนบาง ๆ โดยแบคทีเรียพวก Nitrifying bacteria กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกแอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์ โดยแบคทีเรียพวก Nitromonas และ Nitrococcus จากนั้นไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์อีกครั้งเป็นไนเตรท โดยแบคทีเรียพวกNitrobactor ถ้าสภาพของดินเหมาะสมไนไตรท์ที่เกิดขึ้นในขั้นแรกจะไม่สะสมอยู่ในดินนาน เมื่อเกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรททันที (ภาพที่ 8) ส่วนกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (ภาพที่ 9) คือดินบริเวณชั้นล่าง ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันจะไม่พบออกซิเจนและไนเตรท แต่จะพบแอมโมเนียมก๊าซไนโตรเจน หรือก๊าซไนตรัสออกไซด์แทน



ภาพที่ 9 กระบวนการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์
ที่มา : Minami (1997)

2.3.1.4 กลุ่มก๊าซฟลูออริเนต หรือ สารฮาโลคาร์บอน (Fluorinated gases)

กลุ่มก๊าซฟลูออริเนตประกอบไปด้วยไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) รวมถึงสารซีเอฟซี (CFCs) ที่เกิดจากการสังเคราะห์ของมนุษย์ ก๊าซเหล่านี้มีศักยภาพในการกักเก็บความร้อนได้ดีกว่าคาร์บอนไดออกไซด์หลายพันเท่าและอยู่ในชั้นบรรยากาศได้ตั้งแต่ 100 ถึง 50,000 ปี กลุ่มก๊าซฟลูออริเนตมาจากภาคอุตสาหกรรมเป็นหลัก โดยถูกใช้เป็นสารทำความเย็น ตัวทำละลายและสารตั้งต้นในการผลิต รวมถึงผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการต่าง ๆ นอกจากการเป็นตัวการในการก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกและภาวะโลกร้อนแล้ว สารซีเอฟซียังเป็นก๊าซที่เข้าทำลายโอโซนในชั้นสตราโทสเฟียร์ (Stratosphere) ก่อให้เกิดรูรั่วในชั้นบรรยากาศโลก ส่งผลให้รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตสามารถส่องผ่านลงมายังพื้นผิวโลกได้มากขึ้นอีกด้วย National Geographic ฉบับภาษาไทย (2562)

2.3.1.5 ไอน้ำ (Water vapor) และโอโซนภาคพื้นดิน (Ground Level Ozone)

ไอน้ำเป็นก๊าซเรือนกระจกตามธรรมชาติที่ช่วยส่งเสริมให้ผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นรุนแรงยิ่งขึ้น ไอน้ำจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น หากบรรยากาศโลกอบอุ่นขึ้น

โอโซนบนภาคพื้นดิน เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมิคัล (Photochemical Reaction) ระหว่างไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ที่อยู่ในไอเสียของเครื่องยนต์ หรือไอเสียจากโรงงาน สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds: VOCs) และรังสีอัลตราไวโอเลต ก่อให้เกิดโอโซนในระดับต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นก๊าซเรือนกระจกและถือเป็นมลพิษทางอากาศที่เป็นอัตรายต่อสิ่งมีชีวิต

ก๊าซเรือนกระจกมีแหล่งกำเนิดมาจากทั้งในธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งนับตั้งแต่เริ่มยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรมในช่วงปลายศตวรรษที่ 18 เป็นต้นมา การสะสมของก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มปริมาณสูงขึ้นกว่าที่เคยมีมาในอดีต ส่งผลกระทบต่อทั้งสภาพอากาศ สภาพแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตเป็นวงกว้าง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ ภาวะโลกร้อน โรคภัยต่าง ๆ ที่มาพร้อมกับมลพิษทางอากาศ การขาดแคลนอาหารและน้ำ รวมถึงการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติที่รุนแรงยิ่งขึ้น เกิดเป็นผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของโลกอย่างที่นักวิทยาศาสตร์ไม่สามารถคาดการณ์ได้

หากแนวโน้มในปัจจุบันยังคงดำเนินต่อไป ผลกระทบที่เลวร้ายที่สุดจากภาวะโลกร้อน จะนำมาซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงยิ่งกว่าในอนาคต สิ่งมีชีวิตหลากหลายสายพันธุ์รวมถึงมนุษย์ ต่างได้รับผลกระทบจากภาวะวิกฤตที่เกิดขึ้นนี้ อย่างไม่สามารถหลีกหนีได้ การปรับตัวและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่ควรใช้ระยะเวลาเป็นแสนปี ถูกเร่งให้เกิดขึ้นภายในช่วงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งหากทำไม่สำเร็จอาจหมายถึงการสิ้นสุดของเผ่าพันธุ์เลยทีเดียว National Geographic ฉบับภาษาไทย (2562)

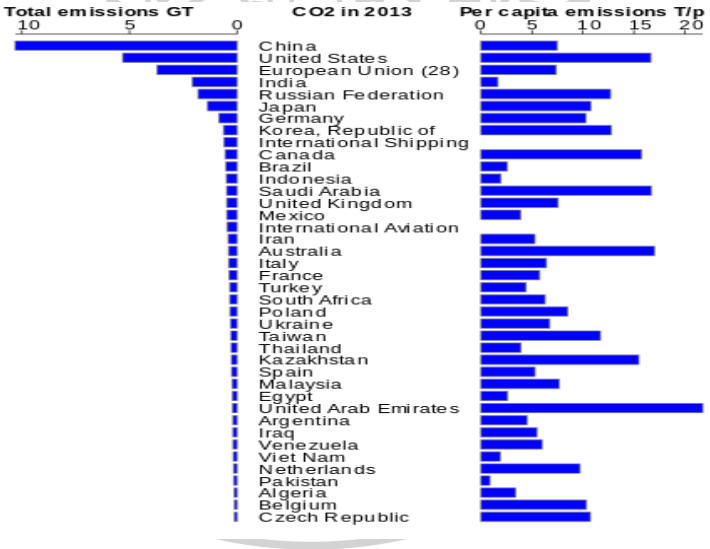
2.4 การผลิตก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรม

สถานการณ์ก๊าซเรือนกระจกของโลก ปัจจุบันอุณภูมิของโลกได้เพิ่มสูงขึ้น จากปี คศ. 1880 ประมาณ 0.85 องศาเซลเซียส และมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศโลกประมาณอยู่ที่ประมาณ 401 PPM (อ้างอิงจากรายงาน AR 5 ของ IPCC 2014) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าหากสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลกยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิของโลกจะเพิ่งสูงขึ้นจนไม่สามารถหยุดยั้งการเปลี่ยนแปลงได้ และจะเกิดผลกระทบต่อการดำรงอยู่ของมนุษยชาติ (ประมาณการณ์ว่าความเข้มข้นของประมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ จะมีความเข้มข้นประมาณ 478 ppm) ทำให้ทุกประเทศต้องร่วมกันในการควบคุมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศตัวเอง โดยในปัจจุบัน ประเทศที่มีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโลกสามารถแสดงได้ตาม ภาพที่ 10

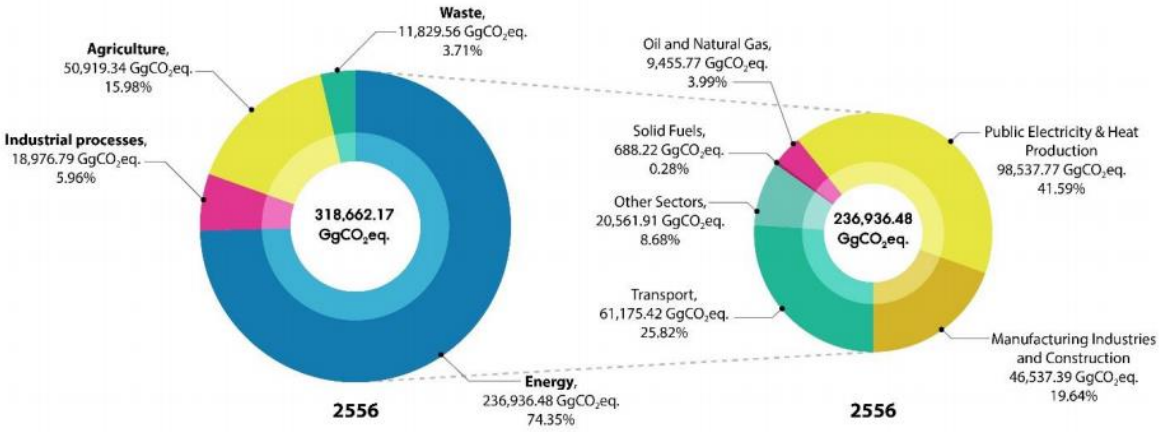
ก๊าซเรือนกระจกกับประเทศไทย สำหรับข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย อ้างอิงจากรายงานความก้าวหน้าราย 2 ปี ฉบับที่1 ของประเทศไทย (Thailand Biennial Update Repot 2011) ที่รายงานต่อ UNFCCC ในเดือนธันวาคม พ.ศ.2558 พบว่า ประเทศไทยมีปริมาณ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประมาณ 305.52 $MtCO_2e$ (ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) โดยมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในภาคการผลิตไฟฟ้าประมาณ 86.87 $MtCO_2e$ หรือประมาณ 39% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย สำหรับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน 2011 ประมาณ 48 ล้านตันหรือคิดเป็น 15.6%

การใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และยังเป็นต้นเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางอากาศและก๊าซเรือนกระจก สำหรับประเทศไทยก๊าซ CO_2 ที่ถูกปล่อยจากทุกภาคและสาขารวมทั้งสิ้น 318,662 กิกะกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($GgCO_2eq$) หรือ 318.66 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($MtCO_2e$) และที่ถูกปล่อยจากภาคการขนส่ง มีค่าเท่ากับ 61,175 กิกะกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($GgCO_2eq$) หรือ 61.175 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($MtCO_2e$) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 25.82ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากภาคพลังงาน หรือคิดเป็นร้อยละ 19.2 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศไทย ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 10 อันดับประเทศที่มีการปล่อย ก๊าซ CO2 สูงสุด 40 อันดับ แรกของโลก ในปี 2013
ที่มา: IPCC (2014)



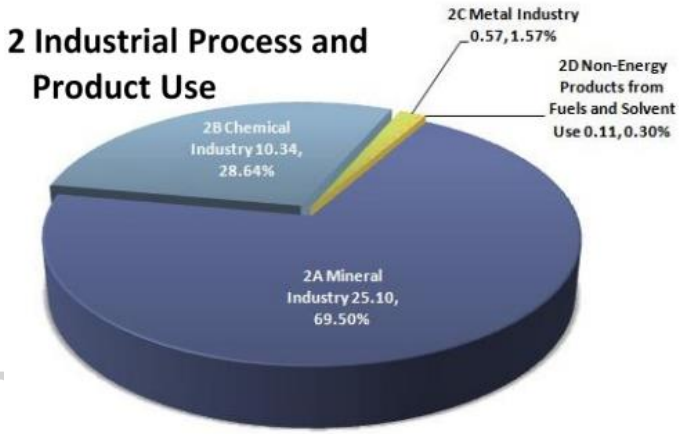
ภาพที่ 11 ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 ในแต่ละภาคและสาขา ปี พ.ศ. 2556
ที่มา: IPCC (2014)

จากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยกรณีฐานจากการดำเนินกิจกรรมตามปกติ (Business as usual: BAU) พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 273,408 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kt-CO_2eq) ในปีพ.ศ. 2548 (ค.ศ. 2005) เป็น 555,000 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ 555 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($MtCO_2e$) ในปีพ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) หรือคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.8 ต่อปี (ภาพที่ 12)

รวม	273,408	300,754	349,989	407,702	475,422	555,000	444,000
ของเสีย	12,878	13,011	14,489	16,135	17,968	20,010	16,008
เกษตรกรรม	46,294	52,316	57,554	63,316	69,656	76,630	61,304
กระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์	19,555	21,408	23,737	26,304	29,148	32,360	25,888
พลังงาน	194,681	214,019	254,209	301,947	358,650	426,000	340,800

ภาพที่ 12 การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย (Thailand's INDC) ในทุกสาขาเศรษฐกิจ
ที่มา: ข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560)

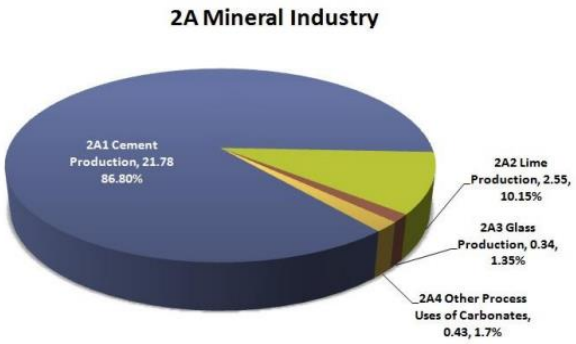
จากข้อมูลขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ในปี พ.ศ. 2556 (ค.ศ. 2013) ภาค IPPU มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 36.11 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($MtCO_2e$) โดยกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตแร่ เป็นกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ 25.10 $MtCO_2e$ คิดเป็น ร้อยละ 69.50 ของการปล่อยทั้งหมดในภาค IPPU รองลงมาเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมี มีปริมาณการปล่อยเท่ากับ 10.34 $MtCO_2e$ หรือคิดเป็น ร้อยละ 28.64 ของการปล่อยทั้งหมดในภาค IPPU ส่วนกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตโลหะ และกลุ่มการใช้ผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงในรูปแบบที่ไม่เป็นพลังงานและการใช้ตัวทำละลายเป็นส่วนที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยมีปริมาณการปล่อยเท่ากับ 0.57 และ 0.11 $MtCO_2e$ หรือคิดเป็น ร้อยละ 1.57 และ 0.30 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 13 และหากพิจารณาในรายกลุ่มกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยสามารถอธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 13 ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาค IPPU ปี พ.ศ. 2556 ($MtCO_2e$, %)
ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560)

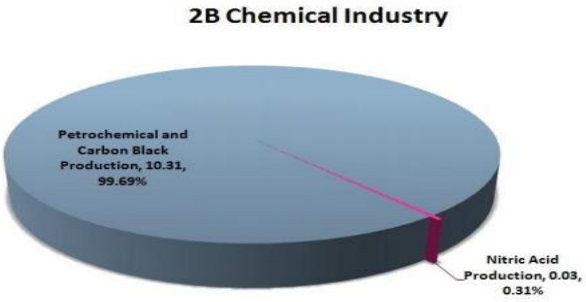
2.4.1 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตแร่ (Mineral Industry) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในภาคกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 25.10 $MtCO_2e$ ต่อปี เมื่อพิจารณารายสาขาย่อยในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตแร่ ดังภาพที่ 14 พบว่า การผลิตปูนซีเมนต์ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ 21.78 $MtCO_2e$ ต่อปีคิดเป็น ร้อยละ 86.80 ของการปล่อยทั้งหมดในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตแร่ ส่วนอันดับที่สอง คือ การผลิตปูนขาว มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 2.55 $MtCO_2e$ หรือคิดเป็น ร้อยละ 10.15 รองลงมาคือ การผลิตจากกระบวนการอื่นที่มีการใช้สารคาร์บอเนตโดยประกอบด้วยปริมาณการปล่อยที่มาจากเซรามิกส์ การใช้โซดาแอซ และการผลิตแมกนีเซีย

และอันดับสุดท้าย คือ การผลิตแก้ว ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.43 $MtCO_2e$ และ 0.34 $MtCO_2e$ ต่อปี หรือคิดเป็น ร้อยละ 1.7 และ 1.35 ของการปล่อยทั้งหมดในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตแร่ตามลำดับ



ภาพที่ 14 ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตแร่ปี พ.ศ. 2556 ($MtCO_2e$, %)
ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560)

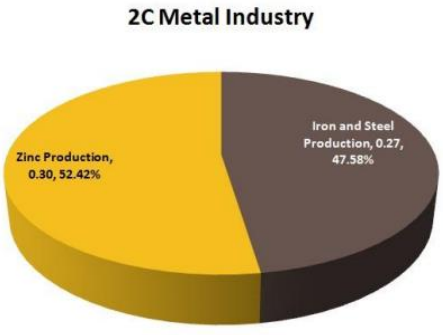
2.4.2 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมี (Chemical Industry) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงเป็นลำดับที่ 2 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาค IPPU เท่ากับ 10.34 $MtCO_2e$ ต่อปี หากพิจารณารายสาขาย่อยตาม 2006 IPCC Guidelines พบว่า ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมการผลิตที่ดำเนินการผลิตในประเทศไทย 2 ประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตปิโตรโคมีและคาร์บอนแบล็ค ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 10.31 $MtCO_2e$ ต่อปีหรือคิดเป็นร้อยละ 99.69 ของการปล่อยทั้งหมดในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมี ซึ่งประกอบด้วยปริมาณการปล่อยที่มาจากการผลิตเอทิลีน และเอทิลีนไดคลอไรด์ และไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ ส่วนอุตสาหกรรมการผลิตกรดไนตริก เป็นกิจกรรมที่มีการปล่อยเพียงเล็กน้อย โดยปล่อยเท่ากับ 0.03 $MtCO_2e$ ต่อปีหรือคิดเป็นร้อยละ 0.31 ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตสารเคมีปี พ.ศ. 2556 ($MtCO_2e$, %)

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560)

2.4.3 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตโลหะ (Metal Industry) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นลำดับที่ 3 ของการปล่อยในภาค IPPU เท่ากับ 0.57 $MtCO_2e$ ต่อปี ภาพที่ 16 แสดงการพิจารณารายกิจกรรมย่อย พบว่า มีเพียง 3 กิจกรรมการผลิตที่พบว่ามีการผลิตในประเทศไทย คือ การผลิตเหล็กและเหล็กกล้า การผลิตตะกั่ว และการผลิตสังกะสี แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากไม่มีการเก็บข้อมูลกิจกรรมการผลิตตะกั่ว ในปี พ.ศ. 2556 (ค.ศ. 2013) ทำให้สามารถคำนวณได้เพียง 2 กิจกรรม ได้แก่ การผลิตสังกะสีมีปริมาณการปล่อยเท่ากับ 0.30 $MtCO_2e$ ต่อปีหรือคิดเป็น ร้อยละ 52.42 ของการปล่อยทั้งหมดในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตโลหะ และการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า โดยมีปริมาณการปล่อยเท่ากับ 0.27 $MtCO_2e$ ต่อปีหรือคิดเป็น ร้อยละ 47.58

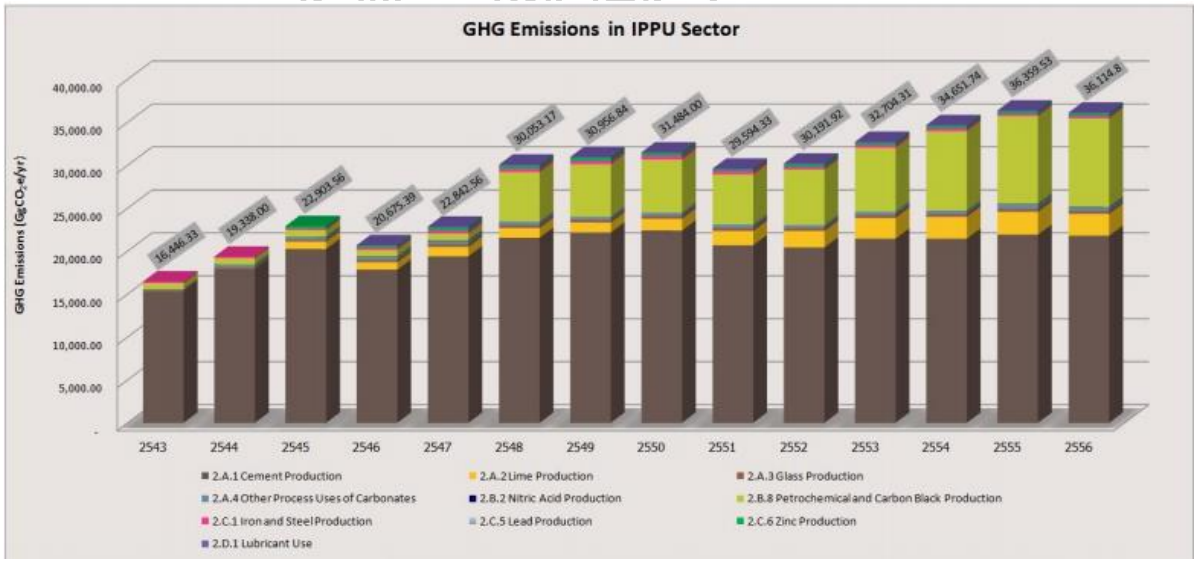


ภาพที่ 16 ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตโลหะปี พ.ศ. 2556 ($MtCO_2e$, %)

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560)

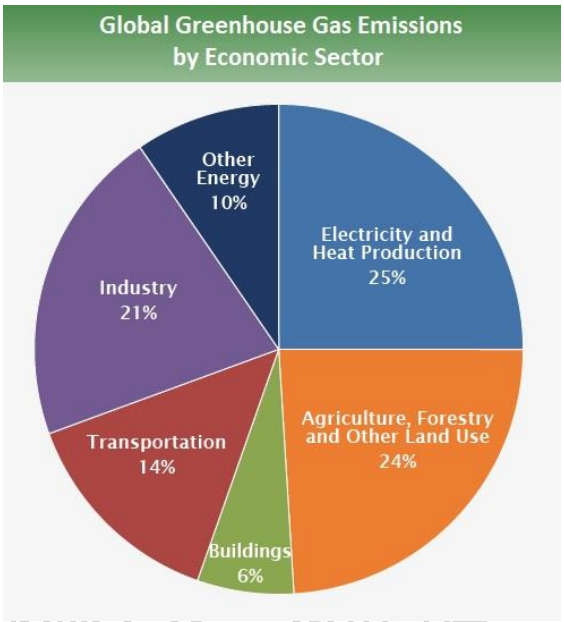
2.4.4 กลุ่มการใช้ผลิตภัณฑ์จากเชื้อเพลิงในรูปแบบที่ไม่เป็นพลังงานและการใช้ตัวทำละลาย (Non-energy Product from Fuels and Solvent Use) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นลำดับสุดท้ายของการปล่อยในภาค IPPU เท่ากับ 0.11 $MtCO_2e$ ต่อปี และพบว่ามีเพียงกิจกรรมการใช้น้ำมันหล่อลื่นเท่านั้น ที่สามารถคำนวณปริมาณการปล่อยได้ในกลุ่มอุตสาหกรรมนี้

นอกจากนี้องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ยังได้รายงานข้อมูลข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาค IPPU ระหว่างปี พ.ศ. 2543 – 2556 (ค.ศ. 2000 – 2013) พบว่า ภาค IPPU มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ระหว่าง 16,446.33 - 36,359.53 $GgCO_2e$ พ.ศ. 2555 – 2556 ในภาพที่ 17 พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาค IPPU ในปี พ.ศ. 2556 มีแนวโน้มลดลงจากปี พ.ศ. 2555 เพียงเล็กน้อย คิดเป็น ร้อยละ 0.68 ทั้งนี้สาเหตุหลักมาจากปริมาณการผลิตที่ลดลงในเกือบทุกกลุ่มอุตสาหกรรม การขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทยมีอัตราที่ต่ำ ลง อันเนื่องมาจากวิกฤตเศรษฐกิจของโลก อุตสาหกรรมการผลิตเพื่อการส่งออกได้รับผลกระทบ จึงส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาค IPPU มีปริมาณที่ลดลงตามไปด้วย



ภาพที่ 17 กราฟแสดงแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาค IPPU ปี พ.ศ. 2543 - 2556
ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศนอกจากจะมาจากการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ และการขนส่งแล้วนั้นยังมีการปลดปล่อยจากภาคการเกษตรประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์จากทั้งหมดดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งตามภาคส่วนธุรกิจในหน่วยร้อยละ
ที่มา :https//:www.epa.gov/sites/production/files-2016/
/05global_emissions_sector_.2015png

2.5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตร

ภาคปศุสัตว์ถือเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญแหล่งหนึ่งของประเทศไทย ข้อมูลจากการจัดทำ รายงานแห่งชาติฉบับที่สอง เสนอต่ออนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) เมื่อปีพ.ศ. 2553 (ค.ศ. 2010) พบว่าภาคปศุสัตว์เป็นภาคสำคัญของการปล่อยก๊าซมีเทนในสาขาเกษตรกรรม โดยมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าคิดเป็นร้อยละ 26 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยทั้งหมดในสาขาเกษตรกรรม โดยแยกออกเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง (Enteric Fermentation) คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 16 และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการจัดการมูลสัตว์ (Manure management) อีกร้อยละ 10 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในสาขาเกษตรกรรมแล้ว ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่

เกิดจากภาคปศุสัตว์มีสัดส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นอันดับสองรองจากกิจกรรมการปลูกข้าว (Rice cultivation)

2.5.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากฟาร์มโคนม

โคนมถือเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญของภาคปศุสัตว์ไทย โดยปี 2552 - 2556 จำนวนโคนมของประเทศไทยทั้งหมดมีอัตราเพิ่มร้อยละ 4.45 ต่อปี ในปี 2556 มีจำ นวน 589,020 ตัว เพิ่มขึ้นจากปี 2555 ซึ่งมีจำ นวน 573,963 ตัว ร้อยละ 2.62 และจำ นวนแม่โครีดนมมีอัตราเพิ่มร้อยละ 3.15 ต่อปี โดยในปี 2556 มีแม่โครีดนม 250,714 ตัว เพิ่มขึ้นจาก 240,340 ตัว ของปี 2555 ร้อยละ 4.32 ส่วนผลผลิตน้ำนมดิบในช่วงปี 2552 - 2556 มีอัตราเพิ่มร้อยละ 7.66 ต่อปี โดยปี 2556 มีผลผลิต 1,125,188 ตัน เพิ่มขึ้นจาก 1,064,321 ตัน ของปี 2555 ร้อยละ 5.72 เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนแม่โครีดนมเฉลี่ยในรอบปี และอัตราการให้น้ำนมที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากราคาน้ำนมดิบอยู่ในเกณฑ์สูง และความต้องการน้ำนมดิบที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรหันมาให้ความสำคัญในการเลี้ยงโคนมและการบริหารจัดการฟาร์มให้ได้มาตรฐาน เพื่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตที่สูงขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) ปัจจุบันการเลี้ยงโคนมในประเทศไทยกว่าร้อยละ 70 เป็นฟาร์มขนาดเล็กถึงขนาดกลางเฉลี่ยแม่โครีดนมประมาณ 20 ตัวต่อฟาร์ม มีเพียงร้อยละ 30 ที่เป็นฟาร์มขนาดใหญ่ มีการบริหารจัดการการเลี้ยงโคนมที่มีมาตรฐานสูง

