รหัสโครงการ SUT1-104-55-12-04

รายงานการวิจัย

การปลดปล่อยคาร์บอนและแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตปศุสัตว์ในประเทศไทย กรณีศึกษาจังหวัดชลบุรี ปราจีนบุรี และนครราชสีมา

CARBON MASSFLOW AND GREENHOUSE GASES EMISSION FROM LIVESTOCK PRODUCTIONS IN THAILAND: CASE STUDY OF CHONBURI, PRACHINBURI AND NAKHON RACHASIMA PROVINCES

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ธานี

สาขาวิชาชีววิทยา

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT1-104-55-12-04

รายงานการวิจัย

การปลดปล่อยคาร์บอนและแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตปศุสัตว์ในประเทศไทย กรณีศึกษาจังหวัดชลบุรี ปราจีนบุรี และนครราชสีมา

CARBON MASSFLOW AND GREENHOUSE GASES EMISSION FROM LIVESTOCK PRODUCTIONS IN THAILAND: CASE STUDY OF CHONBURI, PRACHINBURI AND NAKHON RACHASIMA PROVINCES

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ธานี

สาขาวิชาชีววิทยา

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ธันวาคม 2557

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาเรื่องการปลดปล่อยคาร์บอนและแก๊สเรือนกระจกจากการผลิตปศุสัตว์ในประเทศไทย กรณีศึกษาจังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี และจังหวัดนครราชสีมาในครั้งนี้ ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคล ต่าง ๆ ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ ด้านการดำเนินการวิจัย และแนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนเงินทุนแก่คณะผู้วิจัยอย่างจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีปีงบประมาณ 2555 โครงการวิจัยขอขอบคุณนักศึกษา คณาจารย์สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการวิจัย

คณะผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

สภาวะเรือนกระจกก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อนซึ่งเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหานี้คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และ มีเทน การทำปศุสัตว์โดยเฉพาะการใช้พลังงานสำหรับการเลี้ยง เพื่อการผลิตเนื้อ เป็นสาเหตุหนึ่งของการเพิ่มปริมาณแก๊สเหล่านี้ ในชั้นบรรยากาศ ดังนั้นจึงควรศึกษาเพื่อพัฒนาค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการทำฟาร์ม การศึกษาครั้งนี้เลือกศึกษาสุกร และ แพะเพื่อศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ไปสู่สัตว์ทั้งสองชนิด โดยการกิน การศึกษาอัตราการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนจากการใช้พลังงานที่มีส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตเนื้อ จากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และจังหวัดปราจีนบุรีใน พ.ศ. 2556 กระทำโดยสำรวจเก็บข้อมูลจากฟาร์ม และโรงฆ่าสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมา 32 อำเภอและ 6 กิ่งอำเภอ (จะรวมเรียกเป็น 32 อำเภอ) จังหวัดชลบุรี 11 อำเภอ จังหวัดปราจีนบุรี 7 อำเภอ ตัวอย่างความหนาแน่นของฟาร์มปศุสัตว์ในแต่ละอำเภอ การวิเคราะห์ตัวอย่างพืชอาหาร มูลสัตว์ และเนื้อสัตว์ในห้องปฏิบัติการ การศึกษาเปรียบเทียบค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันจากสัตว์ทั้งสองชนิดต่างกัน โดยเทียบจากน้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมน้ำหนักสัตว์ต่อวัน ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) ผลการศึกษาพบว่าแพะมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันสูงกว่าสุกร คือ 4.02×10^{-3} ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) และ 2.78×10^{-3} ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) ตามลำดับ ค่าการถ่ายเทมวลคาร์บอนที่น้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันแพะมีค่ามากกว่าสุกรคือ 31.73×10^{-3} ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) และ 9.53×10^{-3} ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนที่น้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันแพะมีค่ามากกว่าสุกรคือ 9.63×10^{-3} ($กก.C/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) และ 2.78×10^{-3} ($กก.C/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) ค่าการตรึงคาร์บอนที่น้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันแพะมีค่ามากกว่าสุกรคือ 19.57×10^{-3} ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) และ 6.48×10^{-3} ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) การปลดปล่อยคาร์บอนส่วนใหญ่จะออกมาในรูปแบบของการใช้พลังงานทั้งในฟาร์มปศุสัตว์และโรงฆ่าสัตว์ ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากพลังงานภายในฟาร์ม และโรงฆ่าสัตว์ ภายในฟาร์มแพะมีค่ามากกว่าฟาร์มสุกรคือ 9.29×10^{-3} ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) และ 8.25×10^{-3} ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$)) ตามลำดับ ภายในโรงฆ่าสัตว์สุกรมีค่ามากกว่าโรงฆ่าแพะคือ 30.41×10^{-3} ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) และ 24.29×10^{-3} ($กก._{คาร์บอน}/กก._{นน.สัตว์}/วัน$) ตามลำดับ ส่วนการศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งหมดจากอาหารไปสู่สัตว์ทั้งสองชนิดด้วยการกินแล้วมาสะสมเป็นร่างกายและอวัยวะต่าง ๆ ตลอดจนสิ่งขับถ่ายของสัตว์ในช่วงระยะเวลาของการเลี้ยง ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการศึกษาประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอนพบว่า สุกรมีประสิทธิภาพการตรึงปริมาณคาร์บอนจาก

อาหารสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงสุกรมาสะสมไว้ในร่างกายได้มากถึง 70.81% ในขณะที่แพะมีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนจากอาหารสัตว์ต่ำกว่าคือ 69.65% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างสุกร และแพะ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของสัดส่วนปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยต่อปริมาณคาร์บอนจากอาหารที่ถ่ายเทไปสู่สัตว์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษาโดยการกินพบว่าปริมาณคาร์บอนในอาหารสัตว์บางส่วนที่เหลือจากการตรึงจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยมีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากตัวแพะ เท่ากับ 30.53% และสุกร 29.19% ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าในแต่ละวันสุกร 1 ตัว มีความสามารถในการปลดปล่อยคาร์บอนออกจากร่างกายได้น้อยกว่าแพะเมื่อเทียบจากปริมาณคาร์บอนที่กินเข้าไปเท่ากัน ดังนั้นสุกรจึงมีส่วนทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปลดปล่อยคาร์บอนน้อยกว่าแพะ

Abstract

One of the environmental threats that our planet faces today is the greenhouse effect. The important greenhouse gases including carbon dioxide (CO_2), nitrogen oxide (NO_x) and methane (CH_4) cause global warming. Livestock production is a cause which releases CO_2 and CH_4 to the atmosphere. Swine (monogastric animals) and goats (small ruminant animals) that are raised for their meat and all produce the emissions of both CO_2 and CH_4. Therefore, it is important to determine carbon emitted factors, to investigate the rate of carbon massflow from plants to swine and goats, and to study the carbon emission in energy patterns that are used in meat production from these farms and slaughterhouses. The research was conducted in 26 districts and 6 sub-communes in Nakhon Ratchasima, 11 districts in Chonburi, and 7 districts in Prageneburi provinces. Samples of grass and food used for feeding in meat production and the feces produced were collected and transferred to the laboratory for analysis. The results revealed that the carbon emitted per living weight from swine and goats were 4.02×10^{-3} and 2.78×10^{-3} kg. C/kg. living weight/day. The rate of carbon massflow from grass and animal feed (C-input) of goats was higher than swine at 31.73×10^{-3} and 9.53×10^{-3} kg. C/kg. living weight/day. Carbon emission (C-emission) of goats was higher than swine at 9.63×10^{-3} and 2.78×10^{-3} kg. C/kg. living weight/day. Carbon fixation (C-fixation) in goats and swine were 19.57 $\times 10^{-3}$ and 6. 48 $\times 10^{-3}$ kg. C/kg. living weight/day, respectively. The carbon emitted from goat meat productions increased higher the environmental problems than swine meat productions because the study also showed that the performance comparison of carbon fixation [(Cinput – Cemission) / Cinput] of goats and swine were 69.65% and 70.81%.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย..... ข

ทบคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง

สารบัญ..... จ

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญรูป..... ฌ

บทที่

1 ทบนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์โครงการวิจัย..... 5

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย..... 6

2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

(Theory, Hypothesis and Conceptual Framework)..... 8

2.2 หลักการวิเคราะห์การกระจายหรือถ่ายเทมวลของคาร์บอน

(carbon mass flow concept)..... 13

2.3 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย (Conceptual Framework)..... 19

2.4 สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง..... 21

3 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

3.1 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง..... 37

3.2 จำนวนตัวอย่าง สถานที่ในการเก็บตัวอย่าง และวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ..... 40

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย..... 47

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 48

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 49

3.6 สรุปแนวทางในการดำเนินการวิจัย..... 51

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

4.1 การสำรวจปริมาณสัตว์แต่ละชนิดที่มีการทำฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา
จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรี..... 55

4.2 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนและอัตราการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจากการเลี้ยงสัตว์..... 59

4.3 การปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานที่มีส่วนสำคัญในการผลิตเนื้อ..... 68

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละของคาร์บอนกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของอาหารสัตว์
เนื้อสัตว์ และมูลจากสัตว์ และการวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้ปัญหาทางสิ่งแวดล้อม
จากชนิดของการเลี้ยงสัตว์..... 72

4.5 แนวทางการวิเคราะห์ เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิต เนื้อสุกร
เนื้อแพะ รวมทั้งแนวโน้มจากการทำปศุสัตว์ทั้ง 2 ชนิดในประเทศไทย..... 78

4.6 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทและการปลดปล่อยมวลคาร์บอนเชิงเวลาและเชิงพื้นที่..... 80

5 สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา..... 88

เอกสารอ้างอิง..... 92

ประวัติผู้วิจัย..... 101

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537..... 16

2.2 การกำหนดขนาดตัวอย่างของ Taro Yamane..... 18

2.3 ตัวอย่างจำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan..... 19

2.4 การกระจายของแก๊สเรือนกระจกที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากกิจกรรมทางการเกษตร..... 24

2.5 ปริมาณแก๊สชีวภาพและส่วนประกอบของแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลาย
คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน..... 31

2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับแก๊ส CH_4 ที่ผลิตได้..... 33

2.7 ข้อมูลพลังงานที่ได้จากแก๊ส CH_4 34

3.1 จำนวนการเก็บตัวอย่างฟาร์ม จำนวนตัวอย่างสุกร และ แพะ แยกเป็นรายอำเภอ
ในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรี..... 41

3.2 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในแต่ละอำเภอ..... 43

3.4 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างฟาร์มในแต่ละอำเภอ..... 44

3.4 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในแต่ละฟาร์มของอำเภอที่ 1..... 44

3.5 วิธีการในการทดสอบหาคุณสมบัติของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิด..... 45

3.6 วิธีการในการทดสอบหาคุณสมบัติของเนื้อ และ มูลสัตว์จากสัตว์แต่ละชนิด..... 46

4.1 จังหวัดที่มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์มากที่สุด 5 อันดับแรก..... 56