ในการผลิตของฟาร์มโคนม มีการปลดปล่อยก๊าซหลายประเภทเช่น CH_4 N_2O และ CO_2 โดยเฉพาะ CH_4 ที่ผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และจากมูลที่สะสมในฟาร์มมีการปลดปล่อยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ (Rotz et al., 2010) แหล่งหลักที่มีการปลดปล่อย GHG คือฟาร์มโคนม รวมถึงตัวสัตว์และสิ่งที่นำมาใช้ในฟาร์มเพื่อให้เกิดผลผลิตในฟาร์ม เช่น ไฟฟ้า, น้ำมันเชื้อเพลิง, เครื่องจักร, สารกำจัดศัตรูพืช, เมล็ดพันธุ์และพลาสติก เพื่อนำมาใช้ในการประเมินปริมาณ GHG ในฟาร์มโคนม ปริมาณ GHG ที่ปลดปล่อยออกมาจากฟาร์มสุทธิที่ผลิตในฟาร์มจะถูกนำมาประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม เมื่อคิดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่ปลดปล่อยออกมาจากการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัมเมื่อปรับพลังงานในน้ำนม (energy-corrected milk; ECM)

2.6 การผลิตโคนมและผลิตภัณฑ์นม

จำนวนโคนมปี 2558 -2562 ประเทศผู้ผลิตที่สำคัญของโลก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.95 ต่อปี โดยในปี 2562 มีจำนวนโคนมรวม 142.43 ล้านตัว เพิ่มขึ้นจาก 140.89 ล้านตัว ของปี 2561 ร้อยละ 1.54 ประเทศที่มีการเลี้ยงโคนมมากที่สุด คือ ประเทศอินเดีย มีจำนวนโคนมรวม 60.60 ล้านตัว รองลงมาได้แก่ สหภาพยุโรป 23.00 ล้านตัว และบราซิล 16.30 ล้านตัว ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4 (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2562)

ตารางที่ 4 จำนวนโคนมในประเทศที่สำคัญของโลก ปี พ.ศ. 2558-2562

หน่วย: ล้านตัว

ประเทศ	2558	2559	2560	2561	2562[1/]	อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)
อินเดีย	52.50	54.50	56.50	58.50	60.60	3.64
สหภาพยุโรป	23.56	23.55	23.53	23.31	23.00	-0.58
บราซิล	17.43	17.43	16.26	16.22	16.30	-2.04
สหรัฐอเมริกา	9.32	9.33	9.41	9.40	9.34	0.12
รัสเซีย	7.75	7.24	7.08	7.00	6.90	-2.63
เม็กซิโก	6.40	6.45	6.55	6.55	6.50	0.47
อื่น ๆ	22.75	21.98	20.66	19.91	19.79	-3.71
รวม	139.71	140.48	139.99	140.89	142.43	0.42

หมายเหต[/1] : ข้อมูลเบื้องต้น

ที่มา :สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2562)

จำนวนโคนมทั้งหมดของไทยปี 2558 - 2562 (ตารางที่ 5) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.82 ต่อปี โดยในปี 2562 (ณ วันที่ 1 มกราคม) มีจำนวน 691,349 ตัว เพิ่มขึ้นจาก 676,415 ตัว ของปี 2561 ร้อยละ 3.39 และจำนวนแม่โครีดนมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.06 ต่อปี โดยในปี 2562 มีแม่โครีดนม 305,676 ตัว เพิ่มขึ้นจาก 297,757 ตัว ของปี 2561 ร้อยละ 3.06 ส่วนผลผลิตน้ำนมดิบในช่วงปี 2558 - 2562 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.23 ต่อปี โดยปี 2562 มีผลผลิต 1,295,348 ตัน เพิ่มขึ้นจาก 1,254,767 ตัน ของปี 2561 ร้อยละ 2.23 เนื่องจากลูกโคนมเกิดใหม่ในรอบปี และจำนวนแม่โครีดนมเฉลี่ยในรอบปีมีจำนวนเพิ่มขึ้น จากแม่โคสาวที่เข้ามาทดแทน ประกอบกับภาครัฐมีนโยบายพัฒนาคุณภาพน้ำนมโค เน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยเน้นไปที่อาหารในการเลี้ยงโคนมซึ่งส่งผลให้น้ำนมดิบมีปริมาณเพิ่มขึ้นและมีคุณภาพดีขึ้น รวมทั้งราคาน้ำนมดิบอยู่ในเกณฑ์ดี จึงจูงใจให้เกษตรกรมีการพัฒนาการเลี้ยงโคนมโดยการบริหารจัดการฟาร์มที่เป็นระบบตามมาตรฐานฟาร์มที่ดีและมีประสิทธิภาพในการเลี้ยง โดยการปลดแม่โครีดนมที่ให้ผลผลิตน้อยและสุขภาพไม่ดีออกจากฟาร์ม

ตารางที่ 5 จำนวนโคนมและผลผลิตน้ำนมดิบของไทย ปี 2558 – 2563

รายการ	2558	2559	2560	2561	2562[1/]	อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	2563[2/]
โคนมทั้งหมด ณ 1 ม.ค. (ตัว)	608,094	626,193	645,305	676,415	691,349	3.39	708,901
แม่โครีดนม ณ 1 ม.ค. (ตัว)	267,182	288,302	285,976	297,757	305,676	3.06	313,044
ผลผลิตน้ำนมดิบ (ตัน)	1,179,338	1,214,193	1,210,584	1,254,767	1,295,348	2.23	1,371,133
อัตราการให้นมของแม่โค (กก./ตัว/วัน)	12.09	11.51	11.6	11.55	11.61	-0.77	12.00
การบริโภคนม (ตัน)	1,124,498	1,156,569	1,150,424	1,191,294	1,212,750	1.82	1,284,999

หมายเหตุ[/1] : ข้อมูลเบื้องต้น [/2] คาดการณ์

ที่มา :สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2562)

ผลผลิตน้ำนมดิบในประเทศผู้ผลิตที่สำคัญปี 2558 – 2562 ตามข้อมูลในตารางที่ 6 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.38 ต่อปี โดยผลผลิตน้ำนมดิบในปี 2562 มีปริมาณรวม 512.92 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 505.67 ล้านตัน ของปี 2561 ร้อยละ 1.01 ประเทศที่มีผลผลิตน้ำนมดิบมากที่สุด คือ สหภาพยุโรป มีผลผลิตน้ำนมดิบรวม 156.00 ล้านตัน รองลงมา ได้แก่ สหรัฐอเมริกา 98.98 ล้านตัน และอินเดีย 80.00 ล้านตัน ตามลำดับ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2562)

ตารางที่ 6 ปริมาณผลผลิตน้ำนมดิบในประเทศที่สำคัญของโลก ปี พ.ศ. 2558-2562

หน่วย: ล้านตัน

ประเทศ	2558	2559	2560	2561	2562[1/]	อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)
สหภาพยุโรป	150.20	151.00	153.40	154.58	156.00	1.00
สหรัฐอเมริกา	94.58	96.37	97.76	98.69	98.98	1.15
อินเดีย	64.00	68.00	72.00	76.00	80.00	5.73
รัสเซีย	30.55	30.51	30.93	31.45	31.88	1.16
จีน	31.80	30.64	30.39	30.75	31.50	-0.15
บราซิล	24.77	22.73	23.62	22.66	23.15	-1.37
อื่น ๆ	91.30	89.30	90.24	91.54	91.41	0.27
รวม	**487.20**	**488.55**	**498.34**	**505.67**	**512.92**	**1.38**

หมายเหต[/1] : ข้อมูลเบื้องต้น

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2562)

ความต้องการบริโภค ปี 2558 - 2562 ความต้องการบริโภคน้ำนมในประเทศที่สำคัญของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.78 ต่อปี ในปี 2562 มีความต้องการบริโภค 179.57 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 177.11 ล้านตัน ของปี 2561 ร้อยละ 0.78 อินเดียเป็นประเทศที่บริโภคน้ำนมสูงที่สุด คือ 69.80 ล้านตัน รองลงมาได้แก่ สหภาพยุโรป 33.20 ล้านตัน และสหรัฐอเมริกา 21.78 ล้านตันดังข้อมูลในตารางที่ 7 (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2562)

ตารางที่ 7 ปริมาณการบริโภคน้ำนมในประเทศที่สำคัญของโลก ปี พ.ศ. 2558-2562

หน่วย: ล้านตัน

ประเทศ	2558	2559	2560	2561	2562[1/]	อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)
อินเดีย	59.75	62.75	65.20	66.80	69.80	**3.81**
สหภาพยุโรป	33.80	33.60	33.55	33.50	33.20	**-0.39**
สหรัฐอเมริกา	23.38	23.22	22.72	22.22	21.78	**-1.84**
จีน	13.13	12.56	12.81	12.70	13.00	**-0.09**
บราซิล	9.57	9.60	9.99	9.75	10.05	**1.14**
รัสเซีย	9.50	8.96	8.56	8.30	7.96	**-4.21**
อื่น ๆ	24.75	24.12	23.85	23.84	23.78	**-0.91**
รวม	**173.88**	**174.81**	**176.68**	**177.11**	**179.57**	**0.78**

หมายเหต[/1] : ข้อมูลเบื้องต้น

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2562)

การส่งออกผลิตภัณฑ์นมของไทย (ตารางที่ 8) มีการส่งออกผลิตภัณฑ์นมหลายชนิด แต่ส่วนใหญ่มาจากการนำเข้าผลิตภัณฑ์นมเพื่อใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์นมประเภทอื่น ๆ แล้วส่งออก สินค้าส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ นมพร้อมดื่ม นมเปรี้ยว โยเกิร์ต เนยที่ได้จากนม และนมข้นหวาน เป็นต้น และเป็นการส่งออกไปยังประเทศใกล้เคียง เช่น กัมพูชา เมียนมาร์ สปป.ลาว มาเลเซีย สิงคโปร์ และฟิลิปปินส์ โดยในปี 2562 มีการส่งออกผลิตภัณฑ์นมปริมาณ 324,023 ตัน มูลค่า 12,123 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี 2561 ที่ส่งออก 310,485 ตัน มูลค่า 10,983 ล้านบาท

การนำเข้าผลิตภัณฑ์นม ในแต่ละปีประเทศไทยนำเข้านมและผลิตภัณฑ์นมเป็นจำนวนมาก (ตารางที่ 9) โดยในปี 2562 มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์นมปริมาณ 280,584 ตัน มูลค่า 22,175,271 ล้านบาท ปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 250,405 ตัน ของปี 2561 (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2562)

ตารางที่ 8 ปริมาณและมูลค่านมและผลิตภัณฑ์นมส่งออกของไทย ปี พ.ศ. 2558-2562

ปี	นมผงขาดมันเนย		นมและผลิตภัณฑ์นม		รวม	
	ตัน	พันบาท	ตัน	พันบาท	ตัน	พันบาท
2558	1,884	134,451	215,404	9,086,981	217,288	9,221,432
2559	8,075	418,514	229,279	9,493,162	237,354	9,911,676
2560	9,710	539,652	267,253	9,773,517	276,963	10,313,169
2561	12,398	550,646	298,087	10,432,666	310,485	10,983,312
2562[1/]	11,318	502,838	312,705	11,620,981	324,023	12,123,819
อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	49.40	33.81	10.60	6.04	11.27	6.72

หมายเหต[/1] : ข้อมูลเบื้องต้น

พิกัดศุลกากร 000.10.99.2202 และ 0406 – 0401

ที่มา :สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2562)

ตารางที่ 9 ปริมาณและมูลค่านมและผลิตภัณฑ์นมนำเข้าของไทย ปี พ.ศ. 2558-2562

ปี	นมผงขาดมันเนย		นมและผลิตภัณฑ์นม		รวม	
	ตัน	พันบาท	ตัน	พันบาท	ตัน	พันบาท
2558	82,449	7,023,487	161,290	12,807,771	243,739	19,831,258
2559	58,350	4,320,808	170,645	12,103,271	228,995	16,424,079
2560	64,345	5,203,790	173,092	15,377,607	237,437	20,581,397
2561	66,914	4,399,318	183,491	15,940,893	250,405	20,340,211
2562[1/]	72,360	5,213,560	208,224	16,961,711	280,584	22,175,271
อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	-1.23	-5.62	6.01	8.73	3.78	4.47

หมายเหต[/1] : ข้อมูลเบื้องต้น พิกัดศุลกากร 000.10.99.2202 และ 0406 – 0401

ที่มา :สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร (2562)

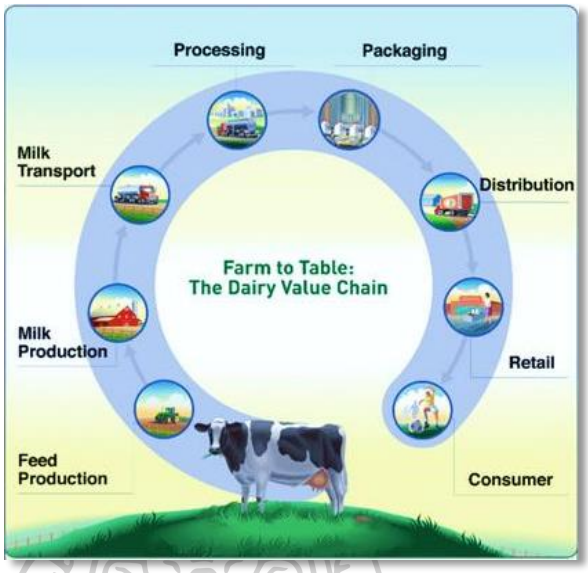
2.7 การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ (Carbon footprint; CF)

คาร์บอนฟุตปริ้นท์ (Carbon footprint; **CF**) คือปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ตลอดอายุการใช้งาน เริ่มจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ, การขนส่ง, กระบวนการผลิต, การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์และการจัดการบรรจุภัณฑ์หลังการอุปโภคบริโภค คำนวณเป็นหน่วยเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเกษตรเป็นส่วนสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลกโดยเฉพาะก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ คาร์บอนฟุตปริ้นท์ เป็นการจัดทำฉลากคาร์บอนแสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคและให้เกณฑ์มาตรฐานการปล่อยมลพิษที่สามารถกำหนดเป้าหมายเพื่อลดผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศ (Jones et al., 2014) ข้อมูลการปล่อยก๊าซดังกล่าวจะถูกรายงานต่อหน่วยของผลผลิต แนวคิดนี้ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อนของกลุ่มผู้ผลิต ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันได้

2.7.1 แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment - **LCA**) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มักถูกกำหนดโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA รวมถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในระหว่างขั้นตอนการผลิตและการปล่อยก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีอยู่ 2 รูปแบบ ได้แก่ ธุรกิจถึงผู้บริโภค (B to C) และธุรกิจกับธุรกิจ (B to B)

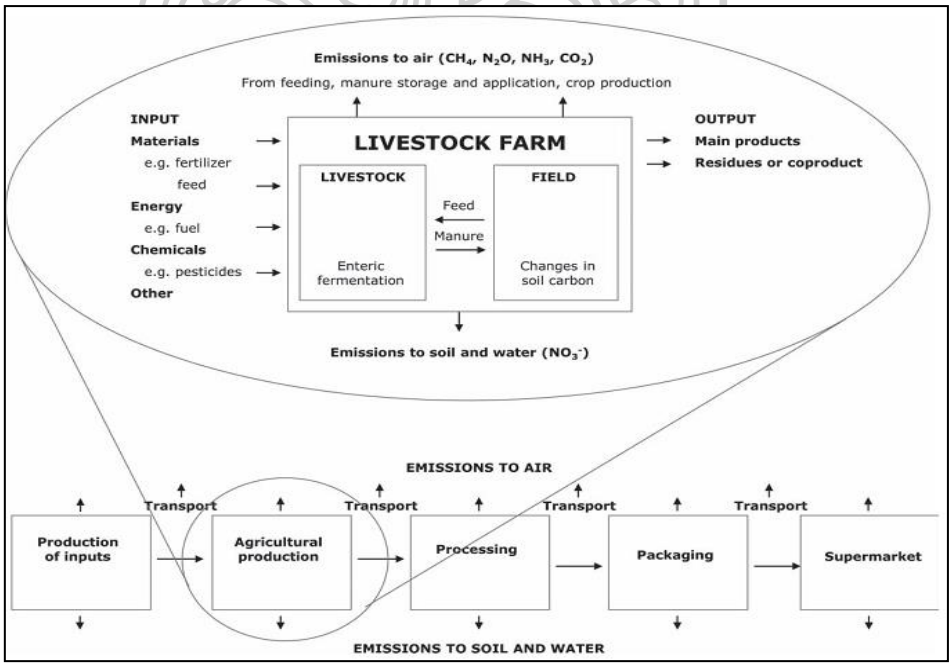
1) ธุรกิจถึงผู้บริโภค (B to C) ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (พรพมล, 2554) มีการปล่อยสารปฐมภูมิทั้งหมดในระหว่างขั้นตอนการผลิตและการปล่อยสารทุติยภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิต ครอบคลุมกระบวนการในการจัดหาวัตถุดิบ, การขนส่ง, การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์และการกำจัดบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วแสดงในภาพที่ 19

2) ธุรกิจกับธุรกิจ (B to B) มีการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นช่วง ๆ คำนวณการปล่อยก๊าซจากกระบวนการจัดหาวัตถุดิบไปสู่กระบวนการผลิต การประเมินนี้จะส่งผลการประเมินต่อไปยังผู้ที่นำวัตถุดิบนั้นไปใช้ต่อ (พรพมล, 2554) วงจรชีวิตของการประเมินได้รับการระบุอย่างชัดเจนเพื่อให้ผู้ใช้วัตถุดิบรายอื่นสามารถใช้ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แสดงตัวอย่างขั้นตอนในภาพที่ 20



ภาพที่ 19 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ B to C

ที่มา :http//:www.iaunz.com/portfolio-view/oem-dairy-products/



ภาพที่ 20 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ B to B

ที่มา :http//:www.iaunz.com/portfolio-view/oem-dairy-products/

2.7.2 ฉลากคาร์บอน (Carbon label) เป็นการแสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือคาร์บอนฟุตปริ้นท์ (Carbon footprint) ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยแสดงผลอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent) ซึ่งฉลากคารบอนจัดอยู่ในฉลากสิ่งแวดล้อม ประเภทที่ 3 (ISO 14025: Type III Environmental Declaration) (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2563)

ฉลากคาร์บอน สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามวิธีการแสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ คือ

ประเภทที่ 1 คือ ฉลากบ่งชี้การปล่อยคาร์บอนต่ำ (Low-carbon seal) แสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเดียวกัน

ประเภทที่ 2 คือ ฉลากบ่งชี้ระดับการปล่อยคาร์บอน (Carbon rating) แสดงระดับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ เช่น ระดับเหรียญทอง เงิน และทองแดง หรือบ่งชี้ระดับการลดลงของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Carbon reduction rating) แต่ไม่ได้แสดงข้อมูลตัวเลขปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ประเภทที่ 3 คือ ฉลากระบุขนาดคาร์บอน (Carbon score) แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นตัวเลขขนาดคาร์บอนฟุตปริ้นท์

ประเภทที่ 4 คือ ฉลากชดเชยคาร์บอน (Carbon offset/neutral) แสดงการชดเชยคาร์บอน

ภาพที่ 21 ตัวอย่างฉลากบ่งชี้การปล่อยคาร์บอนต่ำ

ที่มา :กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2563)

ภาพที่ 22 ตัวอย่างฉลากบ่งชี้ระดับการปล่อยคาร์บอน

ที่มา :กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2563)

ภาพที่ 23 ฉลากระบุขนาดคาร์บอน

ที่มา :กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2563)

ภาพที่ 24 ตัวอย่างฉลากชดเชยคาร์บอน

ที่มา :กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2563)

ฉลากคาร์บอนในประเทศไทย ประเทศไทยเริ่มพัฒนาเกณฑ์การขึ้นทะเบียนฉลากคาร์บอน โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ร่วมกับ สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ.2552 โดยอาศัยการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต ปัจจุบัน ฉลากคาร์บอนในประเทศไทย แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2563)

1. ฉลากลดคาร์บอน คือ ฉลากที่แสดงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยสินค้าหรือบริการ เพื่อเป็นข้อมูลอย่างง่ายสำหรับผู้บริโภคประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้า

ภาพที่ 25 ฉลากลดคาร์บอนในประเทศไทย
ที่มา :กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2563)

2. ฉลากคาร์บอนฟุตปริ้นท์ (Carbon Footprint Label) ฉลากคาร์บอนฟุตปริ้นท์ คือ ฉลากที่แสดงข้อมูลให้ผู้บริโภคได้ทราบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค และกระตุ้นให้ผู้ประกอบการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีในการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

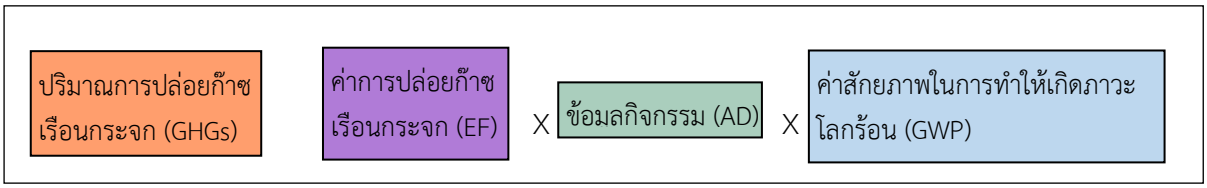
ภาพที่ 26 ฉลากคาร์บอนฟุตปริ้นท์ ประเทศไทย
ที่มา :กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2563)

3. ฉลากลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์ (Carbon Footprint Reduction Label) ฉลากลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์ หรือ ฉลากลดโลกร้อน (The carbon footprint reduction or global warming reduction Label) คือ ฉลากที่แสดงว่าผลิตภัณฑ์ได้ผ่านการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ในปีปัจจุบันกับปีฐาน

ภาพที่ 27 ฉลากลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์ ประเทศไทย
ที่มา :กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2563)

2.8 The Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC

ในการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาค IPPU พิจารณาก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide: CO_2) ก๊าซมีเทน (Methane: CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide: N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrofluorocarbons: HFCs) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (Perfluorocarbon: PFCs) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulphur Hexafluoride: SF6) หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emissions: GHGs) ประกอบด้วยข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) และค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) เพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แสดงในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2 equivalent: CO_2e) ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 สมการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) ที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาค IPPU รวบรวมจากรายงานสถิติที่ได้มีการจัดเก็บและเผยแพร่อย่างเป็นทางการ รวมถึงขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กรมศุลกากร สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย และกรมธุรกิจพลังงาน เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้รวบรวมข้อมูลจากการดำเนินโครงการพัฒนากระบวนการจัดทำข้อเสนอแผนงานการลดก๊าซเรือนกระจก (Mitigation Action Plan) พร้อมทั้งพัฒนากระบวนการตรวจวัด การรายงาน และการทวนสอบ (Measurement, Reporting and Verification :MRV) ของอุตสาหกรรมเป้าหมาย ภายใต้โครงการ Low Emission Capacity Building เพื่อใช้ในการประเมิน

ระดับการคำนวณ (Tier) ได้พิจารณาจากค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ซึ่งระดับการคำนวณที่สูงกว่าจะส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการค นวณและลดความไม่แน่นอนของข้อมูลที่อาจจะเกิดขึ้น การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาค IPPU ส่วนใหญ่ใช้วิธีการคำนวณในระดับ Tier 1 โดยอ้างอิงค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามคำแนะนำใน 2006 IPCC Guideline (Default Emission Factor) และในบางกิจกรรมที่คำนวณในระดับ Tier 2 ได้มีการอ้างอิงค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉพาะของประเทศ (Country specific Emission Factor) ได้แก่ การผลิตปูนซีเมนต์การผลิตแก้ว การผลิตจากกระบวนการอื่นที่มีการใช้สารคาร์บอเนต และการผลิตเหล็กและเหล็กกล้า

ในส่วนของค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ในการศึกษาครั้งนี้ อบก. ได้อ้างอิงค่าGWP_{100} ตามรายงานการสังเคราะห์และประเมินความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 4 ภายใต้IPCC (The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC AR4)$_1$ ก๊าซเรือนกระจกที่พิจารณาในภาค IPPU มีค่าศักยภาพในการท าให้เกิดภาวะโลกร้อนในช่วงระยะเวลา 100 ปีดังแสดงตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ก๊าซเรือนกระจกที่พิจารณาในภาค IPPU และค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

GHG	GWP100	GHG	GWP100	GHG	GWP100	GHG	GWP100
CO_2	1	N_2O	298	NF_3	17,200	PFCs	7,390-12,200
CH_4	24	SF_6	22,800	HFCs	124-14,800		

ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน (2557)

2.9 การประเมินระดับฟาร์ม

แหล่งที่มาหลักของการปล่อย GHG สุทธิรวมถึงการปล่อย CO_2 รวมทั้งการปล่อย CH_4 และ N_2O ทั้งหมดระหว่างการผลิตอาหารสัตว์การบำรุงรักษาสัตว์และการจัดการปุ๋ย สำหรับแหล่งข้อมูลที่สำคัญกว่าของการปล่อยสัตว์ในการเก็บรักษามูลสัตว์ระดับกระบวนการใช้แบบจำลอง สำหรับแหล่งข้อมูลอื่นความสัมพันธ์ที่ง่ายกว่าและใช้ปัจจัยการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์. กระบวนการหลายอย่างซึมซับและปล่อย CO_2 จากฟาร์มโคนม การปลูกหญ้าดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศผ่านการสังเคราะห์แสงระหว่างการเจริญเติบโตของพืชและปล่อย CO_2 ผ่านพืชและการหายใจของดินและการย่อยสลายมูลสัตว์ โดยปกติแล้วตลอดทั้งปีแปลงปลูกพืช เป็นตัวดูซับ CO_2 สุทธิในชีวมวลของพืชมากกว่าที่ปล่อยออกมา (Chianese et al., 2009a) แหล่งสำคัญของ CO_2 ในผลิตภัณฑ์นมฟาร์มเป็นระบบหายใจของสัตว์การปล่อยจากการเก็บรักษามูลสัตว์และพื้นคอก

2.9.1 Allocated to milk

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตน้ำนมดิบนอกจากจะเกิดจากโคที่ให้ผลผลิตแล้วยังรวมถึงโคกลุ่มอื่น ๆ ที่อยู่ในฟาร์ม เช่น โคแห้งนม โคสาว และลูกโค และการคัดโคขายจากฟาร์มก็เป็นสิ่งต้องต้องคำนึงถึงต่อการปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้น อัตราการทดแทนของการให้น้ำนมโคและอัตราการตายของโคและการคัดโคขายและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ควรมีการเชื่อมโยงผลิตภัณฑ์เหล่านี้ด้วยเมื่อคำนวณการปล่อยจากฟาร์ม (Rotz et al., 2010)

Cederberg and Stadig (2003) พิจารณาจาก 4 ตัวเลือกสำหรับการจัดสรรการปล่อยมลพิษระหว่างการผลิตน้ำนมและเนื้อโคในการประเมินวัฏจักรชีวิต: ไม่มีการจัดสรร การจัดสรรทางเศรษฐกิจ การจัดสรรชีวภาพด้วยเหตุและผลการขยาย. ไม่มีการจัดสรรการปล่อยทั้งหมดจะถูกนำมาประกอบเพื่อการผลิตน้ำนมโดยไม่ต้องจัดสรรให้ขายสัตว์ สำหรับการจัดสรรทางเศรษฐกิจทั้งฟาร์มการปล่อยมลพิษจะถูกจัดสรรระหว่าง 2 ผลิตภัณฑ์ตามเมื่อได้รับรายได้ต่อปีจากแต่ละราย หลายเกณฑ์สามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการจัดสรรทางชีวภาพแนวทางที่แนะนำคือการจัดสรรตามพลังงานที่จำเป็นในการผลิตหรือพลังงานที่มีอยู่จากแต่ละผลิตภัณฑ์ ตัวเลือกสุดท้ายของการขยายระบบหลีกเลี่ยงการจัดสรรโดย

การขยายระบบเพื่อรวมวิธีการทางเลือกในการผลิต coproduct ในกรณีนี้ทางเลือกคือการผลิตสัตว์ในเนื้อระบบการผลิต

หลังจากพิจารณา 4 ทางเลือกคือการจัดสรรทางเศรษฐกิจขั้นตอนถูกเลือกสำหรับต้นแบบของเรา ไม่มีการจัดสรรตัวเลือกสร้างอคติที่ไม่ยุติธรรมกับการผลิตน้ำนมโดยเชื่อมโยงการปล่อยทั้งหมดกับผลิตภัณฑ์นี้ แม้ว่า Cederberg and Stadig (2003) จะแนะนำการใช้การขยายระบบวิธีนี้จะสร้างอคติที่ไม่ได้รับความนิยมของการผลิตน้ำนม การให้เครดิตการปล่อยมลพิษเช่นเดียวกับสัตว์ที่ผลิตในฟาร์มเช่นเดียวกับที่ผลิตในระบบการผลิตเนื้อโคเป็นหลักลบการจัดสรรใด ๆ สำหรับการผลิตน้ำนมซึ่งหมายความว่าการปล่อยมลพิษทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของสัตว์มีสัดส่วนการผลิตเนื้อโคอย่างเต็มที่แม้ว่าจะเป็นส่วนที่จำเป็นในการผลิตน้ำนมสิ่งนี้สร้างการลดการปล่อยก๊าซที่เกี่ยวข้องอย่างมากกับการผลิตน้ำนม ทั้งด้านเศรษฐกิจและแผนการจัดสรรทางชีวภาพนั้นมีความพอประมาณมากกว่าและแผนกที่คล้ายกันของการปล่อยสุทธิระหว่างผลิตภัณฑ์ (Cederberg and Stadig, 2003) ทางชีวภาพวิธีการอาจมีความซับซ้อนมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าสิ่งต่าง ๆผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่ไม่ใช่เนื้อสัตว์เราเลือกตัวเลือกทางเศรษฐกิจ เพราะราคาสินค้าสะท้อนคุณค่าของพวกเขาสู่สังคมจัดสรรโดยเศรษฐกิจของพวกเขาค่าให้แนวทางการปฏิบัติ

เพื่อใช้ตัวเลือกทางเศรษฐกิจราคาระยะยาวสำหรับลูกโคและลูกโคถูกสร้างขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำนม. มีการกำหนดราคาลูกโคและคัดโคต่อหน่วยของมวลที่ 6.5 และ 2.8 เท่าของน้ำนมตามลำดับด้วยอัตราส่วนราคาเหล่านี้อัตราการเปลี่ยนของฝูงโคให้นมและอัตราการตายของสัตว์เศษส่วนของการปล่อยฟาร์มทั้งหมดเนื่องจากการผลิตน้ำนม (F_m) ถูกกำหนดเป็น Rotz et al. (2010)

$$F_m = \frac{MILK}{(2.8\, N_{cow} \times BW_{cow} + 6.5\, N_{calf} \times BW_{calf} + MILK)}$$

เมื่อ

F_m คือ ส่วนประกอบของการปลดปล่อยก๊าซในน้ำนม

MILK คือ ปริมาณน้ำนมโคที่ขายตลอดทั้งปี (กิโลกรัม)

N_{cow} คือ ปริมาณโคที่ขายในฟาร์มตลอดทั้งปี (ตัว)

BW_{cow} คือ น้ำหนักโคที่ขายเฉลี่ย (กิโลกรัม)

N_{calf} คือ ปริมาณลูกโคที่ขายในฟาร์มตลอดทั้งปี (ตัว)

BW_{calf} คือ น้ำหนักลูกโคที่ขายเฉลี่ย (กิโลกรัม)

2.9.2 น้ำนมปรับแก้พลังงาน (Energy Corrected Milk; ECM)

น้ำนมปรับแก้พลังงาน (ECM หรือนมแก้ไขไขมัน) วิธีการที่ใช้: การผลิตนม: ฐานข้อมูล IFCN ในการผลิตนมมาตรฐานนมให้เป็นไขมัน 4% และโปรตีน 3.3% โดยใช้สูตรแก้ไขนมพลังงาน (ECM) สูตร ECM: นม ECM = (การผลิตนม * (0.383 *% ไขมัน + 0.242 * โปรตีน% + 0.7832) / 3.1138) สหรัฐอเมริกาแก้ไขนมพลังงาน Energy Corrected Milk (ECM): กำหนดปริมาณพลังงานในนมตามนมไขมันและโปรตีนและปรับเป็นไขมัน 3.5% และโปรตีน 3.2% สูตร ECM = (0.327 X นมปอนด์) + (12.95 X ปอนด์ไขมัน) + (7.65 X โปรตีนปอนด์) พลังงานที่ได้รับการแก้ไขนม ECM กำหนดปริมาณพลังงานในนมตามนมไขมันและโปรตีนและปรับเป็นไขมัน 3.5% และโปรตีน 3.2% สูตร ECM = (0.327 X นมปอนด์) + (12.95 X ปอนด์ไขมัน) + (7.65 X โปรตีนปอนด์) สูตรนี้ได้มาจากสิ่งต่อไปนี้: นมที่ปรับให้มีไขมัน 3.5% และโปรตีน 3.2% ถือเป็นพลังงาน 314 กิโลแคลอรี

การทำนายค่าพลังงานของนมวัวสมการคือ:

E = 40.72 (% F) + 22.65 (% P) = 102.77

ECM = M [40.72 (% F) + 22.65 (% P) + 102.77] / 314

40.72 / 314 /0.1 = 12.97 22.65 / 314 / 0.1 = 7.21 102.77 / 314 = .3273

ดังนั้น ECM = 0.327 * milk lbss + 12.97 * ปอนด์ไขมัน + 7.21 โปรตีนปอนด์ อย่างไรก็ตาม สมการนี้ได้ทำซ้ำหลายครั้ง โดยใช้พารามิเตอร์ที่แตกต่างกันเล็กน้อย DRMS ใช้สมการต่อไปนี้เมื่อการแสดงออกมาตรฐานของโปรตีนในนมเป็น "โปรตีนรวม":

ECM = 0.327 * นมปอนด์ + 12.97 * ปอนด์ไขมัน + 7.20 * โปรตีนปอนด์ ตั้งแต่พฤษภาคม 2543 ระบบ DHIA ได้รับการกำหนดมาตราฐานให้กับทรูโปรตีนวิธีปรับสูตรจาก Total Protein เป็น True Protein เป็นที่ยอมรับกันว่าโดยทั่วไปแล้วโปรตีนที่แท้จริง คือ 0.19 ปอนด์ต่อนมน้ำหนักน้อยกว่า Total Protein 0.19 ปอนด์ ดังนั้นถ้า Total Protein = 3.2 ดังนั้น Ture Protein = 3.0 อัตราส่วนของ Total to True Protien ที่การทดสอบเฉลี่ยคือ 3.2 / 3.01 = 1.063 ดังนั้นในการแปลงเป็น True Protien สูตรคือ 7.20 * 1.063 = 7.65 สูตรสำหรับ ECM กลายเป็น 0.327 * milk lbs + 12.95 * ปอนด์ไขมัน + 7.65 * โปรตีนปอนด์ (Dairymarkets, 2019)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์

จากการศึกษาของ Rotz et al. (2012) ได้เสนอรายงานการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและคาร์บอนฟุตปริ้นท์ โดยการใช้โมเดลระบบการทำฟาร์มแบบผสมผสาน โดยได้เสนอแนวทางและหลักการสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบทั้งระบบของฟาร์ม โดยได้ทำการจำแนกและประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ เพื่อนำไปสู่การประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของฟาร์มทั้งระบบได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chianese et al. (2009d) ได้เสนอแนวทางในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบทั้งระบบของฟาร์ม ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้จากฟาร์มโคนมของเพนซิวิเนียในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้มีการเสนอหลักการในการจำแนกและประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยได้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นของข้อมูลที่สำคัญในการประเมิน การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรูปแบบการจัดเก็บมูลที่ขับถ่าย การกักเก็บก๊าซมีเทนได้ของพื้นที่เพาะปลูก และการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ของรูปแบบการจัดเก็บมูลที่ขับถ่ายและความสามารถของบ่อหรือโรงเรือนที่กักเก็บมูลไว้

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการศึกษาของ Chianese et al. (2009b) ได้เสนอแนวทางในการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของฟาร์มเลี้ยงโคนม เพื่อใช้เป็นกลยุทธ์ในการประเมินและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจาก กระบวนการหายใจของดิน พืช สัตว์ และมูล โดยทั้งนี้พบว่า การใช้ถั่วอัลฟาฟ่าเพิ่มขึ้นในพื้นที่แทนการผลิตข้าวโพดจะเป็นการช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 6 % และการทดแทนการผลิตข้าวโพดด้วยการใช้ทุ่งหญ้าแบบชนิดไม่ถาวร (non-permanent grassland) จะเป็นการช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 16 % และการปรับเปลี่ยนฝูงจากพันธุ์โฮสไตล์ฟีเชียนมาเป็นพันธุ์เจอร์ซี่จะเป็นการเพิ่มจำนวนสัตว์เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตที่เท่าเดิมแต่จะเป็นการเพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 20 % นอกจากนี้แล้วยังพบว่า การเพิ่มขนาดฟาร์มและการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของฟาร์มไปสู่อากาศที่อุ่นขึ้นจะส่งผลกระทบต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจากเดิม

การประเมินการปล่อยก๊าซมีเทน จากการศึกษาของ Chianese et al. (2009c) ได้เสนอแนวทางในการประเมินการปล่อยก๊าซมีเทนของฟาร์มเลี้ยงโคนม เพื่อใช้เป็นกลยุทธ์ในการประเมินและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการประเมินการปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจาก กระบวนการหมักย่อยในกระเพาะของสัตว์ การเก็บมูลของเสียที่ขับถ่าย ลักษณะการใช้ประโยชน์ของสิ่งขับถ่ายของเสียจากสัตว์ การใช้มูลใส่ในแปลงหญ้า การขับถ่ายมูลในพื้นคอกสำหรับการเลี้ยงแบบขังคอก โดยทั้งนี้พบว่าการใช้ข้าวโพดหมักในอาหารเลี้ยงโคจะเป็นการเพิ่มการปล่อยก๊าซมีเทนคิดเป็นร้อยละ 16 % และ

การปล่อยสัตว์แทะเล็มในแปลงหญ้าคุณภาพดีจะเป็นการลดการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซเรือนกระจกรวมสุทธิได้คิดเป็นร้อยละ 8 และ 16 % ตามลำดับ การใช้ฝาปิดบ่อพักมูลเพื่อหมักผลิตเป็นพลังงานชีวภาพใช้ในฟาร์มจะเป็นการช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซเรือนกระจกรวมสุทธิได้คิดเป็นร้อยละ 32 และ 24 % ตามลำดับ

การประเมินการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ จากการศึกษาของ Chianese et al. (2009d) ได้เสนอแนวทางในการประเมินการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ของฟาร์มเลี้ยงโคนม เพื่อใช้เป็นกลยุทธ์ในการประเมินและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการประเมินการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่เกิดขึ้นจาก แปลงหญ้า การเก็บมูลของเสียที่ขับถ่าย และพื้นคอก โดยทั้งนี้พบว่า การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตเจนจะเป็นการช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 1% การปลูกพืชคลุมดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกรวมสุทธิได้คิดเป็นร้อยละ 34 และ 7 % ตามลำดับ การใช้ถังเก็บมูลแบบแยกกากที่มีการป้องกันการเกิดการร่วมตัวกันจะช่วยลดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้อีกทางหนึ่ง และการทำฟาร์มเพาะปลูกพืชโดยเปลี่ยนจากดินเหนียวร่วนเป็นดินร่วนจะเป็นการช่วยลดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกรวมสุทธิได้คิดเป็นร้อยละ 60 และ 10 % ตามลำดับ

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตนมพร้อมดื่ม จากการศึกษาของพรพมล (2554) ได้ทำการวิจัย ปริมาณการสูญเสีย การใช้ทรัพยากร และการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ขนาดบรรจุ 200 มิลลิลิตร ที่ผลิต ณ ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้การประเมินเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกระทั่งเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงาน ตามการประเมินรูปแบบ Business-to-Business (B2B) โดยการศึกษาพบว่า คาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ขนาดบรรจุ 200 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 0.32 $kgCO_2eq$ (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) โดยคิดเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.25, 0.01 และ 0.07 $kgCO_2eq$ สำหรับการผลิตวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์ ตามลำดับ จากการายงานของ Bertrand and Barnett (2011) ได้เสนอวิธีการมาตรฐานสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์นม โดยกล่าวถึงว่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 18 มาจากภาคการผลิตปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์อาหารที่มาจากสัตว์ (FAO, 2010) และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 2.7 มาจากภาคอุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นม ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต การขนส่ง (FAO, 2010) นอกจากนี้แล้ว Flysijo et al. (2014) ได้รายงานผลการศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมนมของประเทศเดนมาร์ก โดยการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ตั้งแต่ฟาร์มผลิตถึงผู้บริโภค แล้วรายงานในหน่วยของน้ำนมที่ปรับกับโปรตีนและไขมันในน้ำนมแล้ว (Protein fat corrected milk, PFCM) โดยพบว่า 5 ผลิตภัณฑ์จากการแปรรูปผลผลิต

น้ำนมได้แก่ butter, butter blend, cheese, milk powder, whey มีปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์เท่ากับ 1.1, 8.1, 6.5, 7.4 และ 1.2 kgCO_2eq/kg fresh dairy product ตามลำดับ

Adom et al. (2013) ได้รายงานผลการวิเคราะห์ประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของระบบโรงงานผลิตอาหารสำหรับโคนมในรัฐมิชิแกนของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทำการประเมินตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์ไปจนถึงการได้เป็นอาหารสัตว์แล้วส่งไปใช้ในฟาร์มโคนม พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าเท่ากับ 0.62 kgCO_2eq/kg mill economic allocation และ 0.93 kgCO_2eq/kg mill mass allocation ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นมาจากส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเป็นอาหารสัตว์คิดเป็นร้อยละ 73-82 % อีกส่วนเกิดขึ้นจากพลังงานที่ใช้และการขนส่งคิดเป็นร้อยละ 8 และ 12 % ตามลำดับ

การประเมินการเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของฟาร์มโคนม

ในการผลิตของฟาร์มโคนม มีการปลดปล่อยก๊าซหลายประเภทเช่น CH_4 N_2O และ CO_2 โดยเฉพาะ CH_4 ที่ผลิตจากกระบวนการหมักในกระเพาะรูเมน และจากมูลที่สะสมในฟาร์มมีการปลดปล่อยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศมากกว่ากลุ่มอื่น ๆ (Rotz et al., 2010) แหล่งหลักที่มีการปลดปล่อย GHG คือฟาร์มโคนม รวมถึงตัวสัตว์และสิ่งที่นำมาใช้ในฟาร์มเพื่อให้เกิดผลผลิตในฟาร์ม เช่น ไฟฟ้า, น้ำมันเชื้อเพลิง, เครื่องจักร, สารกำจัดศัตรูพืช, เมล็ดพันธุ์และพลาสติก เพื่อนำมาใช้ในการประเมินปริมาณ GHG ในฟาร์มโคนม ปริมาณ GHG ที่ปลดปล่อยออกมาจากฟาร์มสุทธิที่ผลิตในฟาร์มจะถูกนำมาประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนม เมื่อคิดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่ปลดปล่อยออกมาจากการผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัมเมื่อปรับพลังงานในน้ำนม (energy-corrected milk; ECM)

จากการศึกษาคาร์บอนฟุตปริ้นในต่างประเทศของ Rotz et al. (2010) ประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมใน Pennsylvania ที่มีการจัดการฟาร์มและขนาดของฟาร์มแตกต่างกัน พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.37 ถึง 0.69 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ส่วนการศึกษาของ Mc Geough et al. (2012) โดยการใช้สมการในการทำนายปริมาณ GHG พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าเท่ากับ 0.92 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ส่วนการศึกษาของ Flysjo et al. (2011) ศึกษาคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มประเทศนิวซีแลนด์ ที่มีการเลี้ยงโคแบบปล่อยแปลง พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.60 ถึง 1.52 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ซึ่งปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในผลผลิตน้ำนมที่ต่ำแสดงว่าในฟาร์มมีการบริหารจัดการฟาร์มที่ดี คาร์บอนฟุตปริ้นท์สามารถผันแปรได้ขึ้นกับการให้ผลผลิตน้ำนม การจัดการให้อาหารโค การจัดการมูล ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.46 ถึง 1.5 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM)

จากการศึกษาของมธุรสและวิโรจน์ (2556) ศึกษาในฟาร์มโคนมของเกษตรกรในจังหวัดขอนแก่น ที่เลี้ยงในระบบปล่อยแทะเล็มแปลงหญ้าร่วมกับเสริมฟางข้าวและเสริมอาหารข้นให้กินในระหว่างมื้อรีดนม พบว่าค่าผลรวมของการปล่อยก๊าซรวม เท่ากับ 5,141.12 กิโลกรัม CO_2e และค่าผลรวม สู่ผลผลิตน้ำนม เท่ากับ 88.87 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมมีค่าเท่ากับ 0.89 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM)

การประเมินการเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นม

Vergé et al. (2013) วิจัยเกี่ยวกับการประมาณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของผลิตภัณฑ์นมของประเทศแคนาดาจากฟาร์มไปจนถึงการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นม สำหรับการปล่อยมลพิษนอกฟาร์มแหล่งสำคัญที่สุดคือการแปรรูปตามด้วยบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง เปอร์เซ็นต์การปล่อยมลพิษของโยเกิร์ตสูงกว่านมพร้อมดื่มและความแตกต่างระหว่างการแปรรูปและบรรจุภัณฑ์ของโยเกิร์ตมากกว่านมพร้อมดื่ม ตารางที่ 10 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการปล่อยมลพิษสำหรับขั้นตอนการประมวลผลด้วยการใช้เชื้อเพลิงและการใช้ไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ เชื้อเพลิงมีค่าสูงสุดสำหรับผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด แต่ความแตกต่างของค่าไฟฟ้ามีเพียงเล็กน้อยสำหรับโยเกิร์ตซึ่งอาศัยการแปรรูปด้วยไฟฟ้ามากกว่านมพร้อมดื่ม

Zhao et al. (2017) รายงานว่าการประเมินผลการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับผลิตภัณฑ์นมภายในประเทศ: ตามแนวทางการประเมินวงจรชีวิต (Lifecycle Based Approach) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดของนมบริสุทธิ์เท่ากับ 1,120g CO_2 ต่อลิตรของนมบริสุทธิ์ การผลิตน้ำนมดิบถือเป็นปัจจัยหลักในการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์การอุดหนุนนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 843 กรัม CO_2/L คิดเป็น 75.27% ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในการขนส่งสินค้าคือ 38 กรัมของ CO_2/L ซึ่งคิดเป็น 3.39% ของยอดรวม ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปนมและการกำจัดของเสียบรรจุภัณฑ์เท่ากับ 173 และ 66 กรัม CO_2/L ตามลำดับคิดเป็นสัดส่วน 15.45 และ 5.89% ของทั้งหมดตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 12 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมุ่งหวังให้ บริษัท ผู้ผลิตนมมีส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการปรับปรุงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ในส่วนที่เกี่ยวกับการผลิตน้ำนมดิบก๊าซเรือนกระจกอาจลดลงโดยการปรับสัดส่วนของอาหารสัตว์ซึ่งจะช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้

ตารางที่ 11 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มและโยเกิร์ต

Step	Fluid milk	Yogurt
Production steps		
Farm production	86.9	72.2
Transportation	1.0	0.9
Processing	6.5	16.8
Packaging	5.5	10.1
Total	100	100
Processing steps		
Electricity	28.5	41.0
Fossil fuels	66.6	57.3
Water and wastewater	1.6	0.7
Cleaners	1.5	0.3
Refrigerants	1.9	0.7
Total	100	100

ที่มา: ดัดแปลงจาก Pirlo et al. (2014)

ตารางที่ 12 ปริมาณคาร์บอนฟุตปรินทร์ที่แตกต่างกันของแต่ละช่วงของการผลิต

Emissions types	Carbon footprint (gCO_2,per liter)	Percentage (%)
Raw milk production	843	75.27
Dairy processing	173	15.45
Product transportation	38	3.39
Packaging disposal	66	5.89
Total	1,120	100

ที่มา: ดัดแปลงจาก Zhao et al. (2017)

การประเมินการเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของฟาร์มโคเนื้อ

จากการศึกษาของ Buratti et al. (2017) ได้ทำการศึกษาการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของระบบการทำฟาร์มโคเนื้อในประเทศอิตาลีเปียบเทียบระหว่างการทำฟาร์มโคเนื้อแบบปกติเปรียบเทียบกับการทำฟาร์มโคเนื้ออินทรีย์ พบว่า ผลการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีของฟาร์มโคเนื้อ

แบบปกติและฟาร์มโคเนื้ออินทรีย์มีค่าเท่ากับ 24.62 และ 18.21 kgCO_2/kg live weight ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนที่เกิดขึ้นมากเป็นผลมากจากกระบวนการหมักย่อยภายในกระเพาะหมักของโคเนื้อคิดเป็นร้อยละ 50-54 % ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญและหาแนวทางกลยุทธ์ในการให้อาหารที่ถูกต้องเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการหมักย่อย ซึ่งสอดคล้องกับ Berton et al. (2016) ได้ทำการศึกษาระบบการเลี้ยงโคเนื้อขุนในประเทศอิตาลี จำนวน 16 ฟาร์ม ซึ่งมีระบบการผลิตแบบเลี้ยงแม่ผลิตลูก (cow-calf) ในประเทศฝรั่งเศส แล้วขายเพื่อนำมาเข้าสู่ระบบการขุนเพื่อให้ได้ระยะฆ่าเพื่อชำแหละซากต่อไป ซึ่งพบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเกิดขึ้นมากในระบบฟาร์ม (on-farm) มากกว่าปัจจัยที่มาจากภายนอก (off-farm) ซึ่งแนวทางที่สำคัญในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์คือ การเน้นการจัดการฟาร์ม และการจัดการฝูง โดยพบว่า ระบบการจัดการผลิตที่มีประสิทธิภาพจะสามารถช่วยควบคุมและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

Huerta et al. (2016).ได้รายงานการประเมินตลอดวัฏจักรการผลิตโคเนื้อในประเทศเม็กซิโกที่ส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยได้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ทั้งระบบ (cow-calf, fattening, marketing) ระหว่างระบบการผลิตโคเนื้อแบบปล่อย (extensive) และระบบการผลิตแบบปราณีต (intensive) โดยการศึกษาพบว่า ระบบการเลี้ยงโคเนื้อแบบปล่อยจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าระบบการเลี้ยงแบบปราณีต และการให้ความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการสืบพันธุ์ในฝูงลูกโคจะเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบการผลิตโคเนื้อได้ และการปรับปรุงเพิ่มการใช้อาหารที่มีคุณภาพสำหรับระบบการเลี้ยงแบบปล่อยก็จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักย่อยภายในกระเพาะของโคเนื้อได้เช่นเดียวกันด้วย และการประเมินในระดับฟาร์มของ Cerri et al. (2016) ได้ทำการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของการผลิตโคเนื้อจากกรณีศึกษา 22 ฟาร์ม ในประเทศบาซิล ผลการศึกษา พบว่า ส่วนใหญ่ 89-98 % ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นมากจากตัวสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกิดขึ้นมาจากการหมักย่อยคิดเป็นร้อยละ 67-79 และอีกส่วนเกิดขึ้นมาจากมูลที่สัตว์ขับถ่ายออกมาคิดเป็นร้อยละ 20-33