4.2 แสดงจังหวัดที่มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรและเขตปศุสัตว์ที่มีจำนวนสุกร มากที่สุด 5 อันดับแรก. 57

4.3 แสดงจังหวัดที่มีการเลี้ยงสุกรเฉลี่ยต่อครัวเรือน มากที่สุด 5 อันดับแรก..... 58

4.4 อัตราการถ่ายเท การตรึง และการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนของสัตว์ชนิดต่าง..... 60

4.5 การปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันและการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันเทียบจาก
น้ำหนักสัตว์แต่ละชนิดที่เท่ากัน..... 61

4.6 แก๊สที่เกิดจากสุกร และ แพะ ที่เลี้ยงในฟาร์มต่าง ๆ ของประเทศไทย..... 61

4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนที่ถูกถ่ายเท (C_{input}) ตรึงสะสมในสัตว์ ($C_{fixation}$) ปลดปล่อยออกจากสัตว์ ($C_{emitted}$) ในมูลสัตว์ (C_{output}) และ $C_{emission}$ ของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูลการหายใจ และการย่อยอาหาร..... 63

4.8 สัดส่วนเนื้อรวมและเครื่องในของสัตว์แต่ละชนิด..... 66

4.9 ค่าเฉลี่ย C-emission จากพลังงานที่ฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์ใช้..... 70

4.10 ค่าเฉลี่ยและความสัมพันธ์ของคาร์บอน น้ำหนักแห้ง (นน.) ของอาหารที่สัตว์กินและมูลสัตว์ที่ขับถ่ายออกมาต่อตัวต่อวันและระยะเวลาการเลี้ยงเฉลี่ยของสัตว์แต่ละชนิด..... 74

4.11 ความสัมพันธ์ของความชื้น ของแข็งระเหย และปริมาณคาร์บอนของอาหารสัตว์ มูลสัตว์ เนื้อสัตว์ และเครื่องในสัตว์..... 74

4.12 ผลการปลดปล่อยคาร์บอนในสถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำปศุสัตว์ในรูปแมทริกซ์..... 76

4.12 (ก) ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาส..... 76

4.12 (ข) ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้กฎสูงสุดจากสูงสุด..... 77

4.12 (ค) ค่าความเสียใจของแต่ละทางเลือกในการทำปศุสัตว์..... 78

4.12 (ง) ค่าสูงสุดของความเสียใจในแต่ละทางเลือกทำปศุสัตว์..... 78

4.13 การเปรียบเทียบสัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนระหว่างจากตัวสัตว์กับจากการใช้พลังงานของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์ ใช้ในการผลิตเนื้อสุกร เนื้อแพะ..... 79

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรยากาศโลก..... 1

1.2 การประมาณการปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จำแนกตามแหล่งกำเนิดที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537-2563..... 3

1.3 การประมาณการปริมาณการปล่อยแก๊สมีเทน จำแนกตามแหล่งกำเนิดที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537-2563..... 4

1.4 ขั้นตอนการผลิตอาหารจากสัตว์และความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณคาร์บอนที่ใช้..... 7

2.1 วัฏจักรคาร์บอน..... 12

2.2 วัฏจักรคาร์บอน และปริมาณคาร์บอนในรูปแบบต่างๆ..... 13

2.3 ระบบการถ่ายเทคาร์บอนในแต่ละกิจกรรมของการทำฟาร์มปศุสัตว์..... 15

2.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย..... 20

2.5 การลดลงของการกระจายคาร์บอนจากโครงการ CDM..... 21

3.1 แผนที่แสดงความหนาแน่นของจำนวนสุกรรายจังหวัด ปี 2556..... 38

3.2 แผนที่แสดงความหนาแน่นของจำนวนแพะรายจังหวัด ปี 2556..... 39

3.3 แสดงขอบเขตการศึกษาการถ่ายเทและการปลดปล่อยคาร์บอนของการผลิตอาหารจากการทำปศุสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรี..... 53

4.1 แสดงสัดส่วนเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ รายเขตปศุสัตว์..... 56

4.2 แสดงจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร รายเขตปศุสัตว์..... 57

4.3 แสดงจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะ และ จำนวนแพะ รายเขตปศุสัตว์..... 59

4.4 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากแหล่งต่าง ๆ ของสุกร..... 62

4.5 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากแหล่งต่าง ๆ ของแพะ..... 62

4.6 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมันและแก๊ส LPG ผลิตเนื้อสุกร และ แพะ..... 69

4.7 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานผลิตเนื้อสุกร และ เนื้อแพะ ของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์โดยเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน..... 71

4.8 การปลดปล่อยคาร์บอนของการใช้พลังงานผลิตเนื้อสุกร และ เนื้อแพะระหว่างฟาร์มกับโรงฆ่าสัตว์โดยเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน..... 72

4.9 แสดงค่า C-input ของสุกรทั้งสี่ช่วงอายุสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี..... 81

4.10 แสดงค่า C-fixation ของสุกรทั้งสี่ช่วงอายุสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี..... 82

4.11 แสดงค่า C-emission ของสุกรทั้งสี่ช่วงอายุสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี..... 82

4.12 แสดงค่า C-energy ของสุกรทั้งสี่ช่วงอายุสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี..... 83

4.13 แสดงค่า Carbon footprint ของสุกรทั้งสี่ช่วงอายุสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี..... 84

4.14 แสดงค่า Carbon footprint ของสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี..... 85

4.15 แสดงค่า Carbon massflow ของแพะในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี..... 86

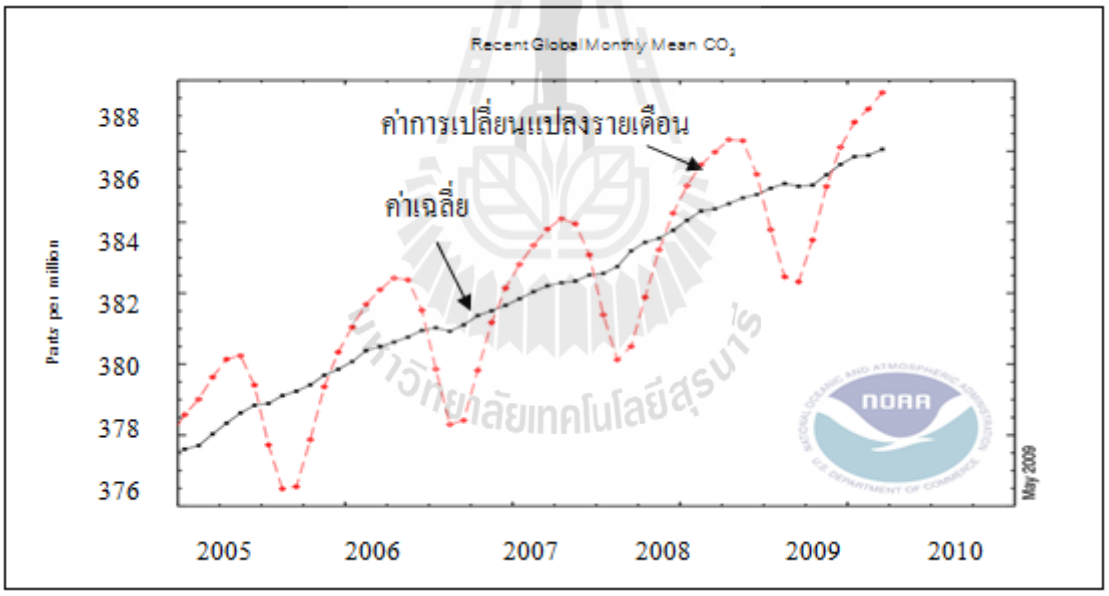
4.16 แสดงค่า Carbon footprint ของแพะในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี..... 87

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เพราะคาร์บอนเป็นโครงสร้างพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตทั้งพืช และ สัตว์ เมื่อคาร์บอนรวมตัวกับออกซิเจนอย่างสมบูรณ์จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ และ สัตว์ต่าง ๆ แก๊ส CO_2 เป็นแก๊สเรือนกระจกชนิดหนึ่งที่มีผลทำให้โลกร้อนขึ้นดังรูปที่ 1.1 และ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ (อรรถชัย จินตะเวช, 2547)

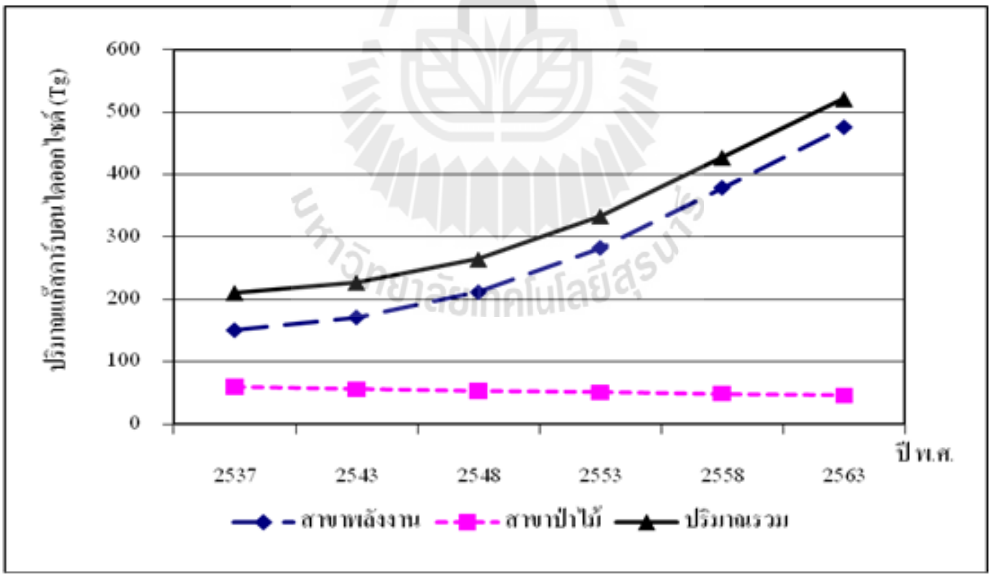


รูปที่ 1.1 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรยากาศโลก
(จาก “Trends in Atmospheric Carbon Dioxide-Global.”
โดย NOAA, 2009, [On-line]. Available:http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends)

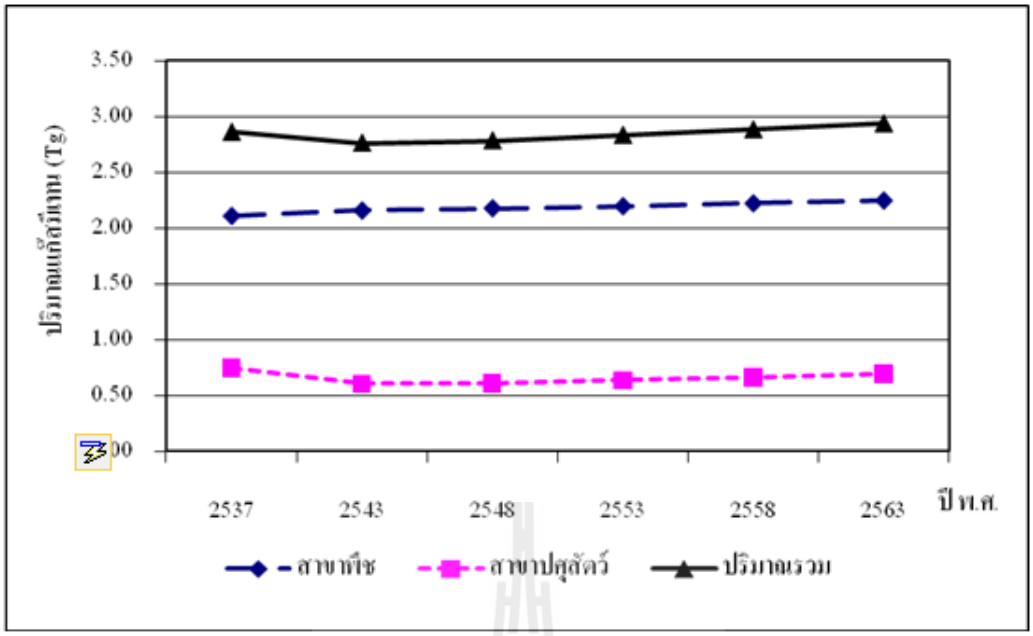
โดยที่ประชุม Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ในปี ค.ศ. 1995 ณ ประเทศอังกฤษ สรุปไว้ว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกเกิดจากแก๊สเรือนกระจกซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ การป้องกันหรือแก้ปัญหาโดยวิธีการที่มนุษย์จะต้องลดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจกลง ตัวอย่างของผลลัพธ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกคือระดับน้ำทะเลสูงขึ้น การทำปศุสัตว์เพื่อผลิตอาหารของมนุษย์จะก่อให้เกิดแก๊ส CO_2 และ CH_4 ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจก (Tamminga, 1992) ในขณะที่การใช้พลังงานสำหรับการเลี้ยงสุกร และ การเลี้ยงแพะรวมทั้งการขนส่งเนื้อสุกร และ เนื้อแพะ ก่อให้เกิดแก๊ส CO_2 ด้วยเช่นกัน (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547)

การเกิดขึ้นของสิ่งมีชีวิตทั้งพืช สัตว์ และ มนุษย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส CO_2 ในชั้นบรรยากาศ และ มหาสมุทรกลายเป็นสารประกอบอินทรีย์ และ อนินทรีย์ มีส่วนต่อการเคลื่อนย้ายคาร์บอนในระบบนิเวศของโลก ทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อน มีการสังเคราะห์สารชีวเคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต การเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานเคมีในรูปของการเจริญเติบโต ซึ่งส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากการเผาผลาญ และ การย่อยสลายของสิ่งมีชีวิต (อรรถชัย จินตะเวช, 2547) การผลิตอาหาร และการย่อยสลายต้องได้สมดุลกัน จึงจะทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ในปัจจุบันมนุษย์ได้เพิ่มอัตรา การย่อยสลายโดยการที่มนุษย์เผาถ่านหิน และ เชื้อเพลิง การทำกสิกรรม และ การเลี้ยงสัตว์เป็นสาเหตุทำให้เพิ่มปริมาณ CO_2 ในบรรยากาศมากเกินกว่าที่ผู้ผลิตหรือพืชบก พืชน้ำ รวมทั้งสาหร่ายจะนำไปใช้ได้ทัน จึงส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศของโลกในที่สุดก็ส่งผลกระทบต่อการกสิกรรม การดำรงชีวิตของพืช และ สัตว์ทั่วไปจัดเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของโลกในขณะนี้ ดังนั้นเราจึงต้องศึกษา ทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยจากการทำปศุสัตว์ และ การถ่ายเทคาร์บอนจากอาหารสัตว์ไปสู่ตัวสัตว์ รวมทั้งพลังงานที่ใช้ในการเลี้ยง การฆ่า การชำแหละ และ การขนส่ง รวมทั้งการเก็บรักษาสุกร และ เนื้อแพะหลังการฆ่า การชำแหละแล้ว (นิตยา เลาหะจินดา, 2549) สำหรับระบบนิเวศบนบก และ ในน้ำมีศักยภาพในการตรึงคาร์บอนต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และ สภาพของระบบนั้น ๆ โดยเฉพาะในด้านของความสามารถในการตรึงคาร์บอนไว้อยู่ในรูปของเนื้อสัตว์แต่ละชนิด อายุของสัตว์ รวมถึงการจัดการ ซึ่งกระบวนการถ่ายทอดคาร์บอนไปตามปีรามิดอาหารจึงเป็นกุญแจสำคัญของการศึกษานี้ ดังนั้นการตรึงคาร์บอน (carbon fixation) ในที่นี้คือการดึงคาร์บอนออกจากชั้นบรรยากาศแบบกึ่งถาวรมาอยู่ในรูปของเนื้อสัตว์ ซึ่งการสะสมปริมาณคาร์บอนสุทธิ (net carbon production) จึงเท่ากับอัตราการสะสมของปริมาณคาร์บอนระหว่างระยะของการเจริญเติบโตใน

ระยะต่างๆ ของสัตว์ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้อธิบายการหาปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยตามเวลา (time averaged C stocks) มีหน่วยวัดเป็นน้ำหนักของคาร์บอนต่อเวลา (van Noordwijk, Cerri, Woomer, Nugroho, and Bernoux, 1997; van Noordwijk, et al., 1998) ความหมายของการตรึงคาร์บอนนี้แสดงให้เห็นว่า การปลดปล่อยแก๊ส CO_2 สู่ชั้นบรรยากาศจะถูกบรรเทาได้โดยกระบวนการตรึงคาร์บอนของพืชและในรูปของเนื้อสัตว์ สำหรับการจัดทำฉลากคาร์บอนในประเทศไทยนั้น ดร.ปัญจพร เวชยันต์วิวัฒน์ จากสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ผู้ดำเนินโครงการฉลากคาร์บอน ร่วมกับองค์การบริหารจัดการแก๊สเรือนกระจกกล่าวว่า ฉลากคาร์บอนเป็นสื่อถึงผู้บริโภคว่าสินค้าชนิดนั้นปล่อยแก๊สเรือนกระจกในปริมาณเท่าไหร่ ทั้งนี้จุดประสงค์ของการทำฉลากคาร์บอน ก็เพื่อสร้างความตระหนักทางด้านกลไกการตลาดให้ผู้ประกอบการผลิตสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และเป็นข้อมูลให้กับผู้บริโภคในการเลือกซื้อสินค้า ส่วนผู้ผลิตจะได้แสดงออกถึงความรับผิดชอบต่อสังคม สร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับองค์กรหาวิธีปรับเปลี่ยนวัตถุดิบและกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานและช่วยลดต้นทุนได้ในที่สุด



รูปที่ 1.2 การประมาณการปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จำแนกตามแหล่งกำเนิดที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537-2563 (จาก Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. โดย MoSTE, 2000, Bangkok: MoSTE.



รูปที่ 1.3 การประมาณการปริมาณการปล่อยแก๊สมีเทน จำแนกตามแหล่งกำเนิดที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537-2563 (จาก Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. โดย MoSTE, 2000, Bangkok: MoSTE.)

ความเข้าใจในเรื่องรอยเท้าคาร์บอน หรือ คาร์บอนฟุตพรินท์ (Carbon Footprint) ของคนไทย และผู้ประกอบการจำนวนไม่น้อยยังขาดความเข้าใจในเรื่องคาร์บอนฟุตพรินท์ ผู้อำนวยการ องค์การบริหารจัดการแก๊สเรือนกระจก (องค์การมหาชน) กล่าวว่า เครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) ที่จะติดบนสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้น เพื่อแสดงข้อมูลให้ผู้บริโภคได้ทราบว่า ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกมาปริมาณเท่าไหร่ ตั้งแต่กระบวนการหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และ การกำจัดเมื่อกลายเป็นของเสีย ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค และ กระตุ้นให้ผู้ประกอบการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีในการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น ที่สำคัญการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ยังช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกด้วย

ประเทศไทยควรเตรียมความพร้อมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารของไทยในการวิเคราะห์ และ จัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อเตรียมความพร้อมในการตอบสนองต่อความต้องการของตลาด รักษาเสถียรภาพราคา

สินค้าเกษตร สร้างระบบประกันความเสี่ยงทางการเกษตร และ รักษาขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทย นอกจากนั้นยังเป็นโอกาสของประเทศไทยในการก้าวเป็นผู้นำด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระดับอาเซียน เพราะไทยเริ่มโครงการนี้เป็นรายแรกในภูมิภาคนี้ และยังเป็นการเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่มาตรฐานไอเอสโอ 14067 (ISO 14067) ที่มีการนำแก๊สเรือนกระจกเข้ามาพิจารณาร่วมด้วยเป็นครั้งแรก ซึ่งคาดว่ามาตรฐานสากลนี้จะเริ่มใช้กันประมาณเดือน มี.ค. 2554

ดังนั้นจากที่กล่าวมาจึงเป็นเหตุผลอย่างหนึ่งที่จะต้องทำการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนของการผลิตอาหารประเภทเนื้อ จากการทำฟาร์มสุกร และ ฟาร์มแพะโดยใช้จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี และ จังหวัดนครราชสีมาเป็นกรณีศึกษา เพราะทั้ง 3 จังหวัดที่กล่าวมาข้างต้นนั้นมีการประกอบกิจการปศุสัตว์เป็นอันดับต้นๆ ของประเทศไทย จากการบันทึกข้อมูลจากสถิติของกรมปศุสัตว์ เพื่อหาค่าอัตราการปลดปล่อย และ การถ่ายเทคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดในกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อ และ ในระบบฟาร์ม การขนส่ง การฆ่า การชำแหละซาก ตลอดจนถึงขบวนการการเก็บรักษาความสดของผลิตภัณฑ์ และ การจำหน่าย (Thanee, Dankittikul, and Keeratiurai, 2009) เพื่อใช้สำหรับเป็นฐานข้อมูลบัญชีคาร์บอนของประเทศเพื่อจัดลำดับความสำคัญของการผลิตอาหารจากการปศุสัตว์ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 น้อยที่สุด ซึ่งสัตว์ที่เลือกศึกษานั้นยังไม่มีการศึกษาการทำ carbon footprint ในประเทศไทยส่วนปศุสัตว์ที่สำคัญเช่น โคเนื้อ โคนม สุกร ไก่เนื้อ และ ไก่ไข่ทางคณะวิจัยได้ทำการศึกษาไปแล้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยเรื่องการศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนสำหรับการผลิตอาหารจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในประเทศไทยนี้คือ

2.1 เพื่อพัฒนาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับการผลิตอาหารประเภทเนื้อสุกร และ เนื้อแพะ จากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในประเทศ

2.2 เพื่อศึกษาอัตราการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจากอาหารสัตว์ไปสู่สัตว์ชนิดต่าง ๆโดยการกินตามห่วงโซ่อาหารก่อนถึงผู้บริโภคขั้นสุดท้าย

2.3 เพื่อศึกษาปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานที่มีส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อสุกร และ เนื้อแพะในประเทศไทย

2.4 เพื่อเสนอแนะ การปรับการเลี้ยงสัตว์ประเภทที่มีการปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศลดลงแต่ได้ปริมาณเนื้อสัตว์ใกล้เคียงกับของเดิม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

เพื่อให้การศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อสุกร และ เนื้อแพะ เพื่อพัฒนาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการทำฟาร์มปศุสัตว์ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวไว้ข้างต้น จึงได้กำหนดขอบเขตการวิจัยโดยได้อาศัยข้อมูลปศุสัตว์ในจังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี และ จังหวัดนครราชสีมา เป็นกรณีศึกษาเพราะเป็นจังหวัดที่มีการทำฟาร์มสุกร และ ฟาร์มแพะ เป็นอันดับต้นของประเทศไทย

การศึกษานี้จะต้องลงพื้นที่เพื่อสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับสัตว์ทั้ง 2 ประเภท 3 จังหวัด ได้แก่ สุกร และ แพะ ในจังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี และ จังหวัดนครราชสีมา ที่มีการเลี้ยงอยู่จริงในฟาร์มของเกษตรกรโดยไม่คำนึงถึงเพศของสัตว์ในแต่ละชนิด

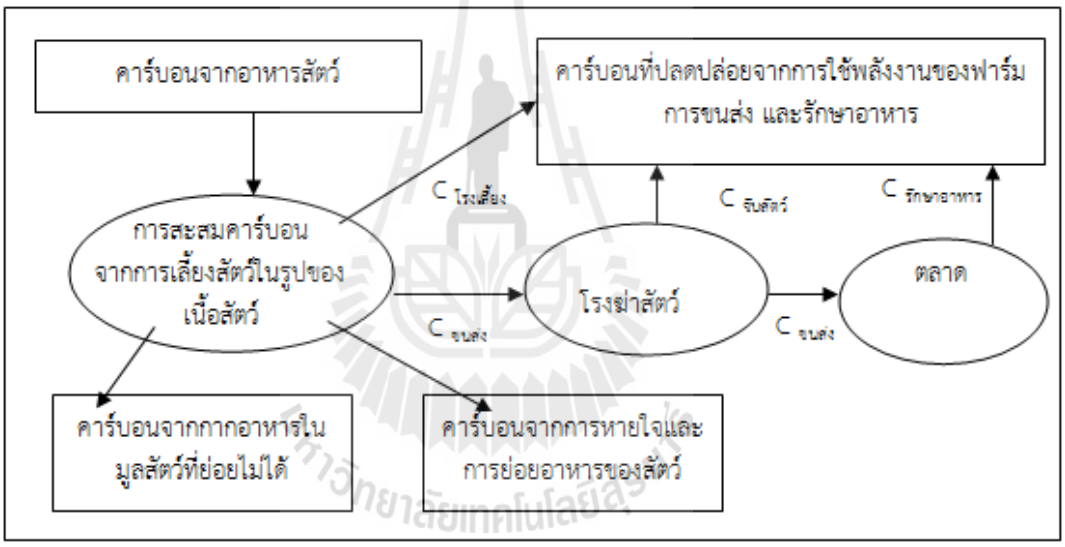
สัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาจะต้องมีอายุอยู่ในช่วงที่จะใช้ประโยชน์หรือให้เนื้อเท่านั้น การศึกษานี้เน้นที่สัตว์ ซึ่งถูกเพาะเลี้ยงโดยมีลักษณะของการกินที่ทราบชนิด และ ปริมาณของอาหารที่สัตว์กินอย่างแน่นอนในทุก ๆ อำเภอของจังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี และ จังหวัดนครราชสีมา โดยจะเน้นแหล่งข้อมูลที่มีระบบการจัดการในรูปฟาร์มที่มีการขึ้นทะเบียนเป็นหลัก การประเมิน และ วิเคราะห์ระบบจะพิจารณาเสมือนระบบอยู่ในสภาวะสมดุลโดยอาศัยหลักการของการถ่ายเทมวลคาร์บอน ซึ่งการประเมินปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งจากตัวสัตว์ และ จากการใช้พลังงาน รวมทั้งการตรึงคาร์บอนของสัตว์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงถึงปริมาณคาร์บอนสุทธิที่ใช้ในการผลิตอาหารประเภทเนื้อจากสัตว์ โดยการสะสมคาร์บอนซึ่งสามารถคำนวณจากปริมาณคาร์บอนในอาหารสัตว์ที่ใช้ในการเลี้ยง ลบด้วยปริมาณคาร์บอนต่อตัวต่อวันที่ถูกปลดปล่อยออกมาพร้อมกับสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ ในรูปของกากอาหารที่สัตว์ไม่สามารถย่อยได้ จากการหายใจรวมทั้งจากการย่อยอาหารของสัตว์ตลอดระยะเวลาของการเลี้ยงสัตว์ จนถึงอายุที่สามารถจำหน่ายในรูปของผลิตภัณฑ์จากสัตว์ชนิดดังกล่าวได้ และ คาร์บอนเฉลี่ยที่ปลดปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานในการเลี้ยงสัตว์ ขนส่ง ฆ่าและชำแหละสัตว์ โดยมีพลังงานส่วนสำคัญใหญ่ 4 ส่วน ที่เกี่ยวข้องได้แก่

1. ปริมาณพลังงานไฟฟ้า หรือน้ำมันที่ใช้ในฟาร์มเพื่อการปศุสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)

2. ปริมาณพลังงานไฟฟ้า น้ำมัน แก๊ส LPG ฟืนหรือแกลบที่ใช้ในการฆ่าและชำแหละซากสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)

3. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในการเก็บรักษาเนื้อสัตว์แช่แข็ง (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)

4. ปริมาณพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งเนื้อสุกรและเนื้อแพะไปยังตลาดหรือโรงงานแปรรูป (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)



รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการผลิตอาหารจากสัตว์และความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณคาร์บอนที่ใช้

บทที่2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย (Theory, Hypothesis and Conceptual Framework)

ระบบนิเวศและความสัมพันธ์เชิงระบบ (Ecosystems and System Relationship) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต และ สิ่งแวดล้อมเป็นการศึกษาศาสตร์นิเวศวิทยา (ecology) ซึ่งเป็นการศึกษาการประกอบกันของกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่เรียกว่าระบบนิเวศ (ecosystem) มุ่งเน้นการศึกษาในระดับประชากร (population) ชุมชน (community) และ ระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิต โดยสนใจบทบาทหรือการดำรงชีวิตการหมุนเวียนของสารและพลังงานอันนำไปสู่การเจริญเติบโตของพืช และ สัตว์ซึ่งมีกระบวนการของสิ่งมีชีวิตที่สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมที่หลากหลายเพื่อนำไปสู่ความสมดุลของระบบ (มุกดา สุขสมาน, 2536) ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า ระบบนิเวศหมายถึง ระบบของความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิต และ สิ่งไม่มีชีวิตที่มีปฏิสัมพันธ์กัน โดยการแลกเปลี่ยนสสาร แร่ธาตุ การถ่ายทอดพลังงานกับสิ่งแวดล้อมผ่านห่วงโซ่อาหาร (food chain) มีลำดับขั้นของการกินเป็นทอด ๆ การจำแนกองค์ประกอบของระบบนิเวศส่วนใหญ่จะจำแนกเป็น 2 องค์ประกอบใหญ่ ๆ คือ องค์ประกอบที่มีชีวิต (biotic components) และองค์ประกอบที่ไม่มีชีวิต (abiotic components) องค์ประกอบที่มีชีวิตในระบบนิเวศจะมีบทบาท และ หน้าที่ (ecological niche) เฉพาะอย่าง

องค์ประกอบที่มีชีวิตในระบบนิเวศ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับดังนี้

ก. ผู้ผลิต (producer) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างอาหารได้เองจากสารอนินทรีย์ โดยการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) ซึ่งส่วนมากจะเป็นพืชที่มีคลอโรฟิลล์ โดยรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ แล้วเปลี่ยนพลังงานให้เป็นพลังงานเคมี โดยอยู่ในรูปของสารอาหารได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ดังสมการที่ 2.1

แสงและคลอโรฟิลล์

$$6CO_2 + 12H_2O \text{ ----------> } 6(CH_2O) + 6O_2 + 6H_2O \qquad (2.1)$$

ข. ผู้บริโภค (consumers) หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้แต่จะดำรงชีวิตได้โดยการบริโภคสารอาหารจากสิ่งมีชีวิตอื่น ซึ่งสามารถจำแนกผู้บริโภคออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 ผู้บริโภคที่กินพืชเป็นอาหาร (herbivores) เช่น วัว ควาย ช้าง ตั๊กแตน

กลุ่มที่ 2 ผู้บริโภคที่กินสัตว์เป็นอาหาร (carnivores) เช่น สิงโต เสือ ปลาฉลาม งู

กลุ่มที่ 3 ผู้บริโภคที่กินทั้งพืชและสัตว์เป็นอาหาร (omnivores) เช่น หมู ไก่ คน

ค. ผู้ย่อยสลาย (decomposers) หมายถึง สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่สร้างอาหารเองไม่ได้ ทำหน้าที่ย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วในรูปของสารประกอบโมเลกุลใหญ่ จนกลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็กในรูปของสารอาหาร ปลดปล่อยสารอาหารกลับคืนสู่พื้นดิน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของผู้ผลิตนำไปใช้ได้ใหม่เช่น แบคทีเรีย เห็ดรา

องค์ประกอบที่ไม่มีชีวิต สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ

ก. สารอนินทรีย์ (inorganic substances) ประกอบด้วย แร่ธาตุและสารอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเซลสิ่งมีชีวิต เช่น คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

ข. สารอินทรีย์ (organic compound) ได้แก่ สารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อชีวิต เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และฮิวมัส เป็นต้น

ค. สภาพภูมิอากาศ (climate regime) ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อสิ่งมีชีวิต เช่น อุณหภูมิ แสง ความชื้น อากาศ และพื้นผิวที่อยู่อาศัย ซึ่งรวมเรียกว่าปัจจัยจำกัด (limiting factors) แหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดในระบบนิเวศ คือ พลังงาน (energy) จากดวงอาทิตย์สารเคมีในรูปของอินทรีย์สารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงได้แก่คาร์โบไฮเดรตและสารเคมีในรูปของอนินทรีย์สาร ได้แก่ ออกซิเจน และ น้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบเข้าด้วยกันในรูป ของการรับและการให้อาหารตามห่วงโซ่อาหาร