แหล่งของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมที่สำคัญ ศึกษาโดย Stackhouse-Lawson et al. (2012) ได้รายงานว่า การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์และการปล่อยก๊าซแอมโมเนียจากระบบการผลิตโคเนื้อในรัฐแคลลิฟอเนียประเทศสหารัฐอเมริกา แหล่งของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถประเมินได้จาก 2 แหล่งหลักที่สำคัญ คือ 1) Primary source ประกอบด้วย การหมักย่อยภายในกระเพาะของสัตว์ การขับถ่ายมูล การใช้พื้นที่แปลงหญ้าในการผลิตอาหารสัตว์ และการเผาไหม้เชื้อเพลิง 2) Secondary emission ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตที่ใช้ภายในฟาร์ม เช่น เชื้อเพลิง ไฟฟ้า เครื่องจักรกล ปุ๋ย การซื้อ-ขายสัตว์ โดยการศึกษาได้รายงานค่าปริมาณการปล่อยก๊าซแอมโมเนียอยู่ในช่วง 98-141 g/kg HCW และปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ 10.7-22.6 kgCO_2eq/kg HCW ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Capper et al. (2014) ได้รายงานผลการศึกษาวิจัยผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากระบบการเลี้ยงโคเนื้อในประเทศส

หารัฐอเมริกา โดยทำการเปรียบเทียบจากระบบการเลี้ยงสมัยใหม่ (ปี ค.ศ. 2007) กับระบบการเลี้ยงแบบเก่า (ปี ค.ศ. 1997) ซึ่งพบว่า ระบบการเลี้ยงโคเนื้อสมัยใหม่มีปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ลดลง (16.3%) โดยเกิดจากการปลดปล่อยของเสียออกจากระบบการผลิตลดลงคือ การปล่อยมูลลดลง (81.9%) ปล่อยก๊าซมีเทนลดลง (82.3%) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ลดลง (88.0%)

การศึกษาของ Rotz et al. (2013) ได้รายงานผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของระบบการผลิตโคเนื้อในประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยการใช้ระบบการทำนายเพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเปรียบเทียบระหว่างปี ค.ศ. 2005 กับ ปี ค.ศ. 1970 ซึ่งพบว่า ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของการผลิตโคเนื้อมีค่าลดลงคิดเป็นร้อยละ 6 % และเมื่อเทียบเป็นปริมาณไนโตเจนที่สูญเสียลดลงคิดเป็นร้อยละ 3 % เมื่อเทียบเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตลดลงคิดเป็นร้อยละ 6 % ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Stackhouse et al. (2012) ได้รายงานผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำใช้เทคโนโลยีด้านสารเสริมกระตุ้นการเจริญเติบโต (Growth-promoting technologies) เช่น สารกลุ่มฮอร์โมน (estrogen) ในการใช้เพื่อลดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ ลดการปล่อยก๊าซแอมโมเนีย และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในระบบการผลิตโคเนื้อของรัฐแคลลิฟอเนียในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ผลของการใช้สารกระตุ้นการเจริญเติบโต (B2-adrenegic agonists, BAA) และการใช้ BAA ร่วมกับ Estrogen จะสามารถช่วยลดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ได้ 7 และ 13 % ตามลำดับ สำหรับการศึกษาการใช้เปรียบเทียบระหว่างโคเนื้อพันธุ์แองกัสและโคนมโฮสไตล์ฟรีเซียน พบว่า จะสามารถช่วยลดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ได้ 9 และ 5 % ตามลำดับ แต่อย่าไรก็ตาม การประเมินความคุ้มค่าของการใช้และผลตอบแทนสุทธิในการพิจารณาเลือกใช้ของแต่ละฟาร์ม สำหรับการผลิตเพื่อขายในตลาดเนื้อระดับพรีเมี่ยมต่อไป

การประเมินการเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของระบบการผลิตปศุสัตว์ที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการประเมินการเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของการผลิตแกะ จากการศึกษาของ Batalla et al. (2015) ได้รายงานการศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของระบบฟาร์มผลิตแกะให้น้ำนม จำนวน 12 ฟาร์ม ในเขตภาคเหนือของประเทศสเปน โดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินของพื้นที่แปลงหญ้าเลี้ยงแกะ โดยพบว่า มีปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์อยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.0-5.2 $kgCo_2eq$ /kg fat and protein corrected milk สำหรับการเลี้ยงแบบขังคอกจะมีการปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์น้อยกว่าการเลี้ยงแบบปล่อยในช่วงฤดูแล้ง แต่อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของแต่ละระบบการเลี้ยงเมื่อพิจารณาคำนวณค่าร่วมกับการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินของพื้นที่แปลงหญ้าเลี้ยงแกะ ซึ่งสอดคล้องกับ Jones et al. (2014) ได้รายงานผลการศึกษาวิจัยปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของฟาร์มเลี้ยงแกะ จำนวน 64 ฟาร์ม ในประเทศอังกฤษและ

ประเทศเวล์ โดยการประเมินแบบ Cradle-to-farm Gate โดยพิจารณาถึงความหลากหลายของแหล่งและโอกาสที่จะเกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบการผลิตแกะในรูปแบบต่าง ๆ พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าเท่ากับ 10.85, 12.85 และ 17.86 kgCO_2eq/kg live weight สำหรับระบบฟาร์มที่มีการเลี้ยงแกะบน พื้นราบ พื้นที่สูง และพื้นที่ภูเขา ตามลำดับ โดยคิดเป็นประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 33, 23 และ 34 % ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างของประสิทธิภาพในระบบการเลี้ยงและสามารถใช้เป็นแนวทางของภาครัฐในการลดช่องว่างระหว่างฟาร์มที่แย่และฟาร์มที่ดี เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแกะและลดการปล่อยคาร์บอนฟุตปริ้นท์จากการผลิตแกะของประเทศได้

การศึกษาการประเมินการเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของการผลิตกระบือ จากการศึกษาของ Pirlo et al. (2014) ได้ทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของฟาร์มกระบือนมจำนวน 6 ฟาร์ม ที่เลี้ยงในประเทศอิตาลี โดยพบว่า ขนาดฝูงมีจำนวน 360 ตัว ให้ผลผลิตน้ำนม 3,563 กิโลกรัม/ปี มีปริมาณองค์ประกอบของไขมันและโปรตีนในน้ำนมเท่ากับ 8.24 และ 4.57 % ตามลำดับ จากการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าเท่ากับ 3.75 kgCO_2eq FPCM โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยตรงจากการหมักย่อยภายในกระเพาะของสัตว์แล้วปลดปล่อยก๊าซที่เกิดขึ้นออกมาคิดเป็นร้อยละ 45 % และอีกส่วนเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยทางอ้อมคิดเป็นร้อยละ 25 % นอกจากนี้แล้วยังพบว่าเมื่อคิดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์เทียบเท่ากับค่าทางเศรษฐกิจ (Carbon footprint economic allocation, CFea) มีค่าเฉลี่ย 3.60 kgCO_2eq และจะมีค่าลดต่ำลงเป็น 3.45 และ 3.27 kgCO_2eq ถ้ามีการเพิ่ม 10 และ 20 % ของจำนวนกระบือที่โตเต็มวัน (แล้วพร้อมจะขายจำหน่ายออก) ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นได้ว่าค่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์เทียบเท่า CFea จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการขยายขนาดของฝูง

การศึกษาการประเมินก๊าซเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของการผลิตพืชอาหารสัตว์ จากการศึกษาของประพิธาริ์ และคณะ (2558) ได้รายงานการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์และพลังงานของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ในพื้นที่เพาะปลูก จำนวน 105 ไร่ โดยได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยพบว่า การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 38.23 kgCO_2eq/ตันผลผลิต หรือ 0.04 kgCO_2eq/kg โดยขั้นตอนการเพาะปลูกมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด รองลงมาคือขั้นตอนการเก็บเกี่ยว การเตรียมดิน และการเตรียมท่อนพันธุ์ มีค่าเท่ากับ 20.68, 9.98, 4.02 และ 3.55 kgCO_2eq/ตันผลผลิต ตามลำดับ และพบว่ามีการใช้พลังงานทั้งหมด 202.66 MJ/ตันผลผลิต โดยขั้นตอนการเก็บเกี่ยวใช้พลังงานมากที่สุด (119.30 MJ/ตันผลผลิต) และขั้นตอนการเตรียมท่อนพันธุ์ใช้พลังงานน้อยที่สุด (22.14 MJ/ตันผลผลิต)

2.11 การพัฒนาระบบการผลิตคาร์บอนต่ำในประเทศไทย

จากรายงานของ ยุวนันท์ (2554) ได้เสนอว่า ฉลากคาร์บอนฟุตปริ้นท์ (Carbon label) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ประเทศพัฒนานาแล้วหลายประเทศใช้เพื่อส่งเสริมให้การดำเนินการลดการปลดปล่อย

ก๊าซเรือนกระจก (GHG) ของประเทศไทยเป็นไปตามเป้าหมายภายใต้พิธีสารเกียวโต และช่วยบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันขอภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมของประเทศ สำหรับประเทศไทยได้เริ่มพัฒนางานด้านฉลากคาร์บอนฟุตปริ้นท์ เมื่อปลายปี 2551 สำหรับสินค้าและบริการคาร์บอนต่ำ โดยในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลาก CF 101 รายการ โดยกว่าร้อยละ 50 ของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลากเป็นผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหารและบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารและเครื่องดื่ม จากการประเมินศักยภาพของประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนกับโอกาสของประเทศไทยในการผลิตและส่งออกสินค้าเกษตรและอาหารคาร์บอนต่ำ ซึ่งจะเป็นการขยายการลงทุนด้านเกษตรและอาหารในอาเซียนเพิ่มขึ้นได้ โดยทั้งนี้ บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมได้รายงานผลการจัดทำฐานข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการเกษตรเสนอต่อ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยพบว่า ในปี พ.ศ. 2553 ภาคการเกษตรมีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นอันดับสองรองจากภาคพลังงาน ซึ่งประเทศมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดทำฐานข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตรให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นตามคู่มือการประเมินของ IPCC (2006) (IPCC Guideline) และสามารถสนับสนุนการจัดทำบัญชีในทุก 2 ปี ตามข้อตกลงระหว่างประเทศ เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ และการออกฉลากคาร์บอน เพื่อการมีส่วนร่วมในการลดปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทั้งในทางตรงและทางอ้อม โดยในการศึกษาได้จัดทำข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลผลิต ตามกรอบการคำนวณของ Cradle-to-farm gate ของสินค้าเกษตร 9 ชนิด รวมถึง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วย โดยพบว่า ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดพะเยาและเพชรบูรณ์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ย 256.12 $kgCO_2eq/ton$

การพัฒนาระบบการผลิตคาร์บอนต่ำในประเทศไทยนั้น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก., 2557) ได้ส่งเสริมให้มีการพัฒนาเครื่องหมายรับรองคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ขึ้น ตั้งแต่ปี 2552 เป็นต้นมา เพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคในการมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก และได้มีการพัฒนาต่อยอดการดำเนินการให้กับผู้ประกอบการเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตจนสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ลงจากเดิมได้ จนนำมาสุการเสนอหลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการใช้ “เครื่องหมายลดคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ให้ข้อมูลแก่ผู้บริโภคได้ทราบถึงว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการบริหารจัดการเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์และบริการลงจากเดิม เพื่อให้ผู้บริโภคใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าและบริการ 2) ส่งเสริมให้ผู้ผลิตใช้เทคโนโลยี วิธีการผลิต วิธีการจัดการที่ช่วยลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลง เพื่อส่งผลตอบแทนทางเศรษฐกิจแก่ผู้ผลิตในระยะยาว 3) ส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมของไทยทันกระแสโลก และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลก

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมและผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี กรณีศึกษาในเขตพื้นที่ ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพรชบุรี โดยแบ่งออกเป็น 2 การศึกษาย่อย ได้แก่ 1. การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำนมดิบจากฟาร์มโคนมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี 2. การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี โดยมีรายละเอียดของวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 การศึกษาที่ 1 การประเมินผลคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำนมในฟาร์มโคนมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

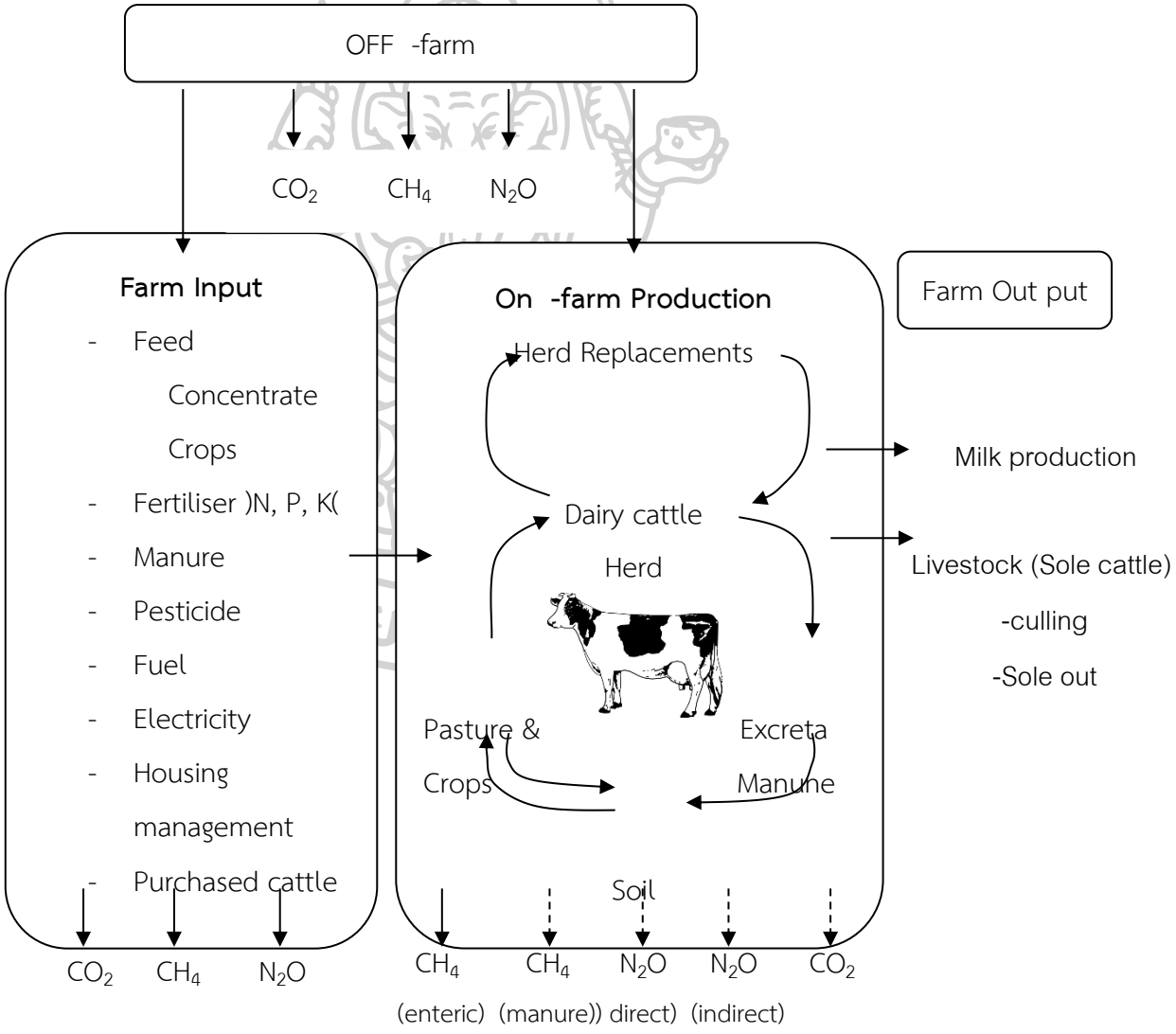
3.1.1 ขั้นตอนการศึกษา

1) เก็บรวบรวมข้อมูลฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรีให้คลอบคลุมทุกด้าน ทั้งทางด้านจำนวนโคนม, ปริมาณน้ำนมดิบ, ปริมาณการให้อาหารข้น, ปริมาณการให้อาหารหยาบ, การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง, การใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้น้ำในฟาร์ม เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment - LCA) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตน้ำนมดิบในฟาร์มโคนม โดยได้ทำการประเมิน LCA แบบ Business to Business (B to B) ซึ่งคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่กระบวนการจัดหาวัตถุดิบไปสู่กระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นภายในฟาร์ม ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ทั้ง OFF-Farm และ ON-Farm ที่เกิดขึ้นของฟาร์มโคนมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ดังแสดงภาพการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการศึกษาครั้งนี้ (ภาพที่ 29)

2) การประเมินหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

นำข้อมูลที่ได้ ตลอดรอบการผลิตเป็นระยะเวลา 1 ปี (ตั้งแต่ 1 กุมภาพันธ์ 2561 – 31 มกราคม 2562) มาทำนายปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก GHG จากแหล่งของที่มาในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ตัวสัตว์ โรงเรือน การจัดการมูล แปลงหญ้า และแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ (secondary source) (ภาพที่29) โดยการนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาคำนวณการผลิตก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญทั้ง 3 ชนิดหลักที่เกิดขึ้นภายในฟาร์มโคนม ตามวิธีการคำนวณโดยใช้สมการผลิตก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 (Chianese et al., 2009b) สมการผลิตก๊าซมีเทน CH_4 (Chianese et al., 2009c) และสมการผลิตก๊าซไนตรัสออกไซด์ N_2O (Chianese et al., 2009d) โดยคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในหน่วยของ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) ซึ่งเทียบจากศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Global Warming Potential: GWP) ที่แตกต่างกัน ดังนี้ ก๊าซคารบอนไดออกไซด มีค่าเป็น 1 และคา GWP ของก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด มีค่าเป็น 23 และ 296 ตามลำดับ (IPCC, 2001; IPCC, 2007) จากนั้นจึงนำข้อมูลของค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) มาหาเป็นผลรวมที่ได้ทั้งหมดของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ผลิตและปล่อยจากการผลิตในฟาร์มโคนม



ภาพที่ 29 แผนผังการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2.1) การศึกษาในครั้งนี้แบ่งโคออกเป็น 5 กลุ่มคือ โครีดนม, โคแห้งนม, โคสาวท้อง, ลูกโค-โครุ่น และโคนมเพศผู้ขุน ทำการประเมินน้ำหนักโคเดือนละ 1 ครั้ง โดยใช้สมการทำนายน้ำหนักตัว ที่มีความเหมาะสมกับโคนมในประเทศไทย (วิโรจน์ และคณะ, 2550) ดังแสดงในตารางที่ 12 แล้วนำน้ำหนักที่ได้จากสมการของโคแต่ละกลุ่มมารวมกันเพื่อนำไปคำนวณเป็นหน่วยปศุสัตว์ (Livestock Unit: **LU**) โดย 1 LU = น้ำหนักตัวสัตว์มีชีวิต 500 กิโลกรัม (Chianese et al., 2009b)

ตารางที่ 13 สมการทำนายน้ำหนักตัวโค

ช่วงอายุ	สมการที่ใช้
ช่วงลูกโคแรกเกิดถึงหย่าน้ำนม	น้ำหนักตัว =72.447 −2.331 + (รอบอก)0.025 (รอบอก)^2
ช่วงโคหลังหย่านมถึงโคท้องแรก	น้ำหนักตัว - =4.86 −0.72 + (รอบอก)0.02 (รอบอก)^2
ช่วงโครีดน้ำนม	น้ำหนักตัว =4304.792 −70.428+ (รอบอก) 0.387(รอบอก)^2 -0.0006 (รอบอก)^3

ที่มา: วิโรจน์ และคณะ (2550)

2.2) แหล่งที่มาและการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโรงเรือนทำได้โดยการคำนวณพื้นที่ของโรงเรือน (ตารางเมตร) และปริมาณการสะสมของมูลในโรงเรือน (ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งโรงเรือนของฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรีซึ่งมีโรงเรือนแบบหน้าจั่ว 2 ชั้น จำนวน 3 โรงเรือนโดยมีการเลี้ยงแบบปล่อยในคอกอิสระ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก แสดงในตารางที่ 14

2.3) แหล่งที่มาและการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการมูลทำได้โดยบันทึกรูปแบบการจัดการมูลของฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรีทุกโรงเรือนซึ่งมีการจัดการมูลโดยเก็บมูลในช่วงฤดูแล้งทุก 6 เดือนเพื่อนำมูลไปใส่ในแปลงหญ้าของฟาร์ม และบันทึกปริมาณมูล (ลูกบาศก์เมตร) ตลอดรอบปีการผลิต แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก แสดงในตารางที่ 14

2.4) แหล่งที่มาและการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแปลงหญ้าทำได้โดยการบันทึกข้อมูลชนิดพันธุ์หญ้า จำนวนพื้นที่แปลงหญ้า (ha) ชนิดของปุ๋ยที่ใช้ในแปลงหญ้า และจำนวนปุ๋ยที่ใช้ในแปลงหญ้า ตลอดรอบปีการผลิต โดยฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรีมีการปลูกหญ้าพันธุ์รูซี่ ใส่ปุ๋ยมูลโคทุก 6 เดือน และมีการเสริมด้วยปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ทุก 90 วัน แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก แสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

แหล่งข้อมูล	ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	
Animals	
Lactating cows	3,120 kg CO_2LU^{-1}
Non-lactating cows	2,020 kg CO_2LU^{-1}
Heifer	2,800 kg CO_2LU^{-1}
Housing	
Barn floor	-
Manure storage	17 kg CO_2m^{-1}
Croplands	
Grass	-6,396 kg CO_2ha^{-1}
Alfalfa	-6343 kg CO_2ha^{-1}
Corn silage	-17,745 kg CO_2ha^{-1}
Corn grain	-8,873 kg CO_2ha^{-1}
Field-applied manure	140 kg CO_2m^{-3}
Total cropland	-
มีเทน (CH_4)	
Animals	
Lactating cows	106 kg CH_4LU^{-1}
Dry cows	58 kg CH_4LU^{-1}
Replacement heifers	77 kg CH_4LU^{-1}
Housing	
Barn floor	-
Manure storage	5.6 kg CH_4m^{-3}
Croplands	
Grass	-1.4 kg CH_4ha^{-1} $year^{-1}$
Alfalfa	-2.6 kg CH_4ha^{-1} $year^{-1}$
Corn	-1.5 kg CH_4ha^{-1} $year^{-1}$
Field-applied manure	-
Total cropland	-

แหล่งข้อมูล	ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	
Animals	
Lactating cows	-
Dry cows	-
Replacement heifers	-
Housing	0.3 kg LU^{-1}
Barn floor	
Manure storage	0.13 m^{-3}
Croplands	
Grass	1.7 kg ha^{-1}
Alfalfa	4.0 kg ha^{-1}
Corn	4.1 kg ha^{-1}
Field-applied manure	-
Total cropland	-

ที่มา: สมการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 (Chianese et al., 2009b)

สมการผลิตก๊าซมีเทน CH_4 (Chianese et al., 2009c)

สมการผลิตก๊าซไนตรัสออกไซด์ N_2O (Chianese et al., 2009d)

2.5) แหล่งที่มาและการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิทำได้โดยการบันทึก ปริมาณ เชื้อเพลิง (ลิตร) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่งน้ำนมดิบ น้ำมันเชื้อเพลิงในการจัดการแปลงหญ้า การตัดหญ้า และกิจกรรมอื่น ๆ ในฟาร์มตลอดรอบปีการผลิต และการบันทึกข้อมูลการใช้ทรัพยากร ไฟฟ้า (kWh) เครื่องจักรกล (แรงม้า (HP)) ปุ๋ย (กิโลกรัม) ยาฆ่าแมลง (กิโลกรัม) พลาสติก (กิโลกรัม) และการซื้อขายโคแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ แสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ

แหล่งข้อมูล	ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ
เชื้อเพลิง	2.708 kg of CO_2e /L of Fuel
ไฟฟ้า	0.561 kg of CO_2e /kWh of Electricity use
เครื่องจักรกล	3.54 kg of CO_2e /kg of Machinery mass
ปุ๋ย	3.307, 1.026 and 0.867 kg of CO_2e /kg of each fertilizer N, P and K
ยาฆ่าแมลง	22 kg of CO_2e /kg of Pesticide use
พลาสติก	2.0 kg of CO_2e /kg of Plastic use
การซื้อขายโค	11 kg of CO_2e /kg of BW)Heifers purchased and brought onto the farm(

ที่มา: Rotz et al. (2010)

3) การประเมินหาค่า Allocated to milk

ทำได้โดยการคำนวณจาก ปริมาณการผลิตน้ำนมดิบที่ได้ตลอดทั้งปี รวมกับการให้ผลผลิตของโคกลุ่มอื่น ๆ ที่อยู่ในฟาร์ม เช่น โคแห้งนม โคสาว และลูกโค และการคัดโคขายจากฟาร์ม ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของฟาร์มรโคนม ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้นำค่าปริมาณน้ำนมที่ได้รวมระหว่างผลผลิตน้ำนม และผลผลิตสัตว์ที่เป็นผลผลิตจากฟาร์ม เพื่อคำนวณประเมินหาค่า allocated to milk (Rotz et al., 2010) ดังแสดงในสมการ

$$F_m = \frac{\mathrm{MILK}}{(2.8\,N_{cow} \times BW_{cow} + 6.5\,N_{calf} \times BW_{calf} + \mathrm{MILK})}$$

เมื่อ

F_m คือ ส่วนประกอบของการปลดปล่อยก๊าซในน้ำนม

MILK คือ ปริมาณน้ำนมโคที่ขายตลอดทั้งปี (กิโลกรัม)

N_{cow} คือ ปริมาณโคที่ขายในฟาร์มตลอดทั้งปี (ตัว)

BW_{cow} คือ น้ำหนักโคที่ขายเฉลี่ย (กิโลกรัม)

N_{calf} คือ ปริมาณลูกโคที่ขายในฟาร์มตลอดทั้งปี (ตัว)