วัฏจักรของแร่ธาตุในระบบนิเวศแบ่งตามการหมุนเวียนทางชีวธรณีเคมีมี 2 ชนิด คือ

1 วัฏจักรในธรณีภาค (lithospheric cycles) เป็นวัฏจักรที่มีการหมุนเวียนของแร่ธาตุที่ถูกปลดปล่อยจากหินตะกอน ดินต่างๆโดยกระบวนการชะล้าง (weathering) แหล่งสะสมส่วนใหญ่จึงอยู่ที่ผิวโลกส่วนธรณีภาค (lithosphere) เช่น ฟอสฟอรัส และ กำมะถัน เป็นต้น วัฏจักรในธรณีภาคนี้มักมีลักษณะสำคัญ คือ จะมีแหล่งสะสม (sink) ที่ธาตุเหล่านี้จะถูกตรึงเอาไว้เป็นเวลานานนอกวัฏจักร และ จะมีการหมุนเวียนนำกลับมา

ใช้ในวัฏจักรใหม่โดยการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก (นิตยา เลาหะจินดา, 2549) ธาตุจากแหล่งเก็บกักสามารถหมุนเวียนสู่แหล่งพร้อมสู่กระบวนการ เพื่อให้พืชและสัตว์ลำเลียงไปใช้ในห่วงโซ่อาหาร ตัวอย่างเช่นแหล่งแร่ธาตุในดินจะถูกพืชดึงขึ้นมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และ เก็บส่วนหนึ่งไว้ในส่วนต่างๆ ของพืชและสัตว์ และธาตุจะกลับคืนสู่ดิน เมื่อเกิดการเน่าสลายของพืช และ สัตว์ ส่วนแหล่งแร่ธาตุอีกส่วนหนึ่งก็จะถูกชะล้างพังทลายโดยลม ฝน น้ำ ฯลฯ เพื่อลำเลียงธาตุสู่แม่น้ำทะเล มหาสมุทร สู่การกินของพืชและสัตว์เล็กๆ ในแหล่งน้ำ เช่นแพลงตอน ปลา และ มนุษย์ในที่สุด บางส่วนก็สามารถ ฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศ เช่น ซัลเฟอร์ คลอรีน เมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงธาตุก็เกิดการแปรสภาพเป็นตะกอนในทะเล มหาสมุทร เป็นการแปรสภาพกลับคืนสู่แหล่งเก็บกักของธาตุโดยอยู่ในรูปของแหล่งแร่ธาตุเช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โปรแตสเซียม เป็นต้น

2. วัฏจักรในบรรยากาศ (atmospheric cycles) เป็นการหมุนเวียนของแร่ธาตุที่มีแหล่งสะสมส่วนใหญ่อยู่ในบรรยากาศ ในสถานะแก๊สเช่น คาร์บอน หรือไนโตรเจน ส่วนใหญ่จะเป็นวัฏจักรที่ใช้เวลาไม่ยาวนานนัก

การหมุนเวียนทางชีวธรณีเคมีจะเริ่มจากแหล่งแร่ธาตุ (pool) ซึ่งจะมี 2 ชนิด คือ แหล่งธาตุพร้อมสู่กระบวนการ (active pool) คือแหล่งแร่ธาตุที่อยู่ในรูปและสถานที่ง่ายต่อการใช้ของกระบวนการดำรงชีวิตของพืช และ สัตว์เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ในบรรยากาศ และแหล่งธาตุเก็บกัก (storage pool) คือแหล่งแร่ธาตุที่นำเข้าสู่การดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตได้ยาก แหล่งธาตุพร้อมสู่กระบวนการจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากกว่าและ เร็วกว่าแหล่งธาตุเก็บกักตัวอย่าง เช่น ในวัฏจักรขอคาร์บอนกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และกระบวนการหายใจของพืชเป็นการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งเป็นแหล่งธาตุพร้อมสู่กระบวนการระยะเวลาอาจจะเกิดขึ้นสั้น ๆ ในขณะที่การแปรสภาพจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นแหล่งธาตุเก็บกักจะใช้เวลาหลายล้านปี

วัฏจักรคาร์บอน (carbon cycle) มีการหมุนเวียนคาร์บอนเกิดขึ้นระหว่างสิ่งมีชีวิตด้วยกันเป็นหลัก โดยเกิดขึ้นผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ และ การย่อยสลาย นอกจากนี้ยังมีการเผาไหม้ (combustion) ของเชื้อเพลิง และ การผุพังอยู่กับที่ (weathering) ของหินปูนเข้ามาร่วมในวัฏจักรด้วย ธาตุคาร์บอนเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของสารประกอบหลักที่ประกอบเป็นเซลล์ของสิ่งมีชีวิต หรือกล่าวได้ว่าคาร์บอนเป็นโครงร่างของสารประกอบอินทรีย์ทุกชนิด ดังนั้นจึงมีความสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิต วัฏจักรคาร์บอนอาจเริ่มที่พืชดึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศไปใช้เพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสงกระบวนการนี้เป็น

ขั้นตอนสำคัญที่ดึงคาร์บอนจากบรรยากาศมาใช้ จากนี้ธาตุคาร์บอนจะมีการหมุนเวียนไปตามห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศในสภาพสารอินทรีย์ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ธาตุคาร์บอนจะหมุนเวียนกลับแหล่งสะสมในบรรยากาศใหม่โดยการหายใจของสิ่งมีชีวิต และ การย่อยสลายซากของจุลินทรีย์รวมถึงผู้ย่อยสลายอื่นๆ ซึ่งได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่บรรยากาศใหม่ดังรูปที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอื่นที่ไม่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีการหมุนเวียนคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ เช่นเดียวกับกระบวนการ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต เช่น ซากสิ่งมีชีวิตที่ถูกทับถมภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนนับร้อยล้านปีเกิดเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล ที่ถูกนำไปใช้ในการเผาไหม้ เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ จนเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะเรือนกระจก (greenhouse effects) ขึ้นทั่วโลก คาร์บอนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าสู่พืชจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด และคาร์โบไฮเดรตนี้จะสลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดในกระบวนการหายใจ สารอนินทรีย์คาร์บอนสะสมอยู่ในหลายแหล่งภายในระบบนิเวศ เนื่องจากการแลกเปลี่ยนหรือไหลผ่าน คาร์บอนที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำ และ อากาศเป็นไปอย่างช้ามาก ธาตุคาร์บอนในสภาพหินปูน (carbonate rock) อาจมีการผุกร่อนตามธรรมชาติ และ มีการชะล้าง สะสมในแหล่งน้ำเป็นสารละลายคาร์บอเนต ซึ่งพืชน้ำจะนำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ต่อไป บางส่วนของสารละลายคาร์บอเนตซึ่งมักอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิกจะแตกตัวให้ CO_2 และน้ำ แก๊ส CO_2จากปฏิกิริยาการแตกตัวจะซึมผ่านผิวหน้าน้ำกลับสู่บรรยากาศได้ปฏิกิริยาของ CO_2 ในน้ำสามารถสรุปได้ดังสมการที่ 2.2 - 2.5 โดยสมการเคมีของ CO_2 ในน้ำนี้จะเป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดได้ทั้งสองทาง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ในน้ำ เช่น pH และอุณหภูมิ

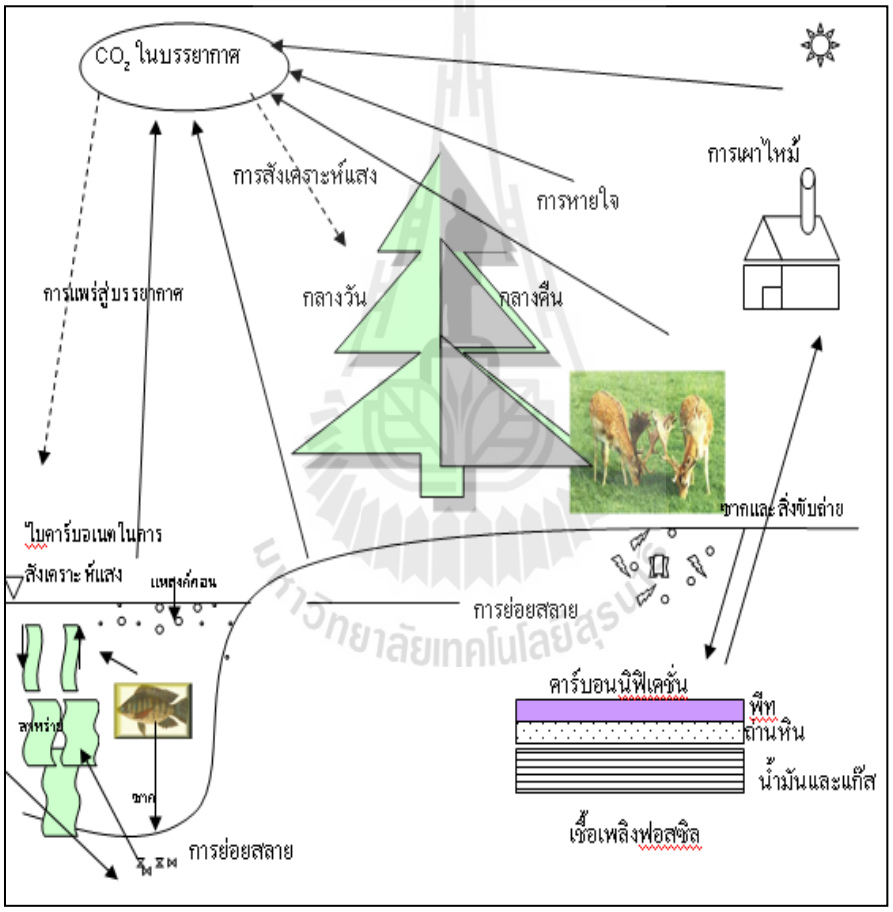
$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 \text{ (กรดคาร์บอนิก)} \quad (2.2)$$

$$H^2CO^3 \longrightarrow H^+ + HCO^{-3} \text{ (ไบคาร์บอเนตอิออน)} \quad (2.3)$$

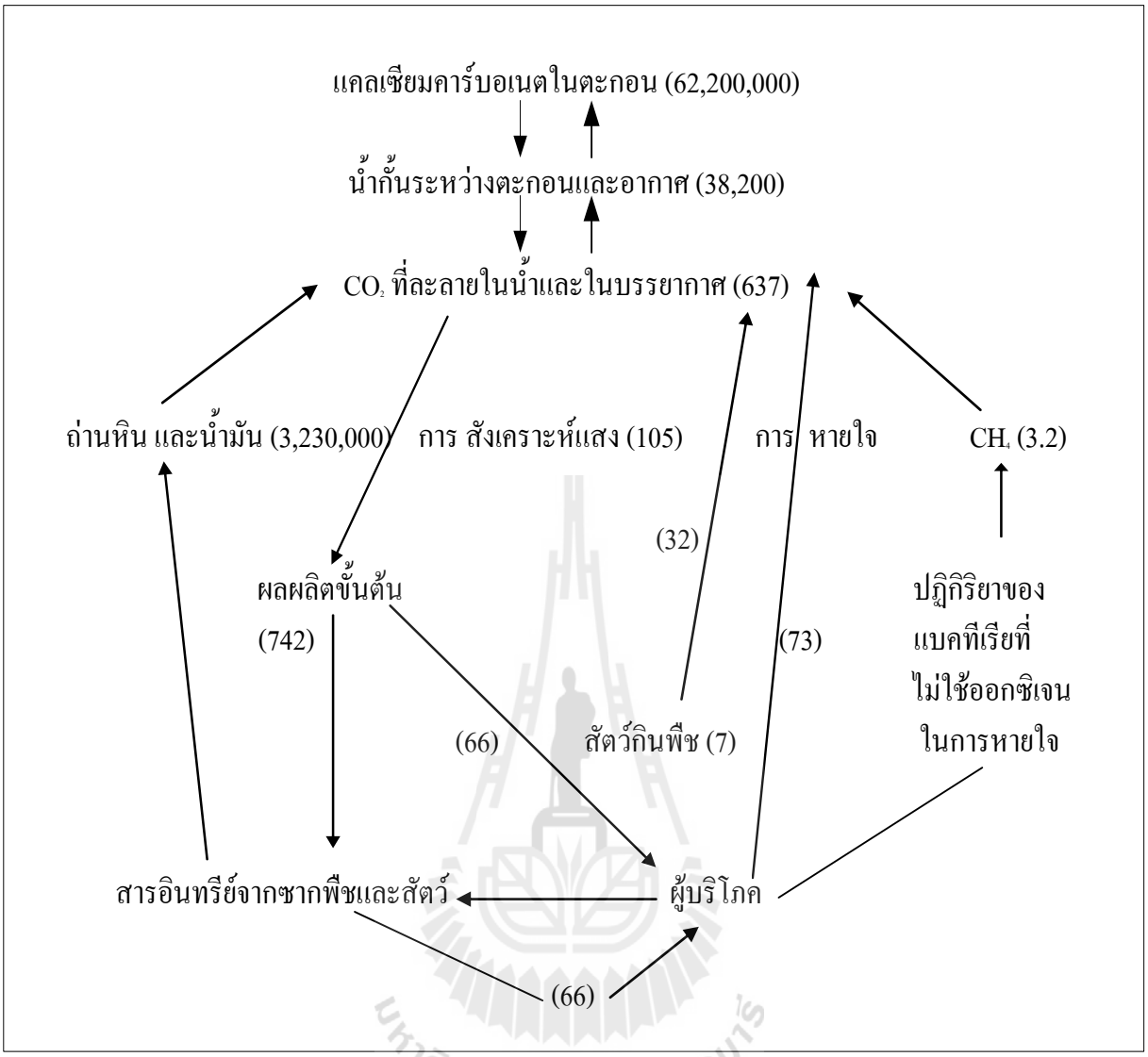
$$HCO^{-3} \longrightarrow H^+ + CO_3^{2-} \text{ (คาร์บอเนตอิออน)} \quad (2.4)$$

$$CO_3^{2-} + \text{อิออนบวก เช่น } Ca^{2+} \longrightarrow CaCO_3 \text{ (เกลือคาร์บอเนต)} \quad (2.5)$$

ดังนั้นวัฏจักรคาร์บอนในน้ำ และ บนบกจึงค่อนข้างจะแยกออกจากกัน โดยวัฏจักรของคาร์บอนที่บ่งบอกถึงปริมาณของคาร์บอนจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ปริมาณการปล่อย CO_2 สู่บรรยากาศของโลกเพิ่มขึ้นทุกที อาจกล่าวได้ว่าในศตวรรษหน้าความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศจะมีถึง 2 เท่าของปัจจุบัน เนื่องจาก CO_2 เป็นแก๊สที่มีความสำคัญต่อการกำหนดคุณภาพของอากาศในโลก ดังนั้น ถ้ามีแก๊ส CO_2 มากเป็น 2 เท่า จะทำให้อากาศรอบ ๆ โลกร้อนขึ้นประมาณ 1.5 ^{0}ซ – 4.5 ^{0}ซ อีกทั้งการเพิ่มประชากรมนุษย์ของโลก ทำให้มีการตัดไม้ทำลายป่ากระจายไปทั่วโลกโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา เมื่อต้นไม้หมดไปจึงไม่มีต้นไม้มาซึมซับแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้น (มุกดา สุขสมาน, 2536)



รูปที่ 2.1 วัฏจักรคาร์บอน มีการหมุนเวียนในระบบนิเวศโดยผ่านการสังเคราะห์แสง การหายใจ การย่อยสลาย และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (จาก Ecology and Field Biology, Smith, 1974, New York : Harper and Row อ้างถึงใน นิตยา เลาหะจินดา, 2549, นิเวศวิทยา : พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา)



รูปที่ 2.2 วัฏจักรคาร์บอน และปริมาณคาร์บอนในรูปแบบต่าง ๆ มีหน่วยเป็น 1015 กรัม
(จาก Ecology, โดย Ricklefs, 1973, Massachusetts : Chirm Press,
อ้างถึงในอู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์, 2531, นิเวศวิทยา
(หน้า 115-117), กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช)

2.2 หลักการวิเคราะห์การกระจายหรือถ่ายเทมวลของคาร์บอน (carbon mass flow concept)

กิจกรรมของมนุษย์สำหรับการผลิตอาหารอย่างหนึ่งที่สำคัญคือ กิจกรรมจากการปศุสัตว์ ซึ่งส่งผลให้เกิดการถ่ายเทคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ไปสู่สัตว์ ตามระบบห่วงโซ่อาหาร เพื่อที่สัตว์จะนำคาร์บอนจากอาหาร

สัตว์ไปสะสม และ สร้างเป็นเนื้อเพื่อเป็นอาหารของมนุษย์ ดังนั้นวิธีการคำนวณเพื่อที่จะทราบข้อมูลการถ่ายเทคาร์บอนสามารถทำได้โดยอาศัยสมการดังนี้

อัตราการถ่ายเทคาร์บอน = จำนวนสัตว์ x ปัจจัยการถ่ายเทคาร์บอนต่อหน่วย (2.6)

โดยที่ UNECE Task Force on Emission Inventories and Projections; UNECE TFEIP (2004) ได้อธิบายถึง การกระจายหรือการถ่ายเทของมวลคาร์บอนจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ไว้ โดยอาศัยหลักของการอนุรักษ์มวล (mass conservation) ซึ่งจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษานี้ โดยวิธีการคำนวณ การถ่ายเทหรือการกระจายมวลทั้งหมดของคาร์บอนจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ ในรูปของน้ำหนักคาร์บอนต่อตัวของสัตว์ ที่น้ำหนักถูกฆ่าเฉลี่ย เช่น กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว หรือน้ำหนักคาร์บอนต่อพื้นที่ ในแต่ละแหล่งที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ที่ระยะเวลาในการเลี้ยงเฉลี่ย เช่น กิโลกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตร เพื่อความเข้าใจได้ง่ายขึ้นจะสามารถแสดงการถ่ายเทคาร์บอนในแต่ละกิจกรรมได้ดังรูปที่ 4.3 และ สามารถเขียนเป็นสมการการถ่ายเทคาร์บอนได้ดังนี้

$$Etotal = Emetabolic + Egrazing + Ehousing + Estorage + Espreading \quad (2.7)$$

โดยที่

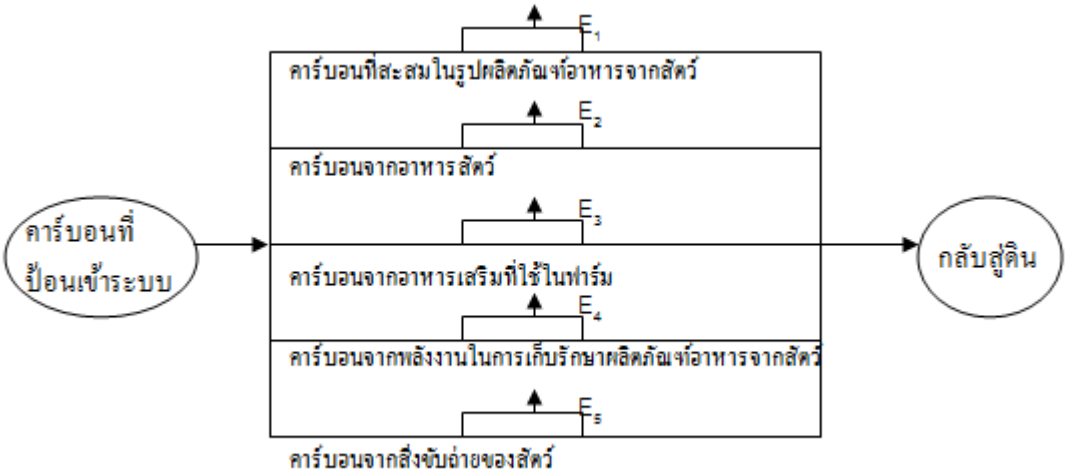
Etotal = คาร์บอนจากการถ่ายเททั้งหมด (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว)

Emetabolic = คาร์บอนที่สะสมในตัวสัตว์ ในรูปของเนื้อ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว)

Egrazing + Ehousing = คาร์บอนจากอาหารสัตว์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์ จากทุ่งหญ้า และจากการให้อาหารเสริมในโรงเรือน (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว)

Estorage = คาร์บอนของพลังงานความเย็นที่ใช้ในการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว)

Espreading = คาร์บอนในรูปของสิ่งขับถ่ายจากสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัว)



รูปที่ 2.3 ระบบการถ่ายเทคาร์บอนในแต่ละกิจกรรมของการทำฟาร์มปศุสัตว์ (จาก “Task Force on Emission Inventories and Projections”, โดย UNECE, 2004, [On-line]. Available: http://tfeip-secretariat.org/unece.htm)

ซึ่งเมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์กับจำนวนของสัตว์แต่ละชนิด (nanimal) ดังนั้น จำนวนคาร์บอนที่ถ่ายเทมาอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์ทั้งหมด ของสัตว์แต่ละชนิด ในแต่ละอำเภอหรือของจังหวัดนครราชสีมา สามารถคำนวณได้โดยอาศัย ผลรวมของปัจจัยการถ่ายเทคาร์บอนในแต่ละส่วนกิจกรรมของสัตว์แต่ละชนิด ดังนี้

Etotal = nanimal x (EFmetabolic + EFgrazing + EFhousing + EFstorage + EFspreading) (2.8)

เมื่อ n = จำนวนของสัตว์แต่ละชนิด ในแต่ละพื้นที่

EF = ปัจจัยของการถ่ายเทคาร์บอนมาอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์แต่ละชนิด (กิโลกรัมคาร์บอน ต่อตัว ต่อพื้นที่) โดยคิดที่น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของสัตว์ที่ถูกจับเป็นอาหารประเภทเนื้อ หรือระยะเวลาเฉลี่ยในการเลี้ยงสัตว์จนจับมาเป็นอาหาร

Ministry of Science, Technology and Environment (MoSTE) (2000) ได้รายงานข้อมูลปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537 ในรายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อมดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537

แก๊ส	ปริมาณการปล่อยแก๊ส (พันตัน)	GWP* (เท่า)	เทียบเท่า CO_2 (พันตัน)	ร้อยละ
คาร์บอนไดออกไซด์	202,458.05	1	202,458	70.69
มีเทน	3,171.35	21	66,598	23.25
ไนตรัสออกไซด์	55.86	310	17,317	6.06
รวม			286,373	100.00

หมายเหตุ : * GWP = Global Warming Potential (จาก Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. โดย MoSTE, 2000, Bangkok: MoSTE.)