BW_{calf} คือ น้ำหนักลูกโคที่ขายเฉลี่ย (กิโลกรัม)

4) การประเมินหาค่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในผลผลิตน้ำนมของฟาร์มโคนม

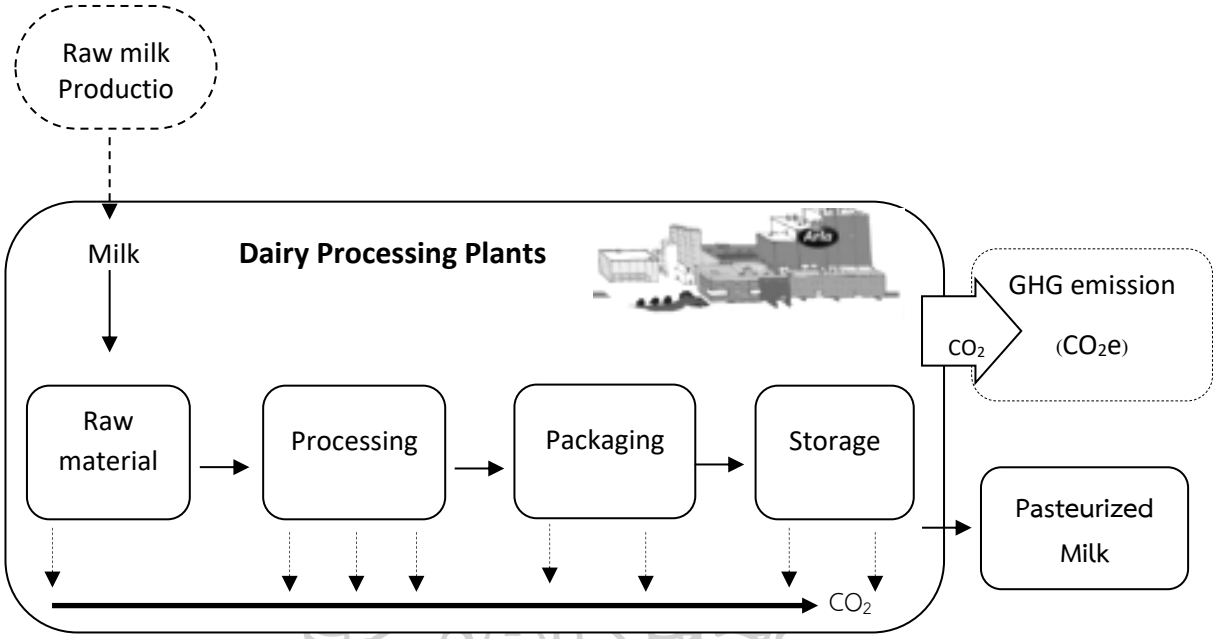
ทำได้โดยการนำค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่เกิดขึ้น (Total GHG emission) ที่เกิดจากแหล่งที่มาต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตของฟาร์ม ร่วมกับค่า Allocated to milk จากปริมาณการผลิตน้ำนมดิบที่ได้ตลอดทั้งปี รวมกับการให้ผลผลิตของโคกลุ่มอื่น ๆ ที่อยู่ภายในฟาร์ม แล้วนำเทียบกับปริมาณผลผลิตน้ำนมรวมที่คิดต่อตัวแม่โค เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลผลิตน้ำนมในฟาร์มโคนม (Rotz et al., 2010) ดังแสดงในสมการ

$$\text{Carbon footprint} = \frac{\text{Total GHG emission} \times \text{Allocated to milk}}{\text{Annual Milk production/cow}}$$

3.2 การศึกษาที่ 2 การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

3.2.1 ขั้นตอนการศึกษา

1) เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี โดยคลอบคลุมตลอดกระบวนการผลิตตั้งแต่การเก็บรักษาน้ำนมดิบ, การพาสเจอร์ไรซ์, การบรรจุ, การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์, การขนส่งผลิตภัณฑ์, การล้างทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องจักรและการจัดการน้ำทิ้ง เพื่อน้ำข้อมูลที่ได้มาทำ การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment - LCA) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม โดยได้ทำการประเมิน LCA แบบ Business to Business (B to B) ซึ่งคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ดังแสดงภาพการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์นมในการศึกษาครั้งนี้ (ภาพที่ 30)



ภาพที่ 30 แผนผังการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการแปรรูปผลิตภัณฑ์นม

2) การเก็บข้อมูลประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต

ทำได้โดยการเก็บข้อมูล ณ โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ซึ่งมีกำลังการผลิต 700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปริมาณการผลิตเฉลี่ย 5.60 ตันต่อวัน ผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์จำหน่ายในรูปแบบบรรจุถุงและบรรจุขวดส่งขายในตลาดนมโรงเรียนภายในประเทศ นอกจากนมดิบแล้วทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์ประกอบด้วยไฟฟ้า น้ำมันดีเซล น้ำประปา บรรจุภัณฑ์ สารทำความสะอาดและน้ำยาฆ่าเชื้อในการทำความสะอาดแบบ CIP ในรอบการผลิต 1 ปี (1 กุมภาพันธ์ 2561 – 31 มกราคม 2562)

3) การประเมินหาปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์

ทำได้โดยการกำหนด หน่วยของผลิตภัณฑ์ในการศึกษาครั้งนี้ คือ นมจืดพาสเจอร์ไรซ์ชนิดถุง หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ที่ผลิตโดยโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี (ภาพที่ 30) โดยประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ 1) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตต้นน้ำ (upstream processes) ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ และ 2) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตหลัก (core

processes) ได้แก่ กระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) (ภาพที่ 31) ของกรณีศึกษา ณ โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

ภาพที่ 31 นมบรรจุถุงขนาด 200 มิลลิลิตร

โดยการศึกษานี้ได้ใช้ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของทรัพยากรแต่ละชนิดที่ศึกษาในกระบวนการผลิต โดยคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในหน่วยของ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) ต่อ 1 หนึ่งหน่วยของทรัพยากรที่ใช้สำหรับการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 16

3.1) แหล่งที่มาและการประเมินปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตต้นน้ำ (upstream processes)

3.1.1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำนมดิบประเมินโดยการบันทึกปริมาณการใช้น้ำนมดิบตลอดรอบปีการผลิต ทำการบันทึกข้อมูลทุกครั้งที่มีการผลิตแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้มาจากการศึกษาที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 16

3.1.1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตบรรจุภัณฑ์ ซึ่งโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรีใช้บรรจุภัณฑ์ชนิด ฟิล์มพลาสติก ประเมินโดยบันทึกปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์ในการผลิตทำการบันทึกข้อมูลทุกครั้งที่มีการผลิตตลอดรอบปีการผลิตแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) ดังแสดงในตารางที่ 16

3.2) แหล่งที่มาและการประเมินปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตหลัก (core processes) ได้แก่

3.2.1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรด (กรดไนตริก) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดในระบบการแปรรูปผลิตภัณฑ์นม เพื่อช่วยละลายตะกรันนมในระบบท่อนมและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สัมผัสน้ำนม ประเมินโดยบันทึกปริมาณการใช้กรดทุกครั้งในการผลิตตลอดรอบปีการผลิตแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก IPCC (2007) ดังแสดงในตารางที่ 16

3.2.2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากด่าง (โซดาไฟ) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดในระบบการแปรรูปผลิตภัณฑ์นม เพื่อช่วยละลายอนุภาคของโปรตีน ไขมันและตะกอนแข็งให้อ่อนนุ่มลงทั้งในระบบท่อนมและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สัมผัสน้ำนม ประเมินโดยบันทึกปริมาณการใช้ด่างทุกครั้งในการผลิตตลอดรอบปีการผลิตแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553) ดังแสดงในตารางที่ 16

3.2.3) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม (หน่วย กิโลวัตชั่วโมง: kWh) ซึ่งไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี เนื่องจากเครื่องจักรทั้งหมดในโรงงานใช้พลังงานจากไฟฟ้าประกอบไปด้วยส่วนหลัก ๆ คือ ระบบการรับและเก็บรักษาน้ำนมดิบ ระบบการพาสเจอไรซ์ ระบบการบรรจุ ระบบการเก็บรักษาบรรจุภัณฑ์ ระบบการล้างทำความสะอาด และระบบการควบคุมคุณภาพ (ห้องปฏิบัติบัติการตรวจสอบคุณภาพน้ำนม) ประเมินโดยบันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้าในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมเดือนละ 1 ครั้ง ตลอดรอบปีการผลิตแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553) ดังแสดงในตารางที่ 16

3.2.4) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากน้ำมันดีเซลที่ใช้ในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมโดยน้ำมันดีเซลที่ใช้มาจาก 3 ส่วนได้แก่ น้ำมันดีเซลที่ใช้ในเครื่องปั่นไฟ (ใช้สำรองกรณีไฟฟ้าดับ) น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่งน้ำนมดิบ และน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่งบรรจุภัณฑ์ (ฟิล์ม) ประเมินโดยบันทึกปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล จากทุกกิจกรรมในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมสัปดาห์ละ 1 ครั้งตลอดรอบปีการผลิตแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553) ดังแสดงในตารางที่ 16

3.2.5) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากน้ำประปาที่ใช้ในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม ซึ่งน้ำประปามีความสำคัญต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์นมใช้ใน 2 ส่วนหลักของการผลิตได้แก่ ทำเป็นน้ำเย็นเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนอุณหภูมินม และน้ำประปาที่ใช้ในการทำความสะอาดระบบท่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงาน ประเมินโดยบันทึกปริมาณการใช้น้ำประปาจากทุกกิจกรรมในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมสัปดาห์ละ 1 ครั้งตลอดรอบปีการผลิตแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจกโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553) ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

แหล่งของ	ค่าแฟกเตอร์ (EF)	อ้างอิง
น้ำนมดิบ	xxxx ($kgCO_2e$/kg milk)	ข้อมูลผลที่ได้จากการศึกษาที่ ที่ทำการทดสอบในฟาร์มโคนม 1
บรรจุภัณฑ์	6000.2($kgCO_2e$/kg film)	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
กรด	0298.0($kgCO_2e$/ml HCl)	IPCC (2007)
ด่าง	0240.0($kgCO_2e$/kg NaOH)	คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553)
ไฟฟ้า	5610.0($kgCO_2e$/kWh)	คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553)
น้ำมันดีเซล	7080.2($kgCO_2e$/L)	คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553)
น้ำประปา	0.0260 (kgCO2e/L)	คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553)

4) การประเมินหาค่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์

ทำได้โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมในรอบการผลิต 1 ปี ที่ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำนมดิบ จากกระบวนการผลิตต้นน้ำ (upstream processes) และข้อมูลของปริมารการใช้ทรัพยากรต่างๆ จากกระบวนการผลิตหลัก (core processes) ได้แก่ ไฟฟ้า น้ำมันดีเซล น้ำประปา บรรจุภัณฑ์ สารทำความสะอาดและน้ำยาฆ่าเชื้อในการทำความสะอาด แล้วนำมาคำนวณกับค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ทรัพยากรในการผลิต โดยคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในหน่วยของ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) ต่อ 1 หนึ่งหน่วยของทรัพยากรที่ใช้สำหรับการผลิต ดังสมการต่อไปนี้

$$E = EF \times AD$$

E = ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO_2e/หน่วยทรัพยากร)

EF = ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO_2e/หน่วยทรัพยากร)

AD =ปริมาณการใช้ทรัพยากรแต่ละชนิด (กิโลกรัมกิโลวัตชั่วโมง/ลิตร/)

จากนั้นจึงนำข้อมูลของค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) มาหาเป็นผลรวมที่ได้ทั้งหมดของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ผลิตและปล่อยจากกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ใน

ตลอด รอบการผลิต 1 ปี แล้วจึงมาเทียบต่อจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในรอบ 1 ปี เพื่อประเมินหาค่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ (kg CO_2eq/200 ml.) ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของกรณีศึกษา ณ โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Discriptive statistic) หาค่าเฉลี่ย ค่าพิสัยเบี่ยงเบน ค่าสูง-ค่าต่ำ เพื่อนำมาคำนวณค่าทางคณิตศาสตร์และรายงานผล

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาที่ 1 การประเมินผลคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำนมในฟาร์มโคนม

1) ข้อมูลพื้นฐานของฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ตลอดรอบการผลิต ระยะเวลา 1 ปี (ตั้งแต่ 1 กุมภาพันธ์ 2561 – 31 มกราคม 2562) ที่ประกอบด้วย ข้อมูลจำนวนโคและการแบ่งกลุ่มโคนมภายในฟาร์ม (แสดงในตารางที่ 17) ข้อมูลน้ำหนักตัวของโคและการค่าเทียบหน่วย Live Unit (แสดงในตารางที่ 18-22) ข้อมูลปริมาณผลผลิตน้ำนมดิบของฟาร์ม (แสดงในตารางที่ 23) ข้อมูลปริมาณทรัพยากรที่ใช้ภายในฟาร์ม (แสดงในตารางที่ 24) ได้แก่ ปริมาณการให้อาหารข้น, ปริมาณการให้อาหารหยาบ หญ้าสด หญ้าแห้ง, การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เบนซิน ดีเซล, และการใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ 17 ข้อมูลจำนวนโค (ตัว) แบ่งกลุ่มตามระยะของการผลิตโคนม ในรอบการผลิต 1 ปี

เดือน	โครีดนม	โคแห้งนม	โคสาวท้อง	ลูกโคโครุ่น-	โคนมเพศผู้ขุน	รวม
ก.พ.	24	11	1	41	36	113
มี.ค.	25	10	1	41	36	113
เม.ย.	26	9	1	42	36	114
พ.ค.	28	8	0	42	36	114
มิ.ย.	28	8	0	43	36	115
ก.ค.	24	12	1	41	36	114
ส.ค.	23	11	2	41	21	98
ก.ย.	23	11	2	41	21	98
ต.ค.	22	11	4	39	21	97
พ.ย.	23	11	4	40	20	98
ธ.ค.	23	10	4	40	20	97
ม.ค.	22	11	5	39	20	97
avg	24.25	10.25	2.08	40.83	28.25	105.67
min	22	8	0	39	20	97
max	28	12	5	43	36	115

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยจำนวนตัวสัตว์ในฟาร์ม เท่ากับ 105.67 (ซึ่งจะใช้อ้างอิงข้อมูลในการคำนวณต่อไป)

ตารางที่ 18 ข้อมูลน้ำหนักตัวของโครีดนม และค่าเทียบหน่วย Live Unit (LU) ในรอบการผลิต 1 ปี

เดือน	โครีดนม			
	จำนวน (ตัว)	นน รวม (กก.)	เฉลี่ย (กก.)	LU (กก.)
ก.พ.	24	12,216	509	24.43
มี.ค.	25	13,120	525	26.24
เม.ย.	26	13,916	535	27.83
พ.ค.	28	15,112	540	30.22
มิ.ย.	28	15,389	550	30.78
ก.ค.	24	12,959	540	25.92
ส.ค.	23	12,561	546	25.12
ก.ย.	23	12,792	556	25.58
ต.ค.	22	12,346	561	24.69
พ.ย.	23	13,352	581	26.70
ธ.ค.	23	13,597	591	27.19
ม.ค.	22	13,172	599	26.34
avg	24	13,378	553	26.76
min	22	12,216	509	24.43
max	28	15,389	599	30.78

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 19 ข้อมูลน้ำหนักตัวของโคแห้งนม และค่าเทียบหน่วย Live Unit (LU) ในรอบการผลิต ปี 1

เดือน	โคแห้งนม			
	จำนวน (ตัว)	นน รวม (กก.)	เฉลี่ย (กก.)	LU (กก.)
ก.พ.	11	6,345	577	12.69
มี.ค.	10	5,779	578	11.56
เม.ย.	9	5,354	595	10.71
พ.ค.	8	4,678	585	9.36
มิ.ย.	8	4,787	598	9.57
ก.ค.	12	7,553	629	15.11
ส.ค.	11	6,939	631	13.88
ก.ย.	11	7,101	646	14.20
ต.ค.	11	7,266	661	14.53
พ.ย.	11	6,618	602	13.24
ธ.ค.	10	6,772	677	13.54
ม.ค.	11	7,604	691	15.21
avg	10	6,400	622	12.80
min	8	4,678	577	9.36
max	12	7,604	691	15.21

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 20 ข้อมูลน้ำหนักตัวของโคสาวท้อง และค่าเทียบหน่วย Live Unit (LU) ในรอบการผลิต ปี 1

เดือน	โคสาวท้อง			
	จำนวน (ตัว)	นน รวม (กก.)	เฉลี่ย (กก.)	LU (กก.)
ก.พ.	1	370	370	0.74
มี.ค.	1	379	379	0.76
เม.ย.	1	387	387	0.77
พ.ค.	-	-	-	-
มิ.ย.	-	-	-	-
ก.ค.	1	290	290	0.58
ส.ค.	2	577	288	1.15
ก.ย.	2	590	295	1.18
ต.ค.	4	1,310	327	2.62
พ.ย.	4	1,341	335	2.68
ธ.ค.	4	1,372	343	2.74
ม.ค.	5	1,709	342	3.42
avg	2	694	280	1.39
min	-	-	-	-
max	5	1,709	387	3.42

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 21 ข้อมูลน้ำหนักตัวของลูกโค โครุ่น และค่าเทียบหน่วย-Live Unit (LU) ในรอบการผลิต ปี 1

เดือน	ลูกโค - โครุ่น			
	จำนวน (ตัว)	นน รวม (กก.)	เฉลี่ย (กก.)	LU (กก.)
ก.พ.	41	4,931	120	9.86
มี.ค.	41	5,273	129	10.55
เม.ย.	42	5,674	135	11.35
พ.ค.	42	6,068	144	12.14
มิ.ย.	43	6,509	151	13.02
ก.ค.	41	6,623	162	13.25
ส.ค.	31	4,774	154	9.55
ก.ย.	31	5,097	164	10.19
ต.ค.	29	4,757	164	9.51
พ.ย.	30	5,109	170	10.22
ธ.ค.	30	5,454	182	10.91
ม.ค.	29	5,827	201	11.65
avg	36	5,508	156	11.02
min	29	4,757	120	9.51
max	43	6,623	201	13.25

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 22 ข้อมูลน้ำหนักตัวของโคนมเพศผู้ขุน และค่าเทียบหน่วย Live Unit (LU) ในรอบการผลิต ปี 1

เดือน	โคนมเพศผู้ขุน			
	จำนวน (ตัว)	นน รวม (กก.)	เฉลี่ย (กก.)	LU (กก.)
ก.พ.	36	15,218	423	30.44
มี.ค.	36	16,296	453	32.59
เม.ย.	36	17,450	485	34.90
พ.ค.	36	18,686	519	37.37
มิ.ย.	36	20,010	556	40.02
ก.ค.	36	21,427	595	42.85
ส.ค.	31	13,023	420	26.05
ก.ย.	31	13,945	450	27.89
ต.ค.	31	14,933	482	29.87
พ.ย.	30	15,454	515	30.91
ธ.ค.	30	16,549	552	33.10
ม.ค.	30	17,721	591	35.44
avg	33	16,726	503	33.45
min	30	13,023	420	26.05
max	36	21,427	595	42.85

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 23 ข้อมูลปริมาณผลผลิตน้ำนมดิบของฟาร์ม ในรอบการผลิต 1 ปี

เดือน	วันเลี้ยง (วัน)	โครีด (ตัว)	น้ำนม รวม (กก.เดือน/)	ไขมัน (%)	ผลผลิตน้ำนมรวมเฉลี่ย (กก.ตัว/)	ผลผลิตน้ำนมรวมเฉลี่ย (กก.(วัน/)	น้ำนม เฉลี่ย (กก./ตัว/วัน)
ก.พ.	28	24	4,766	4.03	198.52	170.21	7.09
มี.ค.	31	25	5,592	4.03	223.82	180.39	7.22
เม.ย.	30	26	6,139	4.09	236.10	204.63	7.87
พ.ค.	31	28	7,353	4.23	262.57	237.19	8.47
มิ.ย.	30	28	6,421	4.09	229.20	214.03	7.64
ก.ค.	31	24	5,759	4.29	239.95	185.77	7.74
ส.ค.	31	23	5,410	4.31	235.28	174.52	7.59
ก.ย.	30	23	5,188	4.19	225.60	172.93	7.52
ต.ค.	31	22	4,900	4.50	222.59	158.06	7.18
พ.ย.	30	23	4,559	4.48	198.30	151.97	6.61
ธ.ค.	31	23	5,262	4.33	228.78	169.74	7.38
ม.ค.	31	22	4,740	4.07	215.45	152.90	6.95
รวม	**365**	**-**	**66,089.00**	**-**	**2,716.18**	**-**	**-**
avg	30	24.25	5,507.42	4.22	226.35	181.03	7.44
min	28	22	4,559.00	4.03	198.30	151.97	6.61
max	31	28	7,353.00	4.50	262.57	237.19	8.47

หมายเหตุ: ผลผลิตน้ำนมรวมทั้งฟาร์ม ในรอบการผลิต 1 ปี มีค่าเท่ากับ 66,089 กิโลกรัมต่อปี

ผลผลิตน้ำนมรวมเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 2,716.18 กิโลกรัมต่อตัวต่อปี

คำนวณหา ค่าผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนม (Allocated to milk, %) ได้จาก

F_m = MILK / (2.8 N_{cow} x BW_{cow} + 6.5 N_{calf} x BW_{calf} + MILK)

เมื่อ F_m คือ ส่วนประกอบของการปลดปล่อยก๊าซในน้ำนม (Allocated to milk, %)

MILK คือ ปริมาณน้ำนมโคที่ขายตลอดทั้งปี (กิโลกรัม) = 66,089 กิโลกรัม

N_{cow} คือ ปริมาณโคที่ขายในฟาร์มตลอดทั้งปี (ตัว) = 17 ตัว

BW_{cow} คือ น้ำหนักโคที่ขายเฉลี่ย (กิโลกรัม) = 725.98 กิโลกรัม

N_{calf} คือ ปริมาณลูกโคที่ขายในฟาร์มตลอดทั้งปี (ตัว) = 3 ตัว

BW_{calf} คือ น้ำหนักลูกโคที่ขายเฉลี่ย (กิโลกรัม) = 36.67 กิโลกรัม

F_m = 66,089 / [(2.8 x 17 x 725.98) + (6.5 x 3 x 36.67) + 66,089] = 0.6518 คิดเป็น 65.18%

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนมในรอบปี (Allocated to milk, %) ของฟาร์ม = 65.18%

ตารางที่ 24 ข้อมูลปริมาณทรัพยากรที่ใช้ภายในฟาร์ม ในรอบการผลิต 1 ปี

เดือน	อาหารข้น (กก.)	อาหารหยาบ (กก.)		น้ำมันเบนซิน (ลิตร)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	ไฟฟ้า (kWh)
		หญ้าสด	หญ้าแห้ง			
ก.พ.	1500	3000	120	20	150	360
มี.ค.	1500	2500	150	15	100	380
เม.ย.	1500	2500	150	15	100	400
พ.ค.	1400	3000	100	15	150	380
มิ.ย.	1400	3000	50	20	150	380
ก.ค.	1400	3500	0	20	150	360
ส.ค.	1400	3500	0	20	200	360
ก.ย.	1300	3500	0	20	200	360
ต.ค.	1300	3500	0	15	200	360
พ.ย.	1300	3500	0	20	200	380
ธ.ค.	1300	3500	0	20	200	380
ม.ค.	1400	3500	100	20	200	360
รวม	**16,700**	**38,500**	**670**	**220**	**2,000**	**4,460**
avg	1,391.67	3,208.33	55.83	18.33	166.67	371.67
min	1300	2500	0	15	100	360
max	1500	3500	150	20	200	400

2) แหล่งที่มาและปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมของฟาร์มโคนม

จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้ แล้วนำมาทำการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment - LCA) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตน้ำนมดิบในฟาร์มโคนมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ตลอดรอบการผลิตเป็นระยะเวลา 1 ปี (ตั้งแต่ 1 กุมภาพันธ์ 2561 – 31 มกราคม 2562) ซึ่งมีแหล่งของที่มาในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ตัวสัตว์ โรงเรือน

การจัดการมูล แปลงหญ้า และแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ (secondary source) โดยมีการผลิตก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในฟาร์มโคมโดยได้รายงานค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมที่เกิดขึ้น ในหน่วยของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) ดังแสดงรายละเอียดของแหล่งที่มาและปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมของการทำฟาร์มโคนมในรอบ 1 ปี (ดังแสดงในตารางที่ 24-26)

ตารางที่ 25 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสม จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ ในรอบ 1 ปี

แหล่งข้อมูล	**ค่าสัมประสิทธิ์**	**ค่าพารามิเตอร์ของฟาร์ม**	**การปล่อย** CO_2 (kg)	**การปล่อยรวมในรอบปี** ($kgCO_2e$)	**การปล่อย/ตัว**[1/] (kg CO_2e of/cow)
เชื้อเพลิง	2.708 kg of CO_2e /L	7,636	20,678.28	20,678.28	195.07
ไฟฟ้า	0.561 kg of CO_2e /kWh	4,460	2,502.06	2,502.06	23.17
เครื่องจักรกล	3.54 kg of CO_2e /kg of Machinery mass	7,800	27,612	27,612	260.49
ปุ๋ย	3.307 kg of CO_2e /kg of N	2,500	8,267.50	8,267.50	78.00
ยาฆ่าแมลง	22 kg of CO_2e /kg of Pesticide use	-	-	-	-
พลาสติก	2.0 kg of CO_2e /kg of Plastic use	1,025	2,050	2,050	19.34
การซื้อขายโค	11 kg of CO_2e /kg of BW	1,400	15,400	15,400	145.28
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) รวม					**35.721**

หมายเหตุ : [1/]คิดค่าเฉลี่ยจำนวนตัวสัตว์ในฟาร์ม 105.67 (อ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 17)

ตารางที่ 26 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมในการผลิตนมดิบ ในรอบ 1 ปี

แหล่งที่ประเมิน	การประเมินผลการปล่อย CO_2			การปล่อยรวมในรอบปี ($kgCO_2e$)	การปล่อย/ตัว[1/] ($kg\ CO_2e$ of/cow)
	ค่าสัมประสิทธิ์	ค่าพารามิเตอร์ของฟาร์ม	การปล่อย CO_2 (kg)		
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)					
ตัวสัตว์					98.2,249
โครีดนม	3,120 kg CO_2LU^{-1}	26.76 LU	83,491	83,491	11.790
โคแห้งนม	2,020 kg CO_2LU^{-1}	12.80 LU	25,856	25,856	69.244
โคสาวท้อง	2,800 kg CO_2LU^{-1}	1.39 LU	3,892	3,892	83.36
ลูกโคโครุ่น-	2,800 kg CO_2LU^{-1}	11.02 LU	30,856	30,856	00.292
โคนมเพศผู้ขุน	2,800 kg CO_2LU^{-1}	33.45 LU	93,660	93,660	34.886
การจัดการมูล	17 kg CO_2m^{-3}	585.00 m^3	9,945	9,945	11.94
แปลงหญ้า					72.1,354-
หญ้า[/2]	-6,396 kg CO_2ha^{-1}	41.60 ha	-266,073.6	-266,073.6	97.2,517-
มูลที่ใช้ในแปลงหญ้า	140 kg CO_2m^{-3}	878.00 m^3	122,920	122,920	24.1,163
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) รวม			**104,546.60**	**104,546.60**	**1,000.86**
มีเทน (CH_4)					
ตัวสัตว์					17.1,682
โครีดนม	106 kg CH_4LU^{-1}	26.76 LU	2,837	70,914	09.671
โคแห้งนม	58 kg CH_4LU^{-1}	12.80 LU	742	18,560	64.175
โคสาวท้อง	77 kg CH_4LU^{-1}	1.39 LU	107	2,676	32.25
ลูกโคโครุ่น-	77 kg CH_4LU^{-1}	11.02 LU	849	21,214	75.200
โคนมเพศผู้ขุน	77 kg CH_4LU^{-1}	33.45 LU	2,576	64,391	36.609
การจัดการมูล	5.6 kg CH_4m^{-3}	585.00 m^3	3,276	81,900	05.775
แปลงหญ้า (รูซี่)[/2]	-1.4 kg CH_4ha^{-1} $year^{-1}$	41.60 ha	-58.24	-1,456	78.13-
ปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) รวม			**10,328**	**258,199**	**2,443.44**
ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)					
โรงเรือน	0.3 kg LU^{-1}	85.42 LU	2563.	7,636.55	27.72
การจัดการมูล	0.13 m^{-3}	585.00 m^3	76.05	22,662.90	47.214
แปลงหญ้า (รูซี่)[3/]	1.7 kg ha^{-1}	41.60 ha	70.72	21,0745.6	44.199
ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) รวม			**172.40**	**51,374.01**	**486.17**
รวมการปล่อย				**414,119.11**	**3,918.98**

หมายเหตุ : [1/]คิดค่าเฉลี่ยจำนวนตัวสัตว์ในฟาร์ม = 105.67 (อ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 17)

[2/]แปลงหญ้ารูซี่ที่ปลูกในฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรีมีการนำปุ๋ยคอก (มูลโค) ใส่ในแปลงทุก 6 เดือน

[/3]แปลงหญ้ารูซี่ที่ปลูกในฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรีมีการให้ปุ๋ยยูเรีย (0-0-46) ทุก 3 เดือน

ตารางที่ 27 แหล่งของที่มาและปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมของการทำฟาร์มโคนมในรอบ 1 ปี

แหล่งที่มา	**คาร์บอนไดออกไซด์** (kg $CO_2$of/cow)	**มีเทน** (kg $CH_4$of/Cow)		**ไนตรัสออกไซด์** (kg N_2O of/Cow)		**รวม**
	CO_2	CH_4	CO_2e[/1]	N_2O	CO_2e[/1]	CO_2e
ตัวสัตว์	2,249.98	29.67	17.1,682	-	-	3,932.14
โรงเรือน	-	-	-	24.0	72.27	72.27
การจัดการมูล	94.11	00.31	05.775	0.72	21447.	1,083.64
แปลงหญ้า	1-,354.72	55.0-	78.13-	0.67	199.44	-1,169.06
แหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ [2/]	721.35					721.35
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวม (kg of CO_2e/Cow)						**4,640.33**
ค่าผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนม (%) [3/]						18.65
ค่าผลผลิตน้ำนมรวมเฉลี่ย (kg milk/Cow) [4/])						2,865.39
ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ (kg of CO_2e/kg milk)						
ผลการศึกษาในครั้งนี้ [5/]						**1.11**
มธุรส และ วิโรจน์ (2556)						0.89
Verge et al. (2013)						0.93-1.12
Mc Geough et al. (2012)						0.92
Flysjo et al. (2011)						0.83-1.56

หมายเหตุ : [/1] ค่า 1 CO_2e ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 1, ก๊าซมีเทน มีค่าเท่ากับ 25 CO_2e, และก๊าซไนตรัสออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 298 CO_2e

[2/] ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมจากแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ (อ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 25)

[/3]ค่าเฉลี่ยผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนม (Allocated to milk, %) ของฟาร์ม = 65.18% (อ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 13)

/4ค่าผลผลิตน้ำนมรวมเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 2,716.18 กิโลกรัมต่อตัวต่อปี (อ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 23)

/5ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนฟุตปรินท์ คำนวณหาได้จาก

$$\text{Carbon footprint} = \frac{\text{Total GHG emission x Allocated to milk}}{\text{Annual Milk production/cow}}$$

$$= [\ 4{,}640.33 \times (65.18\ /100)] \ /\ 2{,}716.18$$

คาร์บอนฟุตปรินท์ = 1.11 kg of CO2e/kg milk

3) ปริมาณการผลิตน้ำนมดิบในฟาร์ม และค่าเปอร์เซ็นต์ผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนม (Allocated to milk)

ข้อมูลที่รวบรวมปริมาณผลผลิตน้ำนมดิบของฟาร์ม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.44 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันซึ่งมีผลผลิตน้ำนมรวมต่อตัวต่อปีมีค่าเท่ากับ 2,716.18 กิโลกรัมต่อตัว ไขมันในน้ำนมเฉลี่ย 4.22 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตน้ำนมรวมของฟาร์มตลอดทั้งปีเท่ากับ 66,089 กิโลกรัม และคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนม (allocated to milk) ในรอบการผลิต 1 ปี (ตารางที่ 23) โดยในระยะเวลารอบการผลิต 1 ปี ทางฟาร์มได้มีการบันทึกข้อมูลการคัดแม่โคออกจากฟาร์ม จำนวน 17 ตัว มีน้ำหนักเฉลี่ย 725.98 กิโลกรัม/ตัว และมีการคัดลูกโคออก จำนวน 3 ตัว มีน้ำหนักเฉลี่ย 36.67 กิโลกรัม/ตัว โดยโคที่คัดออกทั้งแม่โคและลูกโคที่น้ำหนักตัวแตกต่างกันได้ถูกนำมาคิดประเมินเป็นค่าส่วนประกอบของการปลดปล่อยก๊าซในน้ำนมร่วมด้วย (allocated to milk, %) โดยผลการคำนวณพบว่า ค่าเฉลี่ยผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนมใน 1 รอบปีการผลิตของฟาร์ม มีค่าเท่ากับ 65.18 %

การศึกษาในครั้งนี้ พบว่าค่าผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนม มีค่าเท่ากับ 65.18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนมจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลผลิตน้ำนมที่ขายทั้งปี (กิโลกรัม), จำนวนลูกโคที่ขายทั้งปี (ตัว), จำนวนโคที่ขายทั้งปี (ตัว), และน้ำหนักลูกโคและโคที่ขายเฉลี่ยทั้งปี (กิโลกรัม) ของแต่ละฟาร์ม จากการศึกษาของ Rotz et al. (2010) รายงานว่า โดยทั่วไปค่าผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนม ที่มีการปล่อย GHG สุทธิเท่ากับ 90 ถึง 94 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้การศึกษาในครั้งนี้ ค่าผลรวมสู่ผลผลิตน้ำนมมีค่าต่ำกว่าที่รายงานไว้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของปริมาณผลผลิตน้ำนมรวมและจำนวนของโคและน้ำหนักตัวของโคที่ขายของแต่ละฟาร์มที่มีความแตกต่างกัน

4) การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas; GHG)

การปล่อย GHG จากฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี พบว่าจากตัวสัตว์มีการปล่อยก๊าซ CH_4 สูงสุด มีเท่ากับ 67.29 กิโลกรัมของ CH_4 ต่อตัว (ตารางที่ 27) จากการศึกษาของ มธุรสและวิโรจน์ (2556) รายงานว่าการปล่อยก๊าซ CH_4 ในตัวสัตว์มีค่าสูงที่สุด 32.17 กิโลกรัมของ CH_4 ต่อตัว ซึ่งปริมาณการปล่อยก๊าซ CH_4 จากตัวสัตว์มาจากกระบวนการหมักย่อยในกระเพาะรูเมน ซึ่งการศึกษาของ Rotz et al. (2010) รายงานว่าปริมาณการปล่อยก๊าซ CH_4 จากตัว

สัตว์ในการเลี้ยงโคแบบขังคอก ในฟาร์มที่มีโค 60 ตัว ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย 8,500 กิโลกรัมต่อตัว มีค่าเท่ากับ 233 กิโลกรัมของ CH_4 ต่อตัว ทั้งนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซ CH_4 มีความแตกต่างกันนั้น อาจเนื่องมาจากขนาดของตัวสัตว์, ผลผลิตน้ำนม, ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง, สัดส่วนของอาหารหยาบที่ใช้ในสูตรอาหาร และการจัดการฟาร์ม (Chianese et al., 2009b) ส่วนการปล่อยก๊าซ N_2O จากแปลงหญ้ามีค่าสูงสุด และจะเห็นได้ว่าปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 จากแปลงหญ้ามีค่าติดลบ เนื่องจากพืชมีการสะสมก๊าซ CO_2 ในต้นพืชเมื่อมีการเก็บเกี่ยวจึงทำให้ค่าที่ได้ติดลบ ส่วนการปล่อย GHG น้ำมันเชื้อเพลิงมีการปล่อย GHG เท่ากับ 195.07 กิโลกรัมของ CO_2e และจากการใช้ไฟฟ้าและเครื่องจักรที่นำมาใช้ในฟาร์ม มีการปล่อย GHG เท่ากับ 526.28 กิโลกรัมของ CO_2e การศึกษาครั้งนี้จะมีค่าต่ำกว่าของ มธุรสและวิโรจน์ (2556) ที่ศึกษาในฟาร์มเกษตรกรจังหวัดขอนแก่น (4,932.67) กิโลกรัมของ CO_2e

การศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ปริมาณการปล่อย GHG จากฟาร์มโคนมรวม 5,809.40 $kgCO_2e$ (คิดเป็น 100 %) โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นมาจากตัวสัตว์ (67.69 %) การจัดการมูล (18.65 %) จากแหล่งที่มาขั้นทุติยภูมิ (12.42 %) และการจัดการโรงเรือน (1.24 %) โดยคิดเป็นการปล่อยเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 3,932.14, 1,083.64, 721.35 และ 72.27 $kgCO_2e$ ตามลำดับ แต่จะเห็นได้ว่ากิจกรรมของแปลงหญ้ามีส่วนช่วยในการกักเก็บคาร์บอนได้ออกไซด์ไว้ได้จึงมีค่าเป็นลบเท่ากับ -1,169.06 $kgCO_2e$ ดังนั้นผลรวมของการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมที่ปล่อยจากฟาร์มโคนมมีค่าเท่ากับ 4,640.33 กิโลกรัมของ CO_2e (ตารางที่ 27) ซึ่งจะชี้ให้เห็นได้ว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากตัวสัตว์ (67.69 %) ที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยแล้วถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (38.73 %) และก๊าซมีเทน (28.96 %) ตามลำดับ จากการศึกษาของ Rotz et al. (2010) เลี้ยงโคแบบขังคอก จำนวน 60 ตัว พบว่าปริมาณการปล่อย GHG รวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 6,372 กิโลกรัมของ CO_2e และการเลี้ยงโคแบบขังคอก จำนวน 500 ตัว พบว่าปริมาณการปล่อย GHG ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 5,753 กิโลกรัมของ CO_2e ซึ่งพบว่าการเลี้ยงโคปล่อยแปลงหญ้าจะมีปริมาณการปล่อย GHG ต่ำกว่าในการเลี้ยงแบบขังคอก ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับแหล่งของการปล่อย GHG และการจัดการฟาร์มที่แตกต่างกัน จึงทำให้ปริมาณการปล่อย GHG แตกต่างกัน

ประสิทธิภาพของการผลิตโคนมภายในฟาร์มร่วมกับการใช้ประโยชน์ได้จากอาหารโดยโคนมจะมีผลต่อการผลิตและปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของฟาร์มโคนมได้ จากการศึกษาของ Guyader et al. (2017) ได้รายงานผลการศึกษาเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเลี้ยงโคนมด้วยอาหารพื้นฐานที่ใช้ข้าวโพดเปรียบเทียบกับการใช้ข้าวบาร์เลย์ของระบบการผลิตโคนมในภาคตะวันออกของประเทศแคนาดา (โดยการใช้ข้าวโพดหรือข้าวบาร์เลย์ 54.4%, หญ้าแห้ง 5.5% และอาหารข้น 40.1% ในการเลี้ยงโคนม) พบว่า ผลผลิตน้ำนมเฉลี่ย 34.7 และ 31.9 กิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบการเลี้ยงโคนมด้วยอาหารพื้นฐานที่ใช้ข้าวโพด

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลดร้อยละ 13 เมื่อเทียบกับระบบการเลี้ยงโคนมด้วยอาหารพื้นฐานที่ใช้ข้าวบาร์เลย์ ซึ่งผลของความแตกต่างที่เกิดขึ้นมาจากการหมักย่อยได้ของอาหารภายในกระเพาะหมักของโคนมซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนสู่ภายนอก โดยพบว่า การใช้วัตถุดิบอาหารที่มีค่าการย่อยได้ที่สูง (high digestibility) จะมีผลต่อการช่วยลดการผลิตและปล่อยก๊าซมีเทนของระบบการเลี้ยงโคนมได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Knapp et al. (2014) ได้ทำการวิจัยศึกษาข้อมูลการปล่อยก๊าซมีเทนจากฟาร์มเลี้ยงโคนมในปะเทศสหรัฐอเมริกา แล้วทำการประเมินโอกาสและแนวทางในการลดผลกระทบการปล่อยก๊าซมีเทน โดยพบว่า จากข้อมูลที่ผ่านมาชี้ให้เห็นได้ว่า ผลของโภชนาการและการให้อาหารโคสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนลดลดได้ 2.5-15 % แต่ผลจากการปรับปรุงด้านพันธุกรรมและการจัดการจะส่งผลต่อการช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนลดลงได้ 15-30 %

นอกจากนี้แล้ววิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกยังสามารถทำได้แตกต่างกัน โดยทั้งนี้ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบและรายงานผลของวิธีการศึกษา โดย (Cunha et al., 2016) ได้รายงานการศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบการเลี้ยงโคนมในประเทศบราซิลที่ใช้วิธีการประเมินการปล่อยก๊าซมีเทนที่แตกต่าง 2 วิธี (การใช้ SF_6 กับการใช้สมการทำนายของ IPCC) ผลการศึกษาพบว่า การทดสอบในระดับสถานีวิจัยได้ผลการประเมินไม่แตกต่างกันระหว่าง 2 วิธีที่ทำการศึกษา แต่เมื่อทำการทดสอบในระบบฟาร์มพบว่า การประเมินโดยใช้สมการทำของ IPCC นั้นจะให้ผลที่ได้ต่ำกว่า ซึ่งความแตกต่างนี้เกิดจากการเลือกใช้วิธีการประเมินที่แตกต่างกันดังกล่าวนั้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Brien et al. (2011) ได้รายงานการศึกษาผลของวิธีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบการเลี้ยงโคนม จำนวน 9 ฟาร์ม ที่มีการใช้หญ้าเป็นอาหารพื้นฐานในประเทศไอแลนด์ ด้วยวิธีการประเมินที่ใช้ 2 วิธี คือ การใช้ IPCC และ LCA พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระว่างวิธีที่ใช้ประเมิน และได้เสนอแนะเพิ่มเติมว่าเพื่อให้เกิดความถูกต้องการรายงานควรในหน่วยของผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ซึ่งจะมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น และพบว่า ระบบการผลิตแบบเน้นการให้ผลผลิตสูงของโคนมสูง (High production North American) จะมีความสัมพันธ์กับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่มากที่สุด

ระบบการเลี้ยงโคนมที่แตกต่างกันมีส่วนสำคัญต่อการผลิตและปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากฟาร์มโคนมที่แตกต่างกันได้ จากการศึกษาของ Brien et al. (2014) ได้ทำการศึกษาการเลี้ยงโคนม 3 ระบบ ได้แก่ การเลี้ยงแบบทุ่งหญ้าในประเทศไอแลนด์ (high pasture-grass base) และการเลี้ยงแบบปราณีตขังคอก (Top performance) ในประเทศอังกฤษและอเมริกา พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบการเลี้ยงในประเทศไอแลนด์ อังกฤษ และอเมริกา มีค่าเท่ากับ 837, 884 และ 898 $kgCO_2eq/t$ of ECM ซึ่งระบบการเลี้ยงแบบทุ่งหญ้าในประเทศไอแลนด์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่า 5 และ 7 % ของการเลี้ยงแบบปราณีตขังคอกในประเทศอังกฤษและอเมริกาตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kristensen et al. (2011) ได้รายงานผลการศึกษาวิจัย

การทำฟาร์มเลี้ยงโคนมในประเทศเดนมาร์ก ของระบบการทำฟาร์มโคนมแบบปกติ (conventional farm) จำนวน 35 ฟาร์ม มีจำนวนแม่โคนมเฉลี่ย 122 ตัว มีพื้นที่ฟาร์มเฉลี่ย 127 เฮกแตรก เปรียบเทียบกับระบบการทำฟาร์มโคนมอินทรีย์ (organic farm) จำนวน 32 ฟาร์ม มีจำนวนแม่โคนมเฉลี่ย 115 ตัว มีพื้นที่ฟาร์มเฉลี่ย 178 เฮกแตรก พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าเท่ากับ 1.27 และ 1.20 kgCO_2eqECM ของระบบการทำฟาร์มโคนมอินทรีย์และการทำฟาร์มแบบปกติ ตามลำดับ โดยพบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นภายในฟาร์ม (on-farm) 98 และ 88 % สำหรับระบบการทำฟาร์มโคนมอินทรีย์และการทำฟาร์มแบบปกติ ตามลำดับ ทั้งนี้ได้เสนอแนะว่า การลดอัตราการปล่อยแทะเล็ม (stock rate, SR) จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้อีกทางหนึ่งด้วย

การศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบระบบการเลี้ยงโคนอินทรีย์ในประเทศไทยโดย Thongplew et al. (2016) ได้ศึกษาวิจัยการพัฒนาปฏิรูปอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมสู่ความยั่งยืนโดยเปรียบเทียบกรณีศึกษาอุตสาหกรรมโคนมอินทรีย์ในประเทศเนเธอแลน์กับประเทศไทย พบว่า มีข้อแตกต่างในการสนับสนุนและเสริมในการพัฒนาอุตสาหกรรมโคนมอินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยระบบการสื่อสารทางสังคม (Social network system) ของประเทศเนเธอแลน์มีความเชื่อมโยงและมีประสิทธิภาพกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศไทย โดยเฉพาะการมีส่วนร่วมในความร่วมมือทางสังคม (CSR) ทางด้านเศรษฐกิจ การสนับสนุนโดยภาครัฐบาล การร่วมมือกันทางสังคม ซึ่งมีการเชื่อมโยงสนับสนุนและร่วมมือกันได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าในประเทศไทย โดยการดำเนินงานผ่านกระบวนการกลยุทธ์การสร้างความร่วมมือทางสังคมและการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางสังคม ซึ่งมีส่วนสำคัญที่จะต้องได้รับการสนับสนุนจากภาคสังคมและภาครัฐบาลของประเทศ

5) ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในผลผลิตน้ำนม

การประเมินผลปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี พบว่า การผลิตน้ำนม 1 กิโลกรัม มีการปล่อยคาร์บอนฟุตปริ้นท์เท่ากับ 1.11 กิโลกรัม CO_2e ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ตารางที่ 27) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานผลการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในประเทศไทยทำการศึกษาโดย มธุรสและวิโรจน์ (2556) ศึกษาในฟาร์มโคนมของเกษตรกรในจังหวัดขอนแก่น ที่เลี้ยงในระบบปล่อยแทะเล็มแปลงหญ้าร่วมกับเสริมฟางข้าวและเสริมอาหารข้นให้กินในระหว่างมื้อรีดนม พบว่าค่าผลรวมของการปล่อยก๊าซรวม เท่ากับ 5,141.12 กิโลกรัม CO_2e และค่าผลรวม สู่ผลผลิตน้ำนม เท่ากับ 88.87 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมมีค่าเท่ากับ 0.89 กิโลกรัมของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ซึ่งปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์จะขึ้นอยู่กับปริมาณการปล่อย GHG ทั้งหมดในฟาร์ม ผลผลิตน้ำนมรวมในรอบปีต่อตัว และปริมาณโคที่ขายในฟาร์ม

จากการศึกษาของ Mc Geough et al. (2012) โดยการประเมินปริมาณการปล่อย GHG พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าเท่ากับ 0.92 กิโลกรัม CO_2e ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ส่วนการศึกษาของ

Flysjo et al. (2011) ศึกษาคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มประเทศสวีเดน ที่มีการเลี้ยงโคแบบขังคอก พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์อยู่ระหว่าง 0.83 ถึง 1.56 กิโลกรัม CO_2e ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) ส่วน Verge et al. (2013) ศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในประเทศแคนนาดา พบว่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์อยู่ระหว่าง 0.93 ถึง 1.12 กิโลกรัม CO_2e ต่อกิโลกรัมน้ำนม (ECM) อย่างไรก็ตาม ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตน้ำนม ปริมาณผลรวมของการปล่อย GHG ของแต่ละฟาร์มและการจัดการฟาร์มของแต่ละฟาร์ม ซึ่งเมื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุต ปริ้นท์มีค่าต่ำแสดงว่าให้เห็นว่าในฟาร์มมีการจัดการฟาร์มที่ดี มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้แล้ว มธุรส และ วิโรจน์ (2557) ได้รายงานการประเมินผลคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมสถานีทดลองและฝึกอบรมเกษตรกรรมร้อยเอ็ด โดยใช้โคนมจำนวน 227 ตัว เป็นโคนมสายพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเซียน 96.5% แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ โคพักรีด, โครีดน้ำนม, โคสาว, โครุ่น และลูกโค ทำการบันทึกข้อมูลปริมาณการกินได้ ผลผลิตน้ำนม น้ำหนักตัวสัตว์ การเก็บสะสมมูลในฟาร์ม การใช้น้ำมัน และการใช้ไฟฟ้าในฟาร์ม เพื่อประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่ปล่อยจากฟาร์มโคนม พบว่า ผลรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 6,271.28 $kgCO_2eq$ (คิดเป็นค่าผลรวมสู่การผลิตน้ำนม 67.98 %) และมีค่าผลผลิตน้ำนมรวมทั้งปีต่อตัว 4,019.65 กิโลกรัม เมื่อทำการประเมินผลปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าเท่ากับ 1.04 $kgCO_2eq/kgECM$ (กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อกิโลกรัมของผลลผลิตน้ำนมที่มีการปรับค่าพลังงานในน้ำนม) โดยทั้งนี้ได้วิจารณ์ผลของค่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่วัดประเมินได้มีค่าสูงเนื่องมาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องสำคัญมาจากปริมาณการกินได้และการย่อยได้ของโคนมต่ำ และมีปริมาณอาหารที่เหลือทิ้งจากฟาร์มสูง ซึ่งสอดคล้องกับ มธุรส และ วิโรจน์ (2556) ได้รายงานการประเมินผลคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมจังหวัดขอนแก่น โดยใช้โคนมสายพันธุ์โฮสไตน์ฟรีเซียน จำนวน 91 ตัว แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มได้แก่ โคพักรีด, โครีดน้ำนม, โคสาว, โครุ่น และลูกโค ทำการบันทึกข้อมูลปริมาณการกินได้ ผลผลิตน้ำนม และน้ำหนักตัวสัตว์ เพื่อประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่ปล่อยจากฟาร์มโคนม พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าเท่ากับ 0.89 $kgCO_2eq/kgECM$ (กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อกิโลกรัมของผลลผลิตน้ำนมที่มีการปรับค่าพลังงานในน้ำนม) โดยพบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่ปล่อยจากฟาร์มโคนม ส่วนใหญ่มาจากตัวสัตว์ ซึ่งเป็นการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) สูงที่สุด โดยทั้งนี้ได้วิจารณ์ผลของค่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่วัดประเมินได้ มีความแตกต่างกันนั้นมาจากหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของฟาร์ม ปริมาณผลผลิตน้ำนม การจัดการให้อาหาร และการจัดการมูลของแต่ละฟาร์ม ซึ่งค่าปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่ต่ำแสดงว่าฟาร์มมีการบริหารจัดการฟาร์มที่ดี

ประสิทธิภาพของการผลิตโคนมภายในฟาร์มร่วมกับการใช้ประโยชน์ได้จากอาหารโดยโคนมจะมีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตปรินท์ที่เกิดขึ้นโดยตัวสัตว์ซึ่งเป็นแหล่งที่สำคัญ จากการศึกษาของ Gollnow et al. (2014) ได้รายงานว่า การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของฟาร์มโคนที่เลี้ยงในประเทศ