รายงานถึงสนธิสัญญาที่นานาประเทศจะต้องทำการลดการกระจายสารมลพิษทางอากาศ รวมถึงการจัดทำรายงานข้อมูลมลพิษทางอากาศให้นานาประเทศรับรู้ โดยหนึ่งในการพิจารณาที่จะต้องลดสารมลพิษทางอากาศหรือรายงานสภาพสารมลพิษคือ มลพิษจากแหล่งกำเนิดทางเกษตรกรรมโดยเฉพาะจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ ซึ่งวิธีคิดเพื่อหาการกระจายของสารมลพิษในปัจจุบันได้รับการปรับปรุงล่าสุด โดยอาศัยการคำนวณอัตราการกระจายสารมลพิษจากปัจจัยการกระจายในแต่ละส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษต่าง ๆ เช่นจากโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ จากการจัดการมูลสัตว์เป็นต้น โดยใช้หลักการถ่ายเทมวล (massflow concept) สำหรับสารทั้งไนโตรเจนและคาร์บอนจากแหล่งของการกระจายมลพิษทางอากาศต่างกันก็จะทำให้ค่าปัจจัยการกระจาย (emission factor) ต่างกันด้วย (Dammgen and Webb, 2006)

IPCC ได้อธิบายถึงองค์ประกอบหลักของวัฏจักร CO_2 ในบรรยากาศ โดยค่าในสมการจะเป็นค่าเฉลี่ยของคาร์บอนต่อปี (Pg C ต่อ ปี [1Pg = 1015g]) ในปี ค.ศ. 1980 - 1989 ดังสมการ (IPCC and Schimel, 1995)

$$E_{ff} + E_{trop} = \Delta_{atm} + \Delta_{ocean} + (\Delta_{trop} + \Delta_{other}) \quad (2.9)$$

$5.5 \pm 0.5 \quad 1.6 \pm 1.0 \quad 3.3 \pm 0.2 \quad 2.0 \pm 0.8 \quad 1.8 \pm 1.6$

โดยที่ E_{ff} = อัตราของการกระจายแก๊ส CO_2 จากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง และการผลิตซีเมนต์

E_{trop} = อัตราของการกระจายแก๊ส CO_2 จากการทำลายป่า

Δ_{atm} = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศ

Δ_{ocean} = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในมหาสมุทร

$\Delta_{trop} + \Delta_{other}$ = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในระบบนิเวศป่าเขตร้อนและระบบนิเวศบนบกอื่น ๆ

ซึ่งค่าของ E_{ff} และ Δ_{atm} ในสมการ ได้ถูกประมาณค่าไว้อย่างเป็นเหตุเป็นผลและมีความถูกต้อง แต่ค่าของ C ในเทอมอื่น ๆ ของสมการ ยังขาดความแน่นอนและขาดความถูกต้อง โดยเฉพาะจากแหล่งเก็บสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศบนบก (Δ_{other}) ซึ่งยังคงต้องการ การศึกษาวิจัยถึงปริมาณ C ในระบบนิเวศบนบกนี้โดยละเอียด

การคำนวณหาขนาดตัวอย่างจากการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าจริงกับค่าประมาณใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนั้นการหาขนาดตัวอย่าง จึงต้องมีการกำหนด ความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยค่าสถิติ ซึ่งขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ระดับความเชื่อมั่น หรือ ระดับนัยสำคัญ และความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมให้เกิดในการประมาณค่าเฉลี่ยประชากร (μ) ด้วยค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ($\overline{X}$) (กัลยา วานิชย์บัญชาฒ 2545; Devore, 1999; Mc Bean and Rovers, 1998)

ถ้าต้องการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรโดยให้มีความผิดพลาดไม่เกินค่า e แล้วค่าประมาณแบบช่วงของค่าเฉลี่ยประชากรจะเท่ากับ $\overline{X} \pm e$ ดังนั้น

$$n = \left[\frac{Z_{1-\alpha/2}\sigma}{e}\right]^2 \qquad (2.10)$$

วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของ Yamane ซึ่งเป็นวิธีการหาขนาดตัวอย่างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาวิจัย เพื่อหาจำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดซึ่งส่วนมากได้กำหนดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดระหว่างค่าจริงและค่าประมาณอยู่ที่ร้อยละ 0.05 โดยสูตรการกำหนดขนาดตัวอย่างของ คือ (Yamane, 1973)

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (2.11)$$

เมื่อ n = ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

N = ขนาดประชากรทั้งหมด

e = ระดับความคลาดเคลื่อน (0.05)

เพื่อความสะดวกได้มีทำตารางสำเร็จรูปของ Yamane (1973) โดยอาศัยการคำนวณจากสูตรดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การกำหนดขนาดตัวอย่างของ Taro Yamane

ขนาดประชากร	ขนาดตัวอย่างความคลาดเคลื่อน (e) = ± 5%
500	222
1,000	286
2,000	333
3,000	353
5,000	370
8,000	381
10,000	385
15,000	390
20,000	392
25,000	394
50,000	397
100,000	398

หมายเหตุ : Mathematics for Economists : An Elementary Survey, Yamane, 1973, New Delhi : Prentice-Hall.

ผลงานของประธาน เกิดกล่ำ ที่ทำเพื่อขอรับการประเมินเลื่อนขึ้นแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งสูงขึ้น โดยในผลงานดังกล่าวได้ใช้วิธีการศึกษาจำนวนตัวอย่างประชากรในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เกษตรกรอาสาพัฒนาปศุสัตว์ ประจำหมู่บ้าน (อพปม.) จังหวัดน่าน ที่ยังคงปฏิบัติงานในปี 2547 จำนวน 858 คน โดยขนาดตัวอย่าง

คำนวณตามสูตรของ Yamane (Yamane, 1973) ซึ่งมี ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง (e) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้การสุ่มตัวอย่าง อพปม.แบบง่าย (Simple random sampling) ในแต่ละอำเภอได้ตัวอย่างทั้งสิ้นรวม 276 ตัวอย่าง (ประธาน เกิดกล่ำ, 2549)

การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นว่าทุกหน่วยประชากรได้มีโอกาสรับเลือกเป็นตัวแทนของประชากร งานวิจัยนิยมกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างตามวิธีของ ทาโร ยามาเน่ (Yamane, 1973) หรือ (Krejcie and Morgan, 1970) การที่จะให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความสำคัญของปัญหา โดยทั่วไปแล้วมักจะยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ 5% (ปรารถนา ยศสุข, 2551)

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ Robert V. Krejcie แห่งมหาวิทยาลัย Minisota และ Earyle W. Morgan แห่งมหาวิทยาลัย Texas ได้สร้างตารางขนาดประชากร และขนาดกลุ่มตัวอย่างขึ้นมา เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถเลือกขนาดของกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยไปใช้ได้โดยในตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างขนาดของกลุ่มตัวอย่างงานวิจัยจากจำนวนประชากร (Krejcie and Morgan, 1970)

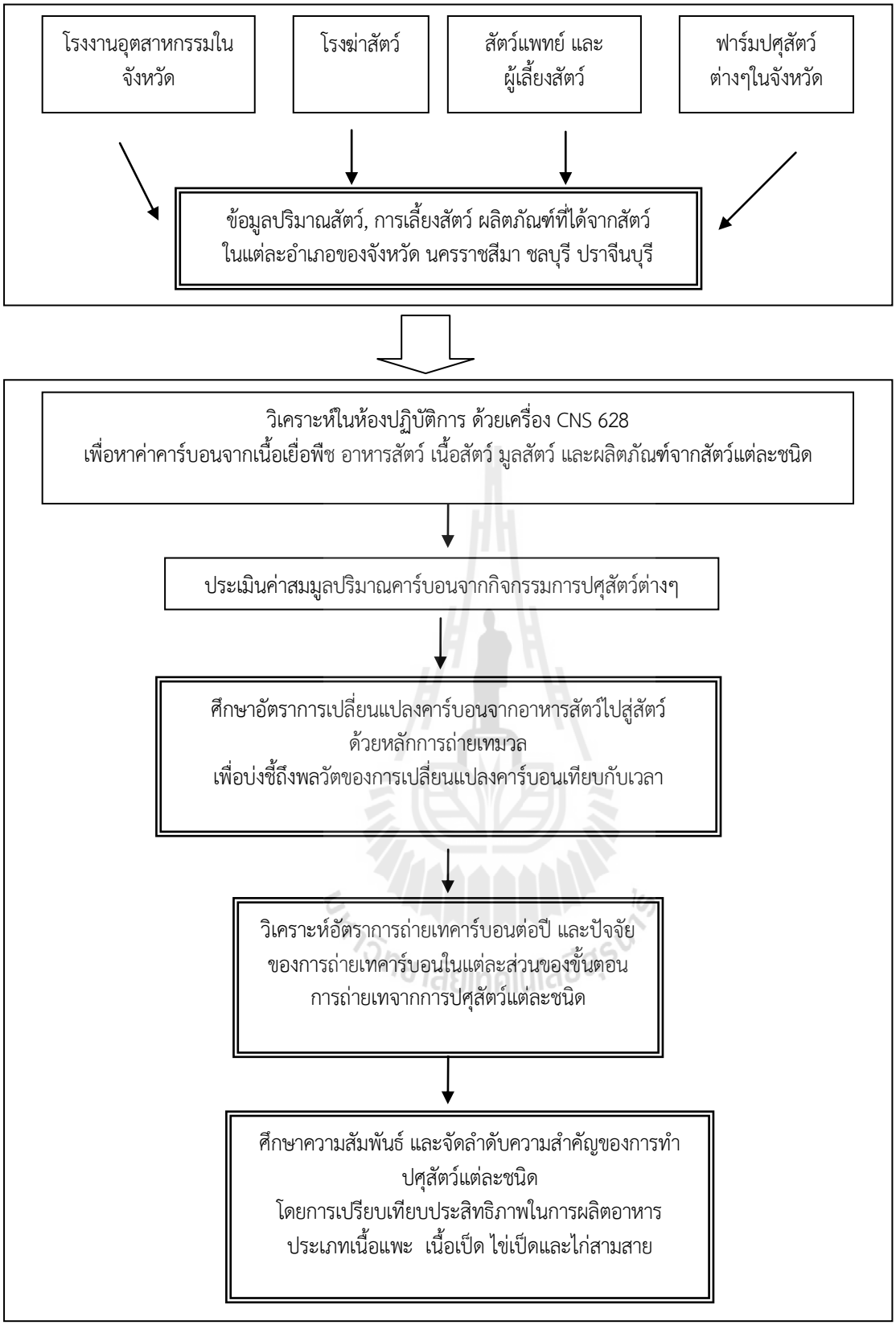
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างจำนวนประชากรและจำนวนกลุ่มตัวอย่างของ Krejcie and Morgan

จำนวนประชากร	จำนวนตัวอย่าง	จำนวนประชากร	จำนวนตัวอย่าง
100	80	200	132
300	169	400	196
500	217	750	254
1000	278	1500	306
2000	322	3000	341
4000	351	5000	357
7000	364	9000	368
15000	375	20000	377
40000	380	50000	381
75000	382	100000	384

หมายเหตุ : Educational and Psychological Measurement (608-609), Krejcie and Morgan, 1970.