ออสเตเลีย จำนวน 139 ฟาร์ม ที่ทำการศึกษาเก็บข้อมูลทั้ง on-farm และ off-farm ตลอดระยะเวลา 1 ปี (July 2009 – June 2010) โดยใช้วิธีการประเมินแบบ Cradle-to-farm Gate พบว่า มีการปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์เท่ากับ 1.11 kgCO_2eq/kg fat and protein corrected milk โดยความแตกต่างของแต่ละฟาร์มที่ประเมินเป็นผลมาจากความแตกต่าง 2 ปัจจัยที่สำคัญ คือ ความแตกต่างของประสิทธิภาพในการผลิตของฟาร์ม โดยเฉพาะประสิทธิภาพในการใช้อาหารซึ่งจะมีส่วนในการลดการหมักเกิดก๊าซมีเทนในการย่อย และความแตกต่างของประสิทธิภาพในการจัดการมูลที่เกิดขึ้นภายในฟาร์ม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Flysijo et al. (2011) ได้รายงานปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์และผลกระทบของการผลิตนมในประเทศนิวซีแลนด์ (ระบบการเลี้ยงแบบปล่อย) และประเทศสวีเดน (ระบบการเลี้ยงแบบขังคอก) โดยทำการศึกษาเก็บข้อมูลทั้ง on-farm และ off-farm แล้วประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์แบบ LCA โดยคำนวณออกมาในรูปของหน่วยน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ปรับค่าพลังงานของน้ำนมแล้ว (kgCO_2eq/kg ECM) โดยพบว่า ปัจจัยของปริมาณการกินได้สิ่งแห้ง (Dry matter intake, DMI) มีผลอย่างมากต่อการหมักย่อยผลิตก๊าซมีเทนแล้วปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกฟาร์ม และการใช้ค่าคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor) ที่แตกต่างกันของแต่ละประเทศมีผลต่อความแตกต่างของการประเมินที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบผลกันด้วย นอกจากนี้แล้ว Mc Geough et al. (2012) ได้รายงานกรณีศึกษา ผลการประเมิน LCA การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตโคนมในเขตภาคตะวันออกของประเทศแคนาดา ที่ทำการประเมินมากกว่า 6 ปี ด้วยโคนมพันธุ์โฮสไตล์ฟีเชี่ยน ที่เลี้ยงแบบขังคอกและให้อาหารโดยใช้พืชอาหารสัตว์ร่วมกับเมล็ดธัญพืช พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าเท่ากับ 0.92 kgCO_2eq/kg of fat- and protein corrected milk yield โดยคิดเป็นสัดส่วนของปริมาณก๊าซมีเทนร้อยละ 56 % ซึ่งเกิดขึ้นจากการหมักย่อยภายในกระเพาะหมักของสัตว์ (86%) คิดเป็นสัดส่วนของปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ร้อยละ 40นอกจากนี้แล้วยัง พบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นรวมทั้งหมด มาจากการผลิตขึ้นโดยแม่โครีดนม (64 %) และเกิดจากโครุ่นที่มีอายุ 1 ปี และลูกโค มีค่าคิดเป็นร้อยละ 10 และ 3 ตามลำดับ โดยทั้งนี้ได้เสนอแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เกิดขึ้นโดยการหมักย่อยจากกระเพาะหมักของโค โดยเฉพาะแม่โครีดนม ซึ่งจะให้ผลที่ได้ชัดเจนกว่าการจัดการในลูกโคหรือโครุ่นในฝูง

การจัดการฟาร์มและการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตที่ดีขึ้นจะมีส่วนสำคัญต่อการลดปริมาณคาร์บอนฟุตปรินท์ได้ต่อเนื่องอีกด้วย จากการศึกษาของ Capper et al. (2014) ได้รายงานผลการศึกษาวิจัยผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากระบบการเลี้ยงโคนมในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทำการเปรียบเทียบจากระบบการเลี้ยงสมัยใหม่ (ปี ค.ศ. 2007) กับระบบการเลี้ยงแบบเก่า (ปี ค.ศ. 1994) ซึ่งพบว่า ระบบการเลี้ยงโคนมสมัยใหม่มีปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ลดลง (37%) โดยเกิดจากการปลดปล่อยของเสียออกจากระบบการผลิตลดลงคือ การปล่อยมูลลดลง (24%) การปล่อยก๊าซมีเทน

ลดลง (43%) การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ลดลง (56%) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hermansen and Kristesen (2011) ได้เสนอแนวทางการจัดการเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในระบบการผลิตปศุสัตว์ โดยการเลือกใช้อาหารที่มีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ได้ดี การเลือกใช้อาหารที่มีการเพิ่มการสะสมของคาร์บอนในดินได้ดีกว่าการปล่อยคาร์บอนสู่ชั้นบรรยากาศ มีการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ทดแทนการใช้ปุ๋ยสังเคราะห์ และการใช้มูลสัตว์เพื่อการผลิตเป็นพลังงานชีวภาพ ซึ่งจะเป็นแนวทางที่พัฒนาการผลิตสัตว์ให้มีประสิทธิภาพร่วมกับการใช้ประโยชน์ของดินและอาหารสัตว์ในการจัดการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตปริ้นท์ได้ทั้งระบบ นอกจากนี้แล้ว Mogensen et al. (2014) ได้ศึกษาวิธีการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของการผลิตอาหารสำหรับฟาร์มโคในประเทศเดนมาร์ก โดยคิดคำนวณรวมทั้งหมดของ การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดิน การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์ที่ขับถ่าย พบว่า แนวทางหนึ่งที่สำคัญคือการใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์เป็นปุ๋ยซึ่งจะเป็นการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยสังเคราะห์ได้และช่วยลดปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของระบบการผลิตอาหารสัตว์ในแปลงหญ้าสำหรับการเลี้ยงโคได้

นอกจากนี้แล้วระบบการเลี้ยงแบบขังเปรียบเทียบกับแบบปล่อยแปลงยังมีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตปรินท์ที่แตกต่างกันได้ จากการศึกษาของ Guerci et al. (2014) ได้รายงานผลการวิจัยระบบการผลิตโคนในประเทศอิตาลี พบว่า ฟาร์มโคนมที่มีการจัดการเลี้ยงแบบปล่อยแปลงให้โคได้แทะเล็มในช่วงฤดูร้อนระยะเวลา 3 เดือน (summer grazing) เปรียบเทียบกับการเลี้ยงแบบปราณีต (intensive system) พบว่า ฟาร์มที่ไม่มีการปล่อยแปลงให้ทะเล็ม (no grazing) จะมีปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์สูงกว่า และมีต้นทุนในการจัดหาอาหารข้นเข้าในฟาร์มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Flysijo et al. (2012) ได้รายงานการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของฟาร์มโคนมในประเทศสวีเดน โดยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตนมและเนื้อและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ (land use change, LUC) พบว่า ระบบการทำฟาร์มเลี้ยงโคนมอินทรีย์ จะมีการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ดิน LUC ได้สูงกว่า (50 %) และมีปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ต่ำกว่า (40 %) เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการทำฟาร์มเลี้ยงโคนมแบบปกติที่เน้นการให้ผลผลิตน้ำนมสูง (High yield system) แต่มีการใช้ประโยชน์ได้พื้นที่ดินต่ำกว่าและมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและคาร์บอนฟุตปริ้นท์สูงขึ้นในระบบสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cooper et al. (2011) ได้รายงานผลการศึกษาประเมิน LCA การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตอาหารแบบระบบอินทรีย์เปรียบเทียบกับการผลิตแบบปกติ ร่วมกับการใช้หรือไม่ใช้พลังงานชีวภาพ พบว่า การผลิตอาหารแบบระบบอินทรีย์จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ และยังชี้ให้เห็นว่าการใช้พลังงานชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบการผลิตอาหารได้อีกทางหนึ่งร่วมด้วยนอกจากนี้แล้วการศึกษาทั้งระบบของฟาร์มโคนมนั้นมีความสำคัญต่อการลดและควบคุมปริมาณคาร์บอนฟุตปรินท์ได้อีกแนวทางหนึ่งเช่นกัน จากการศึกษาของ (Crosson et al., 2011) ได้รายงานการศึกษาผลการวิจัยจำนวน 31 ผลงานตีพิมพ์ ที่มีการปรับปรุงเพิ่มผลผลิตของการเลี้ยงโคและการปรับปรุงประสิทธิภาพ

การสืบพันธุ์ ของระบบการทำฟาร์มเลี้ยงโคเนื้อโคนมในประเทศไอแลนด์ ชี้ให้เห็นว่า การศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของฟาร์มทั้งระบบ (Whole farm system) มีความสำคัญและสามารถใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาปรับปรุงการวัดประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์และใช้เป็นกลยุทธ์ในการควบคุมและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบการผลิตปศุสัตว์ได้อีกทางหนึ่ง

จากการศึกษาของ Rotz et al. (2010) ได้รายงานผลการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของระบบการผลิตโคนม โดยการประเมินแบบ partial LCA โดยทำการประเมินแหล่งของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก 2 แหล่งหลักที่สำคัญ คือ 1) Primary emission ประกอบด้วย การหมักย่อยภายในกระเพาะของสัตว์ การขับถ่ายมูล การใช้พื้นที่แปลงหญ้าในการผลิตอาหารสัตว์ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องจักรกลในฟาร์ม 2) Secondary emission ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตที่ใช้ภายในฟาร์ม เช่น เชื้อเพลิง ไฟฟ้า เครื่องจักรกล ปุ๋ย ยาปราบศัตรูพืช การใช้พลาสติก การซื้อ-ขายสัตว์ และการประเมินสมดุลคาร์บอนไดออกไซด์จากการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในดิน พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าระหว่าง 0.37 – 0.69 kgCO_2eq/kg ECM ซึ่งผลที่ได้ขึ้นอยู่กับระดับปริมาณผลผลิตน้ำนม การให้อาหาร การจัดการและใช้ประโยชน์ของมูลสัตว์ในฟาร์ม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Casey and Holden (2006) ได้รายงานผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบการผลิตน้ำนมในประเทศไอแลนด์ พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1.50 และ 1.30 kgCO_2eq/kg/yr สำหรับการเทียบค่าทางเศรษฐกิจในการผลิตนมและเนื้อตามลำดับ โดยพบว่า ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทั้งหมด ส่วนใหญ่มาจากกระบวนการหมักย่อยในกระเพาะของสัตว์ (49 %) การใช้ปุ๋ย (21 %) การใช้อาหารข้น (13 %) และการจัดการมูลสัตว์ (11 %) การใช้ไฟฟ้าและน้ำมันดีเซล (5 %) โดยพบว่า การดูแลจัดการฟาร์มฝูงแม่โครีดนมที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 14-18 % แต่ถ้าเป็นการลดขนาดฝูงโดยการลดจำนวนโคที่ไม่ให้ผลผลิตลงจะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 14-26 % และถ้าสามาถทำได้ร่วมกันทั้งแนวทางการจัดการฝูงแม่โครีดนมให้มีประสิทธิภาพร่วมกับการลดขนาดฝูงโดยลดจำนวนโคที่ไม่ให้ผลผลิตจะยิ่งสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มาก 28-33 % ซึ่งทางภาครัฐอาจใช้เป็นแนวทางในการออกเป็นนโยบายในการทำฟาร์มโคนมของประเทศได้ต่อไป

4.2 ผลการศึกษาที่ 2 การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม

1) ข้อมูลพื้นฐานของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ตลอดรอบการผลิต ระยะเวลา 1 ปี (ตั้งแต่ 1 กุมภาพันธ์ 2561 – 31 มกราคม 2562) ที่ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณการผลิตนมบรรจุถุง (แสดงในตารางที่ 28) ข้อมูลการสูญเสียน้ำนมในกระบวนการผลิต (แสดงในตารางที่ 29) และข้อมูลปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิต (แสดงในตารางที่ 30) ได้แก่ ฟิล์มบรรจุภัณฑ์, ไฟฟ้า, น้ำประปา, น้ำมันดีเซล, สารทำความสะอาด

2) แหล่งที่มาและปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์

จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้ แล้วนำมาทำการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment - LCA) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม ณ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ตลอดรอบการผลิตเป็นระยะเวลา 1 ปี (ตั้งแต่ 1 กุมภาพันธ์ 2561 – 31 มกราคม 2562) ซึ่งการคำนวณได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ตารางที่ 31) โดยพิจารณาตามแหล่งของที่มาเพื่อคำนวณและสามารถประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาได้ตามแหล่งที่มาต่างๆ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสม และปริมาณคาร์บอนฟุตปรินท์จากกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ โดยได้รายงานค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมที่เกิดขึ้น ในหน่วยของ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) ดังแสดงในตารางที่ 32

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 28 ข้อมูลปริมาณการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ บรรจุถุง ขนาด 200 มิลลิลิตร ในรอบการผลิต 1 ปี

วันที่	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1	10,246	-	-	-	8,459	8,995	11,818	-	12,470	-	-	13,453
2	-	-	-	-	-	7,868	-	8,647	-	7,545	11,270	12,721
3	7,273	-	-	-	8,430	-	7,848	11,846	-	-	10,766	10,644
4	12,568	-	-	-	7,095	10,147	-	-	-	7,594	-	-
5	-	-	-	-	-	-	7,771	11,245	-	11,819	-	-
6	10,222	-	-	-	9,920	7,470	10,822	-	-	-	8,207	9,920
7	-	-	-	-	-	-	-	7,820	-	7,520	-	12,619
8	11,398	-	-	-	8,162	7,640	11,870	-	-	6,719	-	-
9	-	-	-	-	-	12,890	6,917	10,119	-	6,744	-	9,947
10	9,525	-	-	-	8,235	-	-	12,693	-	-	9,020	4,743
11	12,772	-	-	-	9,946	11,866	-	-	-	7,548	9,742	6,845
12	-	-	-	-	3,496	-	-	13,669	-	11,795	-	-
13	11,171	-	-	-	10,035	7,903	9,617		-	-	10,641	7,573
14	-	-	-	-	-	-	-	7,642	-	10,424	-	10,769
15	10,793	-	-	-	8,063	8,019	12,220		-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	12,940	-	7,744	-	6,415	11,448	9,474
17	7,948	-	-	-	8,235	-	7,688	10,920	-	-	-	6,691
18	12,922	-	-	13,012	13,005	12,366	-	-	-	-	13,742	-
19	-	-	-	-	-	-	7,553	7,819	-	-	12,418	-
20	8,093	-	-	7,315	11,582	7,887	11,718	-	-	-	-	8,268
21	-	-	-	13,215	-	-	-	7,644	-	-	7,790	9,822
22	10,970	-	-	-	8,065	7,923	11,567		-	-	-	-
23	5,948	-	-	10,284	-	10,918	-	7,519	-	-	7,745	9,590
24	4,970	-	-	-	8,122	-	-	12,293	-	-	6,870	-
25	6,997	-	-	8,366	10,948	-	8,595	-	-	11,841	-	7,622
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,719	8,847	
27	-	-	-	8,468	13,018	9,890	12,573	-	-	-	-	7,599
28	-	-	-	9,192	7,045	-	-	-	-	19,347	-	11,768
29	-	-	-	-	-	-	7,194	-	-	12,694	-	-
30	-	-	-	13,465	-	12,740	5,795	-	12,067	-	-	7,446
31	-	-	-	-	-	-	-	-	6,741	-	-	6,695
total	153,813	-	-	83,316	161,860	157,461	151,565	137,616	31,278	140,723	128,506	184,205
avg	9,613	-	-	10,415	8,992	9,841	9,473	9,830	10,426	10,052	9,885	9,210
min	4,970	-	-	7,315	3,496	7,470	5,795	7,519	6,741	6,415	6,870	4,743
max	12,922	-	-	13,465	13,018	12,940	12,573	13,669	12,470	19,347	13,742	13,453

หมายเหตุ ปริมาณการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ บรรจุถุง ขนาด มิลลิลิตร 200รวมทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 1,330,341 ถุงต่อปี

ตารางที่ 29 ข้อมูลการสูญเสียน้ำนม (ลิตร) ในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ในรอบการผลิต 1 ปี

เดือน	ปริมาณน้ำนมที่ใช้การผลิต	การสูญเสียน้ำนมในกระบวนการผลิต (ลิตร)				
		ตกค้างในถัง	ตกค้างในท่อ	ตกค้างในเครื่องพาส	ตกค้างในเครื่องบรรจุ	รวมน้ำนมสูญเสีย
ก.พ.	30,855	27.9	20.5	20.5	23.6	5.92
มี.ค.	0	0	0	0	0	0
เม.ย.	0	0	0	0	0	0
พ.ค.	16,716	14.1	10.6	14	14.1	8.52
มิ.ย.	32,477	31.3	22.8	28.2	22.8	1.105
ก.ค.	31,594	27.5	20.7	26.2	27.5	9.101
ส.ค.	30,410	27.5	20.3	26	23.3	1.97
ก.ย.	27,610	24.3	18.7	22.7	21.1	8.86
ต.ค.	6,275	5.6	3.9	4.7	5.2	4.19
พ.ย.	28,230	23.9	17.7	21.9	18.2	7.81
ธ.ค.	25,782	23.9	17.8	22.8	22.8	3.87
ม.ค.	36,960	34.9	25.4	29.3	29.4	119
รวม	**266,909**	**240.9**	**178.4**	**216.3**	**208.0**	**6.843**
ร้อยละ	**100**	**09.0**	**07.0**	**08.0**	**08.0**	**32.0**
avg	22,242.42	20.1	14.9	18.0	17.3	70.3
min	0	0	0	0	0	0
max	36,960	34.9	25.4	29.3	29.4	119

ตารางที่ 30 ข้อมูลปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ในรอบการผลิต 1 ปี

เดือน	ไฟฟ้า (kWh)	น้ำ (ลิตร)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)				บรรจุภัณฑ์ ฟิลม์ (กก.)	กรด (มล.)	ด่าง (กรัม)
			ปั่นไฟ	ขนนม	ขนฟิล์ม	รวม			
ก.พ.	35,200	96,000	8	80	250	338	403	8,800	3,200
มี.ค.	15,000	-	4	-	-	4	-	-	-
เม.ย.	12,000	-	6	-	-	6	-	-	-
พ.ค.	32,500	48,000	4	40	-	44	218	4,400	1,600
มิ.ย.	36,600	108,000	8	90	-	98	424	9,900	3,600
ก.ค.	37,200	96,000	16	80	-	96	413	8,800	3,200
ส.ค.	35,200	96,000	20	80	-	100	397	8,800	3,200
ก.ย.	34,300	84,000	12	70	260	342	361	7,700	2,800
ต.ค.	21,000	18,000	6	15	-	21	82	1,650	600
พ.ย.	34,700	84,000	7	70	-	77	369	7,700	2,800
ธ.ค.	32,500	78,000	15	65	-	80	337	7,150	2,600
ม.ค.	37,800	120,000	8	100	-	108	483	11,000	4,000
รวม	**364,000**	**828,000**	**114**	**690**	**510**	**1,314**	**3,487**	**75,900**	**27,600**
avg	30,333	69,000	10	58	255	110	291	6,325	2,300
min	12,000	-	4	-	250	4	-	-	-
max	37,800	120,000	20	100	260	342	483	11,000	4,000

ตารางที่ 31 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์ ในรอบ 1 ปี

แหล่งของ	ค่าแฟกเตอร์ (EF)	ปริมาณในรอบ ปี 1	ปริมาณคาร์บอน (CO_2e)
น้ำนมดิบ	1.11 ($kgCO_2e$/kg milk)	266,909	296,268.99
บรรจุภัณฑ์	6000.2 ($kgCO_2e$/kg film)	3,487	9,066.20
กรด	0.0298 ($kgCO_2e$/ml HCl)	75,900	2.26
ด่าง	0.0240 ($kgCO_2e$/kg NaOH)	27,600	0.66
ไฟฟ้า	5610.0 ($kgCO_2e$/kWh)	364,000	204,204.00
น้ำมันดีเซล	2.7080 ($kgCO_2e$/L)	1,314	3,558.31
น้ำประปา	0.0260 ($kgCO_2e$/L)	828,000	21,528.00
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสม			**534,628.42**

หมายเหตุ น้ำนมดิบ ใช้ค่าแฟกเตอร์ (EF) = 1.11 (kgCO2e/kg milk) โดยอ้างอิงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่ 1(อ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ 27)

บรรจุภัณฑ์ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)

กรด IPCC (2007)

ด่าง ,ไฟฟ้า ,น้ำมันดีเซล และน้ำประปา คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553)

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 32 แหล่งที่มาและปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสมในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์ ในรอบ 1 ปี

แหล่งของ	ปริมาณทรัพยากรในรอบ ปี 1	ปริมาณคาร์บอน (CO_2e) ต่อรอบการผลิต ปี 1	คิดเป็น (%)	ต่อบรรจุภัณฑ์ถุง 1 หน่วย (200 ml)
หน่วยของผลิตภัณฑ์ (200 ml :unit)	1,330,341	-	-	1
น้ำนมดิบ (kg)	266,909	296,268.99	55.42	0.2227
บรรจุภัณฑ์ (kg)	3,487	9,066.20	1.70	0.0068
กรด (ml)	75,900	2.26	0.0004	0.0000017
ด่าง (g)	27,600	0.66	0.0001	0.0000001
ไฟฟ้า (kWh)	364,000	204,204.00	38.20	0.1535
น้ำมันดีเซล (liter)	1,314	3,558.31	0.67	0.0027
น้ำประปา (liter)	828,000	21,528.00	4.03	0.0162
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมสะสม		**534,628.42**	**100.00**	**0.401**
ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ (kg of CO_2e/200 ml)				
ผลการศึกษาในครั้งนี้				**0.401**
พรพมล (2554)				317.0
Zhao et al. (2017)				0.224

3) ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต

การผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณน้ำนมที่ใช้สำหรับการผลิตรวมตลอดทั้งปี 266,909 กิโลกรัม และมีน้ำนมที่สูญเสียจากกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์รวม 843.6 กิโลกรัม/ปี (คิดเป็นร้อยละ 0.32) โดยพบว่า การสูญเสียทรัพยากรในกระบวนการผลิตเกิดขึ้นในจุดหลักๆ คือ น้ำนมตกค้างในถังรวมนม 240.9 กิโลกรัม/ปี น้ำนมค้างท่อ 178.4 กิโลกรัม/ปี น้ำนมตกค้างในเครื่องพาสเจอร์ไรซ์ 216.3 กิโลกรัม/ปี และน้ำนมตกค้างในเครื่องบรรจุ 208.0 กิโลกรัม/ปี โดยคิดเป็นร้อยละ 0.09, 0.07, 0.08 และ 0.08 % ตามลำดับ ของการสูญเสียทรัพยากรในกระบวนการผลิตเกิดขึ้นในจุดหลักๆ ดังกล่าวตามลำดับ

จากการศึกษาของ พรพมล (2554) พบว่านมที่สูญเสียในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ นมสูญเสียในระบบพาสเจอร์ไรซ์ นมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรซ์และการบรรจุ นมบรรจุปริมาณเกินมาตรฐาน และนมถุงรั่วซึมหลังการบรรจุซึ่งมีร้อยละการสูญเสียเท่ากับ 0.11, 0.23, 0.45, 3.02 และ 0.36 ตามลำดับ

4) ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์

ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ในรอบการผลิต 1 ปี ประกอบด้วย น้ำนมดิบ 266,909 กิโลกรัม บรรจุภัณฑ์ (ฟิล์มบรรจุนม)3,487 กิโลกรัม ไฟฟ้า 364,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง น้ำประปา 828,000 ลิตร น้ำมันดีเซล 1,314 ลิตร สารทำความสะอาด ชนิดกรด 75,900 มิลลิลิตร และด่าง 27,600 กรัมตารางที่) (26จากทรัพยากรทั้งหมดผลิตเป็นนมจืดพาสเจอร์ไรซ์บรรจุถุงได้จำนวน 1,330,341 ถุง/ปี

จากการศึกษาของ พรพมล (2554) ได้ทำการวิจัย ปริมาณการสูญเสีย การใช้ทรัพยากรและการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ขนาดบรรจุ มิลลิลิตร ที่ผลิต 200 ณ ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้การประเมินเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกระทั่งเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงาน ตามการประเมินรูปแบบ Business-to-Business (B2B) โดยการศึกษาพบว่า คาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ขนาดบรรจุ มิลลิลิตร มีค่า 200 เท่ากับ 32.0kgCO_2eq (กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) โดยคิดเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 07.0 และ 01.0 ,25.0kgCO_2eq สำหรับการผลิตวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วยังพบว่า ไฟฟ้าเป็นทรัพยากรที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาที่สุดคิดเป็นร้อยละ ในขณะที่นมสูญเสียมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ร้อย 92.61 โดยลักษณะนมสูญเสียที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ นมถุงรั่วซึมหลัง 2.1 ละ การบรรจุ นอกจากนี้แล้วพบว่าการใช้ไฟฟ้าในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร เท่ากับ 0.0736 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับ IFC (2007)และกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) รายงานปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพื่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์ 1 ลิตร อยู่ระหว่าง 0.07 –0.20 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในด้านการใช้น้ำประปา พรพมล (2554) รายงานว่าการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร มีการใช้น้ำประปาเท่ากับ 0.7295 ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้เช่นกัน

5) ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์การผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์

การประเมินผลปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรีในรอบการผลิต 1 ปี พบว่าการผลิตน้ำนม 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) มีการปล่อยคาร์บอนฟุตปริ้นท์เท่ากับ 0.401 กิโลกรัม CO_2e

(ตารางที่ 28) โดยส่วนใหญ่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นแล้วปลดปล่อยออกมา จากกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ในกรณีศึกษาครั้นี้ คิดเป็นร้อยละที่เกิดขึ้นมากที่สุด มาจากน้ำนมดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นของการผลิต (55.42 %) เกิดจากกิจกรรมของการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต (38.20 %) และ น้ำประปา บรรจุภัณฑ์ (ฟิล์มบรรจุนม) น้ำมันดีเซล กรด และด่าง คิดเป็นร้อยละ 4.03, 1.70, 0.67, 0.0004 และ 0.00001 ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ของโรงงานที่ทำการศึกษาในครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานผลการศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ในประเทศไทย ที่ทำการศึกษาโดย พลพมล (2554) ศึกษาในศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่าค่าคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร ตั้งแต่การผลิตนมดิบในฟาร์มจนเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงาน เท่ากับ 0.317 กิโลกรัม CO_2e ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ประกอบด้วยการผลิต และการขนส่งวัตถุดิบ เท่ากับ 0.2510 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 79.01 การผลิตนมดิบในฟาร์มมีการปลดปล่อยมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 74.98 ตามมาด้วยการผลิตฟิล์ม การขนส่ง นมดิบ และการขนส่งฟิล์ม ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0070 , 0.0057 และ 0.0001 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ โดยในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0667 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 20.99

งานวิจัยของ Vergé et al. (2013) ได้ทำการศึกษาคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นมในประเทศแคนาดา โดยได้ทำการประเมินทั้งแบบ on-farm และแบบ off-farm พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของน้ำนมดิบในจังหวัดเขตภาคตะวันตกมีค่าต่ำกว่าจังหวัดในเขตภาคตะวันออกมีค่าเท่ากับ 0.93 และ 1.12 $kgCO_2eq/L$ of milk ด้วยเหตุผลของความแตกต่างระหว่างสภาพแวดล้อมภูมิอากาศและการจัดการดูแลฝูงโคนมที่แตกต่างกัน และยังพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์สูงได้แก่ ชีส เนย และนมผง มีค่าเท่ากับ 5.3, 7.3 10.1 $kgCO_2eq/kg$ ตามลำดับ โดยพบว่าผลของปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์นั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการปริมาณเนื้อนมหรือของแข็งในน้ำนมที่ใช้ในกระบวนการทำเป็นผลิตภัณฑ์นั้น ๆ และขึ้นอยู่กับปัจจัยของพลังงานที่จะต้องใช้สำหรับกระบวนการผลิตทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาเทียบในหน่วยของเนื้อนมที่ใช้ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์มีค่าสูงที่สุดคือ เนย มีค่าเท่ากับ 730 $kgCO_2eq/kg$ milk solid และยังพบว่า การปล่อยมลพิษนอกฟาร์มแหล่งสำคัญที่สุดคือการแปรรูปตามด้วยบรรจุภัณฑ์และการขนส่ง เปอร์เซ็นต์การปล่อยมลพิษของโยเกิร์ตสูงกว่านมพร้อมดื่มและความแตกต่างระหว่างการแปรรูปและบรรจุภัณฑ์ของโยเกิร์ตมากกว่านมพร้อมดื่ม การใช้เชื้อเพลิงและการใช้ไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ เชื้อเพลิงมีค่าสูงสุดสำหรับผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด แต่ความแตกต่างของค่าไฟฟ้ามีเพียงเล็กน้อยสำหรับโยเกิร์ตซึ่งอาศัยการแปรรูปด้วยไฟฟ้ามากกว่านมพร้อมดื่ม

นอกจากนี้แล้ว Zhao et al. (2017) ได้รายงานว่าการประเมินผลการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับผลิตภัณฑ์นมดิบภายในประเทศ ตามแนวทางการประเมินวงจรชีวิต (Lifecycle Based Approach) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดของนมบริสุทธิ์เท่ากับ 1,120 g CO_2 ต่อลิตรของนมบริสุทธิ์ (หรือคิดเทียบเท่าเป็น 0.224 kgCO_2e/200 ml) การผลิตน้ำนมดิบถือเป็นปัจจัยหลักในการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ การอุดหนุนนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 843 กรัม CO_2/L คิดเป็น 75.27% ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในการขนส่งสินค้าคือ 38 กรัมของ CO_2/L ซึ่งคิดเป็น 3.39% ของยอดรวม ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปนมและการกำจัดของเสียบรรจุภัณฑ์เท่ากับ 173 และ 66 กรัม CO_2/L ตามลำดับ คิดเป็นสัดส่วน 15.45 และ 5.89% ของทั้งหมด การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมุ่งหวังให้ บริษัท ผู้ผลิตนมมีส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการปรับปรุงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิตนมพร้อมดื่มคาร์บอนต่ำและผลิตภัณฑ์นมแปรรูปคาร์บอนต่ำจำเป็นต้องมีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและคาร์บอนฟุตปรินท์ของกระบวนการผลิต โดยการศึกษาของ Ma and Zhao (2012) ได้รายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการวัดประเมินเพื่อการลดและควบคุมปริมาณก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรการผลิตของผลิตภัณฑ์นม โดยได้ให้ความสำคัญถึง ระบบเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำ ซึ่งจะประกอบไปด้วย อาหารที่มีการปล่อยคาร์บอนในปริมาณต่ำ การใช้พลังงานในกระบวนการที่ต่ำ การเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่ต่ำ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีความสำคัญมากในยุคปัจจุบันและในอนาคตจะยิ่งมีความสำคัญมากยิ่งขึ้นในระบบการผลิตปศุสัตว์ทั้งระบบ การผลิต การแปรรูป การบริโภค การกำจัดของเสีย ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาและวิจัยเพื่อลดการปล่อยคาร์บอนสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้แล้ว รายงานของ Bertrand and Barnett (2011) ได้เสนอวิธีการมาตรฐานสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์นม โดยกล่าวถึงว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 18 มาจากภาคการผลิตปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์อาหารที่มาจากสัตว์ (FAO, 2010) และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 2.7 มาจากภาคอุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นม ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต การขนส่ง (FAO, 2010) โดยทั้งนี้ในการศึกษาของ Flysijo et al. (2014) ได้รายงานผลการศึกษาวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมนมของประเทศเดนมาร์ก โดยการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ตั้งแต่ฟาร์มผลิตถึงผู้บริโภค แล้วรายงานในหน่วยของน้ำนมที่ปรับกับโปรตีนและไขมันในน้ำนมแล้ว (Protein fat corrected milk, PFCM) โดยพบว่า 5 ผลิตภัณฑ์จากการแปรรูปผลผลิตน้ำนมได้แก่ butter, butter blend, cheese, milk powder, whey มีปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์เท่ากับ 1.1, 8.1, 6.5, 7.4 และ 1.2 kgCO_2eq/kg fresh dairy product ตามลำดับ

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่เกิดขึ้นจากผลิตน้ำนมดิบของฟาร์มโคนมด้วยระบบการเลี้ยงแบบที่อยู่ในโรงเรือนตลอดเวลาของฟาร์มโคนมในวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี มีค่าเท่ากับ 1.11 kg CO_2eq / kg milk (หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อกิโลกรัมของผลผลิตน้ำนม ส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละที่เกิดขึ้นมาจากการหมักย่อยโดยตัวโค (67.69 %) และการจัดการมูล (18.65 %) ตามลำดับ ซึ่งจะชี้ให้เห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากตัวสัตว์ที่เกิดจากกระบวนการหมักย่อยแล้วถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (38.73 %) และก๊าซมีเทน (28.96 %) ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วผลของการประเมินผลปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูง จึงเป็นผลมาจากสัดส่วนของจำนวนโคภายในฝูงที่มีในฟาร์ม จะเห็นได้ว่ากลุ่มโครีดนมที่ให้ผลผลิตมีสัดส่วนเป็นจำนวนน้อย ประกอบกับการให้ผลผลิตน้ำนมต่อตัวต่อวันค่อนข้างต่ำ คือ 7.44 กิโลกรัม จึงส่งผลให้การคำนวณประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตปรินทร์ที่เกิดขึ้นจากฟาร์มโคนมในกรณีศึกษาครั้งนี้มีค่าสูง

กรณีศึกษา การผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ขนาด 1 หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (1 ถุง) ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม ณ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า น้ำนมดิบที่ใช้เป็นทรัพยากรในกระบวนการผลิต เกิดการสูญเสียในจุดหลักที่สำคัญ คือ น้ำนมตกค้างในถังรวมนม น้ำนมตกค้างในเครื่องพาสเจอร์ไรซ์ น้ำนมตกค้าในเครื่องบรรจุ และ น้ำนมค้างท่อ ตามลำดับ และการศึกษานี้ชี้ให้เห็นได้ว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตปริ้นท์ที่เกิดขึ้นในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ มีค่าเท่ากับ 0.401 kg CO_2eq / 1 unit product (หน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อขนาด 1 ถุง หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร) โดยส่วนใหญ่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นแล้วปลดปล่อยออกมา จากกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ในกรณีศึกษาครั้นี้ คิดเป็นร้อยละที่เกิดขึ้นมากที่สุด มาจากน้ำนมดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นของการผลิต (55.424 %) เกิดจากกิจกรรมของการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต (38.20 %) และ น้ำประปา บรรจุภัณฑ์ (ฟิล์มบรรจุนม) น้ำมันดีเซล กรด และด่าง คิดเป็นร้อยละ 4.03, 1.70, 0.67, 0.0004 และ 0.00001 ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าการควบคุมประสิทธิภาพการผลิตเพื่อลดการสูญเสียของทรัพยากร เป็นแนวทางที่สามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์นมจืดพาสเจอร์ไรซ์พร้อมดื่มได้ และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานจะมีส่วนสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและปริมาณคาร์บอนฟุตปรินท์รวมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตได้การประเมินตลอดวัฐจักรชีวิต

(LCA) ในกรณีศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นได้ว่า แนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ควรมีกลยุทธ์ในการลดการหมักย่อยผลิตก๊าซมีเทนของโคนม ร่วมกับการจัดการลดขนาดฝูงที่เหมาะสม และการใช้พลังงานชีวภาพทางเลือกในระบบการผลิตฟาร์มโคนมและกระบวนการแปรรูปให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์นม

รายการอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2550). ร่างปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ) ฉบับปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2563). ฉลากคาร์บอน. Retrieved from สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2563 จาก https://actionforclimate.deqp.go.th/?p=6509

กัณฑรีย์ บุญประกอบ. (2548). ความเชื่อมโยงของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับอนุสัญญาความหลากหลายทางชีวภาพ. ในการประชุมเชิงปฏิบัติการความหลากหลายทางชีวภาพด้านป่าไม้และสัตว์ป่า: ความก้าวหน้าของผลงานวิจัยและกิจกรรมปี 2548, รีเจนท์ ชะอำ: 22 สิงหาคม 2548.เพชรบุรี.

คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. (2553). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภายใต้การดำเนินโครงการความร่วมมือระหว่างองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ พลีรักษ์. (2556). เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ: การทบทวนวรรณกรรม. วาสารวิจัยและพัฒนา มจธ, 36 (34): 503-515.

ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล. (2550). โลกร้อนสุดขั้ววิกฤติอนาคตประเทศไทย.กรุงเทพมหานคร: ฐานบุคส์ น้ำแข็งทั่วโลกละลาย. Retrieved from สืบค้นเมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน 2562, จาก http://www.greenpeace.org/seasia/th/campaigns/ climate-and-energy/impacts/global-melting/

นเรศ เชื้อสุวรรณ จรียา ยิ้มรัตนบวร และ สิราภรณ์ โพธิวิชยานนท์. (2557). รายงานการวิจัยสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัสออกไซด์) ควบคู่กับการพัฒนาประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ประพิธาริ์ ธนารักษ์ เบญจมาภรณ์ ถนอมนิ่ม และ พิสิษฏ์ มณีโชต. (2558). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และพลังงานของหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 วิทยาศาสตร์บูรพา. 20 (21): 72-82.

พรพมล ปัทมานนท์. (2554). ปริมาณการสูญเสีย การใช้ทรัพย์ยากร และการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ ณ ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.

มธุรส อรังศรี และ วิโรจน์ ภัทรจินดา. (2556). กรณีศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมจังหวัดขอนแก่น. แก่นเกษตร. 41 (พิเศษ 1) : 64-68.

มธุรส อรังศรี และ วิโรจน์ ภัทรจินดา. (2557). การประเมินผลคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในฟาร์มโคนมสถานีทดลองและฝึกอบรมเกษตรกรรมร้อยเอ็ด. แก่นเกษตร. 42 (พิเศษ 1) : 26-31.

มนนภา เทพสุด. (2561). ภาวะโลกร้อน: ปัญหาที่ท้าทายในศตวรรษที่ 21. การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติมหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 13 ประจำปี 2561.

มิ่งสรรพ์ ขาวสอาด และ กอบกุล รายะนาคร. (2553). นโยบายสาธารณะเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. ชุดความรู้นโยบายสาธารณะ. เชียงใหม่. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.).

ยุวนันท์ สันติทวีฤกษ์. (2554). ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนกับโอกาสของไทยในการผลิตและส่งออกสินค้าเกษตรและอาหารคาร์บอนต่ำ. การประชุมวิชาการระดับชาติเรื่อง ประเทศไทยกับภูมิอากาศโลก ครั้งที่ 2 การปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์สู่เศรษฐกิจสีเขียว วัน ที่ 18 -19 สิงหาคม 2554.

รัตนสุดา ชลธาตุ. (2558). การเปลี่ยนแปลง สภาพ ภูมิ อากาศ และ แนวทาง การ แก้ไข ปัญหา. วารสาร สังคมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 18.

วิโรจน์ ภัทรจินดา. (2557). อาหารและฟาร์มโคนมสมัยใหม่. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. 502 หน้า.

วิโรจน์ ภัทรจินดา มนต์ชัย ดวงจินดา ปาริชาต คำฤาชา และ สมโภชน์ แก้วระหัน. (2550). การทำนายน้ำหนักโคตั้งแต่แรกเกิดถึงโครีดน้ำนม. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2560). นโยบายและแผนการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 / สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวง. 151 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2557). สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2557. Retrieved from สืบค้นเมื่อ วันที่ กุมภาพันธ์ 2563. จาก http://www.oae.go.th/download/download_journal/2558/commodity57.pdf

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). สถานการณ์โคนมโลก&ไทย ปี 2562. Retrieved from สืบค้นเมื่อ 27 กุมภาพันธ์ 2563 จาก http://dairydevelopmentprogram.weebly.com/blog-36153634361936603617362636403586/-2562

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน). (2558). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร. กรุงเทพมหานคร: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน).

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2557). หลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการใช้ “เครื่องหมายลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์” ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.

Adom, F., Workman, C., Thoma, G., and Shonnard, D. (2013). Carbon footprint analysis of dairy feed from a mill in Michigan, USA. International Dairy Journal, 31, S21-S28.

Batalla, I., Knudsen, M. T., Mogensen, L., del Hierro, Ó., Pinto, M., and Hermansen, J. E. (2015). Carbon footprint of milk from sheep farming systems in northern Spain including soil carbon sequestration in grasslands. Journal of Cleaner Production, 104, 121-129.

Berton, M., Cesaro, G., Gallo, L., Pirlo, G., Ramanzin, M., Tagliapietra, F., and Sturaro, E. (2016). Environmental impact of a cereal-based intensive beef fattening system according to a partial Life Cycle Assessment approach. Livestock Science, 190, 81-88.

Bertrand, S. and Barnett, J. (2011). Standard method for determining the carbon footprint of dairy products reduces confusion. Animal Frontiers, 1(1), 14-18.

Braatz, B. V.and Hogan, K. B. (1991). Sustainable rice productivity and methane reduction research plan.

Buratti, C., Fantozzi, F., Barbanera, M., Lascaro, E., Chiorri, M., and Cecchini, L. (2017). Carbon footprint of conventional and organic beef production systems: An Italian case study. Science of the total environment, 576, 129-137.

Capper, J. L. (2011). The environmental impact of beef production in the United States: 1977 compared with 2007. Journal of animal science, 89(12), 4249-4261.

Casey, J.and Holden, N. (2006). Greenhouse gas emissions from Irish grassland livestock production systems. Grassland Productivity.

Cederberg, C. and Stadig, M. (2003). System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. The International Journal of Life Cycle Assessment, 8(6), 350-356.

Cerri, C. C., Moreira, C. S., Alves, P. A., Raucci, G. S., de Almeida Castigioni, B., Mello, F.

F., and Cerri, C. E. P. (2016). Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. Journal of Cleaner Production, 112, 2593-2600.

Chianese, D., Rotz, C., and Richard, T. (2009). Simulation of methane emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. Transactions of the ASABE, 52(4), 1313-1323.

Chianese, D., Rotz, C. A., and Richard, T. L. (2009a). Simulation of carbon dioxide emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. Transactions of the ASABE, 52(4), 1301-1312.

Chianese, D., Rotz, C. A., and Richard, T. L. (2009b). Simulation of nitrous oxide emissions from dairy farms to assess greenhouse gas reduction strategies. Transactions of the ASABE, 52(4), 1325-1335.

Chianese, D. S., Rotz, C. A., and Richard, T. L. (2009). Whole-farm greenhouse gas emissions: A review with application to a Pennsylvania dairy farm. Applied Engineering in Agriculture, 25(3), 431-442.

Cooper, J., Butler, G., and Leifert, C. (2011). Life cycle analysis of greenhouse gas emissions from organic and conventional food production systems, with and without bio-energy options. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 58(3-4), 185-192.

Crosson, P., Shalloo, L., O'brien, D., Lanigan, G., Foley, P., Boland, T., and Kenny, D. (2011). A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. Animal Feed Science and Technology, 166, 29-45.

Cunha, C., Lopes, N., Veloso, C., Jacovine, L., Tomich, T., Pereira, L., and Marcondes, M. (2016). Greenhouse gases inventory and carbon balance of two dairy systems obtained from two methane-estimation methods. Science of the Total Environment, 571, 744-754.

Dairymarkets. (2019). energy-corrected milk. Retrieved from Accessed 27 February 2020. https://dairymarkets.org/PubPod/Reference/Library/Energy%20Corrected%20Milk

Dow, K. and Downing, T. E. (2016). The Atlas of climate change: mapping the world's greatest challenge: Univ of California Press.

Flysjö, A., Cederberg, C., Henriksson, M., and Ledgard, S. (2012). The interaction between milk and beef production and emissions from land use change–critical considerations in life cycle assessment and carbon footprint studies of milk. Journal of Cleaner Production, 28, 134-142.

Flysjö, A., Henriksson, M., Cederberg, C., Ledgard, S., and Englund, J.-E. (2011). The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. Agricultural systems, 104(6), 459-469.

Flysjö, A., Thrane, M., and Hermansen, J. E. (2014). Method to assess the carbon footprint at product level in the dairy industry. International Dairy Journal, 34(1), 86-92.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2010). Greenhouse Gas Emission from the Dairy Sector. Italy.

Gollnow, S., Lundie, S., Moore, A. D., McLaren, J., van Buuren, N., Stahle, P., and Rehl, T. (2014). Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. International Dairy Journal, 37(1), 31-38.

Guerci, M., Bava, L., Zucali, M., Tamburini, A., and Sandrucci, A. (2014). Effect of summer grazing on carbon footprint of milk in Italian Alps: a sensitivity approach. Journal of cleaner production, 73, 236-244.

Guyader, J., Little, S., Kröbel, R., Benchaar, C., and Beauchemin, K. A. (2017). Comparison of greenhouse gas emissions from corn-and barley-based dairy production systems in Eastern Canada. Agricultural systems, 152, 38-46.

Hermansen, J. E. and Kristensen, T. (2011). Management options to reduce the carbon footprint of livestock products. Animal Frontiers, 1(1), 33-39.

Hites, R. A. and Raff, J. D. (2012). Elements of environmental chemistry. New Jersey: Wiley.

Huerta, A. R., Güereca, L. P., and Lozano, M. d. l. S. R. (2016). Environmental impact of beef production in Mexico through life cycle assessment. Resources,

Conservation and Recycling, 109, 44-53.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III of fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Cambridge and New York: Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Synthesis Report. Contribution of Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R. K. Pachauri, and A. Reisinger, ed. IPCC, Geneva, Switzerland. Retrieved from Ac-cessed Jan. 16, 2019. http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Assessment Report (AR5) Synthesis Report: Climate Change 2014.

Jones, A., Jones, D., and Cross, P. (2014). The carbon footprint of lamb: Sources of variation and opportunities for mitigation. Agricultural Systems, 123, 97-107.

Kernan, M., Battarbee, R. W., and Moss, B. R. (2011). Climate change impacts on freshwater ecosystems: John Wiley & Sons.

Knapp, J. R., Laur, G., Vadas, P. A., Weiss, W. P., and Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. Journal of dairy science, 97(6), 3231-3261.

Kristensen, T., Mogensen, L., Knudsen, M. T., and Hermansen, J. E. (2011). Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach. Livestock Science, 140(1-3), 136-148.

Lee, H. (2011). Climate change biology. Massachusetts: Academic Press.

Lyman, F. (1990). The Greenhouse Trap: What we're doing to the atmosphere and how we can slow global warming (Vol. 1): Beacon Press.

Ma, A., and Zhao, H. (2012). Studies on emissions and measures of reduction and control of greenhouse gas during lifecycle of dairy products. Procedia Environmental Sciences, 13, 2310-2315.

Mc Geough, E., Little, S., Janzen, H., McAllister, T., McGinn, S., and Beauchemin, K. (2012). Life-cycle assessment of greenhouse gas emissions from dairy production

in Eastern Canada: a case study. Journal of Dairy Science, 95(9), 5164-5175.

Metz, B. (2009). Controlling climate change: Cambridge University Press.

Minami, K. (1997). Atmospheric methane and nitrous oxide: sources, sinks and strategies for reducing agricultural emissions. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 49(1), 203-211.

Mogensen, L., Kristensen, T., Nguyen, T. L. T., Knudsen, M. T., and Hermansen, J. E. (2014). Method for calculating carbon footprint of cattle feeds–including contribution from soil carbon changes and use of cattle manure. Journal of Cleaner Production, 73, 40-51.

Mosier, A. (1998). Soil processes and global change. Biology and fertility of soils, 27(3), 221-229.

MRC. (2013). “อภิธานศัพท์และนิยมเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการปรับตัว”. Retrieved from Mekong River Commission, Accessed April 10, 2019. http://www.mrcmekong.org/

NASA’s Jet Propulsion Laboratory. (2015). Climate change: CO2 concentration and Sea level rise. Retrieved from Accessed April 20. 2019. http://climate.nasa.gov/evidence/

National Geographic ฉบับภาษาไทย. (2562). ก๊าซเรือนกระจก. Retrieved from สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2562, จาก https://ngthai.com/science/25344/greenhouse-gases/

O’Brien, D., Shalloo, L., Buckley, F., Horan, B., Grainger, C., and Wallace, M. (2011). The effect of methodology on estimates of greenhouse gas emissions from grass-based dairy systems. Agriculture, ecosystems & environment, 141(1-2), 39-48.

Philander, S. G. (2012). Encyclopedia of global warming and climate change. California: SAGE.

Pirlo, G., Terzano, G., Pacelli, C., Abeni, F., and Carè, S. (2014). Carbon footprint of milk produced at Italian buffalo farms. Livestock Science, 161, 176-184.

Pittock, A. B. (2013). Climate change: the science, impacts and solutions: Routledge.

Reynolds, M. P. (2010). Climate change and crop production (Vol. 1): Cabi.

Rotz, C., Isenberg, B., Stackhouse-Lawson, K., and Pollak, E. (2013). A simulation-based approach for evaluating and comparing the environmental footprints of beef production systems. Journal of animal science, 91(11), 5427-5437.

Rotz, C., Montes, F., and Chianese, D. (2010). The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. Journal of dairy science, 93(3), 1266-1282.

Rotz, C. A., Michael S. Corson, Dawn S. Chianese, Felipe Montes, Sasha D. Hafner, and Colette U. Coiner. (2012). The integrated farm system model. Reference Manual version 3.6 Pasture Systems and Watershed Management Research Unit, Agricultural Research Service, USDA. 137-155.

Schütz, H., Seiler, W., and Conrad, R. (1989). Processes involved in formation and emission of methane in rice paddies. Biogeochemistry, 7(1), 33-53.

Stackhouse-Lawson, K., Rotz, C., Oltjen, J., and Mitloehner, F. (2012). Carbon footprint and ammonia emissions of California beef production systems. Journal of animal science, 90(12), 4641-4655.

Thongplew, N., van Koppen, C. K., and Spaargaren, G. (2016). Transformation of the dairy industry toward sustainability: The case of the organic dairy industries in the Netherlands and Thailand. Environmental Development, 17, 6-20.

Vergé, X. P., Maxime, D., Dyer, J. A., Desjardins, R. L., Arcand, Y., and Vanderzaag, A. (2013). Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues. Journal of dairy science, 96(9), 6091-6104.

Zhao, R., Xu, Y., Wen, X., Zhang, N., and Cai, J. (2017). Carbon footprint assessment for a local branded pure milk product: a lifecycle based approach. Food Science and Technology, 38, 98-105

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

กิจกรรมการศึกษาวิจัย :การประเมินผลคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตน้ำนมในฟาร์มโคนมของวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

1. ด้านหน้าฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรฯ

2. ซองทางเดินสำหรับบังคับโค

3. โคขณะรีดนม

4. โคนมพักแบบปล่อยอิสระในคอก

5. ให้อาหาร TMR

6. คอกโคนมเพศผู้ขุน

ภาคผนวก ข

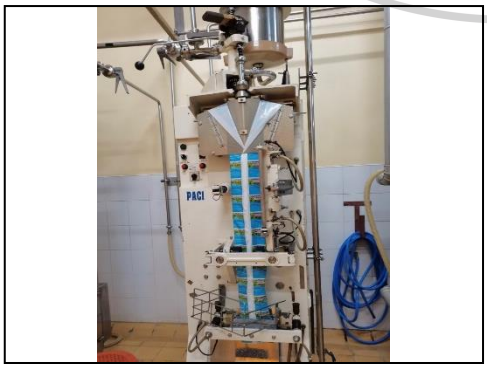
กิจกรรมการศึกษาวิจัย การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรซ์ : ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

1. รถขนส่งน้ำนมดิบ

2. ถังพักน้ำนมดิบ 1

3. ถังพักน้ำนมดิบ 2

4. เครื่องพาสเจอไรซ์นม



5. เครื่องบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์

6. ห้องเย็นเก็บผลิตภัณฑ์นมพาสเจอไรส์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายนิธินันท์ ลิบลับ
วัน เดือน ปี เกิด	3 เมษายน 2524
สถานที่เกิด	97 หมู่ 5 ตำบลกุยเหนือ อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
วุฒิการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาสัตวศาสตร์ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (สัตวศาสตร์ โคนมและโคเนื้อ) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาวิชาชีพครู มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	146 หมู่ 3 ตำบลลาดบัวขาว อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา 30340
ผลงานตีพิมพ์	1.การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมดิบของฟาร์มโคนมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี 2.การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นท์ในการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี

มหาวิทยาลัยศิลปากร