2.3 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย (Conceptual Framework)

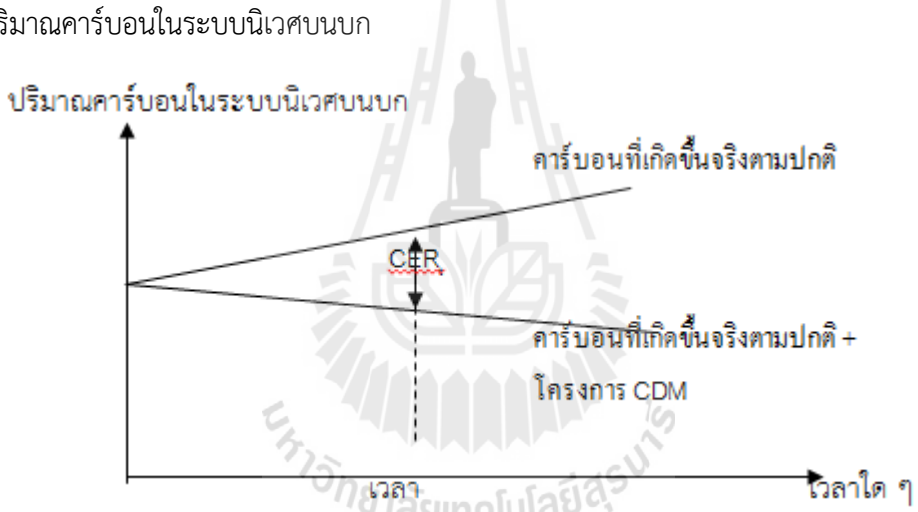
การดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทคาร์บอนของการผลิตอาหารประเภทเนื้อจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ใน 3 จังหวัด สามารถแสดงสรุปเป็นแผนภูมิประกอบดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

2.4 การทบทวนวรรณกรรม (reviewed literature) / สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

Pfaff et al. (2000) ได้อธิบายไว้ว่า การป้องกันแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญได้แก่ ป่าในภูมิภาคเขตร้อน ภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด (clean development mechanism: CDM) จะสามารถลดการกระจายคาร์บอนได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ของการใช้ที่ดิน (land use) กับปริมาณคาร์บอนพื้นฐาน การทำนายปริมาณคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตเพื่อตอบสนองตลาด และการประเมินจุดเหมาะสมของตลาดที่ควรเป็นไปได้ การประมาณการสะสมของคาร์บอนภายใต้โครงการ CDM อาจจะนำไปสู่ การขายคาร์บอน (C-trading) ในอนาคต ซึ่งสามารถแสดงผลของการลดการกระจายคาร์บอนภายใต้โครงการ CDM ได้ดังรูปที่ 2.5 ซึ่ง CERt (certified emission reduction) คือการลดการกระจายคาร์บอน ซึ่งวิเคราะห์จากปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์และระบบนิเวศจากการใช้ที่ดิน



รูปที่ 2.5 การลดลงของการกระจายคาร์บอนจากโครงการ CDM (จาก “The Kyoto protocol and payments for tropical forest : An interdisciplinary method for estimating carbon-offset supply and increasing the feasibility of a carbon market under the CDM”, โดย Pfaff et al., 2000, Ecological Economics)

เทคนิคการบริหารจัดการปศุสัตว์อย่างเหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภค สามารถลดปริมาณการกระจายของแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ ในปัจจุบันเกษตรกร และ หน่วยงานของรัฐยังไม่มี

เทคนิคใหม่ และ แนวทางในการจัดการ หรือทำนายความสัมพันธ์ระหว่าง พืช และ การปศุสัตว์ ทำให้ไม่สามารถจัดการผลิตทรัพยากรอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากรทำให้เกษตรกรของทุกภูมิภาคในโลกบุกรุกถากถางป่า เพื่อเปลี่ยนเป็นผืนแผ่นดินที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะกิจกรรมปศุสัตว์จำพวกสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งก่อให้เกิดแก๊ส CO_2 และ CH_4 สูงสุดจากการหายใจ และ การย่อยสลายอาหารไฟเบอร์ของสัตว์เคี้ยวเอื้องซึ่งแก๊ส CO_2 และ CH_4 ส่วนใหญ่จะแพร่กระจายสู่อากาศทางปาก และ จมูกของสัตว์ ถึงแม้ว่าการแพร่กระจายของแก๊สเรือนกระจกจากกิจกรรมการปศุสัตว์จะไม่ได้ถูกกำจัดไปทั้งหมดแต่การจัดการที่ดีให้เหมาะสม หรือ ผลิตให้สมดุลกับความต้องการของผู้บริโภค นอกจากจะช่วยให้ผู้ผลิตมีกำไรมากขึ้นจากการผลิตแล้ว ยังสามารถช่วยลดการเกิดแก๊สเรือนกระจกจากการปศุสัตว์ และ ช่วยบรรเทาปัญหาโลกร้อน หรือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก (Garton and Birkenholz, 1998)

การควบคุมจำนวนสัตว์ให้เหมาะสมกับความต้องการในการบริโภคของคน ทำให้การเลี้ยงสัตว์ไม่มากเกินความจำเป็น ส่งผลให้มูลสัตว์มีปริมาณน้อย และ จัดการง่ายขึ้น ซึ่งสิ่งสำคัญในการลดการแพร่กระจายของแก๊ส CH_4 เนื่องจากการสะสมของมูลสัตว์คือ

1. การเก็บมูลสัตว์ เพื่อใช้งานในรูปของแข็งจะดีกว่าในรูปของเหลว
2. การมีระบบการควบคุมการแพร่กระจายที่ดี
3. การเติมอากาศที่ดี เพื่อให้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 จะดีกว่าในรูปของแก๊ส CH_4
4. ลดระยะเวลาของการเก็บมูลสัตว์ โดยนำไปใช้ให้เร็วขึ้น
5. ลดการใช้หญ้าหรือฟาง ในการปูคอกสัตว์ จะทำให้ลดคาร์บอน ในมูลสัตว์ได้
6. มูลสัตว์ที่เปียกให้เก็บใส่ภาชนะในที่เย็น เช่นใต้ดิน เพื่อให้การย่อยสลายคาร์บอนช้าลง
7. การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียระบบปิด จะสามารถช่วยลดการกระจายของแก๊ส CH_4 ได้

(Sommer, Peteren, and Sogaard, 2000)

วิธีการในการบำบัดมูลสัตว์มากมาย แต่การหมักทำปุ๋ยคอก อาจเป็นวิธีที่ดีที่สุด เพราะว่าปุ๋ยคอกจะปลดปล่อยแก๊ส CH_4 น้อยกว่าการเก็บมูลสัตว์แบบอื่น ๆ เนื่องจากต้องมีการเติมอากาศในระหว่างการหมัก ปุ๋ยคอกจากมูลวัวนี้จะสูญเสียคาร์บอนไปเป็นแก๊ส CO_2 ประมาณ 46 - 62% (Eghball, Power, Gilley and Doran, 1997)

ชนิดของอาหารที่เหมาะสมที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพื่อลดการเกิดแก๊ส CH_4 จากการย่อยอาหาร และจากการดำเนินชีวิตของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่นการใช้อาหารประเภทแป้ง เพื่อช่วยทำให้เกิดกรดโพรไพโอนิค (propionic acid) เป็นต้น กระบวนการให้อาหารที่เหมาะสมส่วนใหญ่จะมีความเป็นไปได้ และ มีประสิทธิภาพจากระบบอุตสาหกรรมการผลิตสัตว์ โดยที่สัตว์เคี้ยวเอื้องจะสูญเสียแก๊ส CH_4 ประมาณ 1.5 กรัมต่อ (กิโลกรัมน้ำหนักสัตว์ที่เพิ่มขึ้น) 0.75 ต่อวัน ในการดำเนินชีวิต (Kirchgessner, Windisch, and Miller, 1995)

มนุษย์เริ่มให้ความสนใจถึงแก๊สที่ถูกปล่อยออกมาจากการผลิตสัตว์ ซึ่งมีความรุนแรง และ เป็นอันตรายต่อระบบนิเวศ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงชนิด และ ปริมาณของแก๊สที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ และจากที่เก็บกักมูลสัตว์เพื่อหาทางป้องกันหรือลดการเกิดแก๊ส ซึ่งจากร่องรอยแก๊สที่เกิดขึ้นในโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ทั้ง 136 ชนิด NH_3 และ CH_4 เป็นแก๊สที่มีความเสี่ยงที่จะกระทบกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยเกิดจากมูลสัตว์สด การลดการกระจายของแก๊ส CH_4 มีความจำเป็น และ มีความสำคัญซึ่งไม่เพียงแค่การลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังเป็นการลดการสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด (Hartung and Phillips, 1994)

การผลิตสัตว์หรือการปศุสัตว์จะทำให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมได้ทั้งดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งผลกระทบในส่วนที่เกิดกับดินและน้ำจะเกิดจาก NO^{3-}, P และ K ที่มาจากปุ๋ยมูลสัตว์ ส่วนผลกระทบที่เกิดกับอากาศจากการเลี้ยงสัตว์จะเป็นในเรื่องของภาวะโลกร้อนจากแก๊สเรือนกระจกโดยเฉพาะแก๊ส CO_2, CH_4 และ N_2O ที่เกิดจากการปศุสัตว์ (Tamminga, 2003) พบการพิสูจน์การกระจายของแก๊ส CO_2 ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้น้ำมันในขณะที่การกระจายของแก๊ส CO_2 ที่เกิดจากภาคเกษตรกรรม และ การเลี้ยงสัตว์จะเล็กน้อยไม่เกิน 5% แต่ถึงแม้ว่าจะน้อยก็มีความสำคัญที่ไม่สามารถมองข้ามได้ เนื่องจากปริมาณโดยรวมทั้งหมดมีจำนวนสูง ส่วนการกระจายของแก๊ส CH_4 จะเกิดจากการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ (Sauerbeck, 2001) ซึ่ง ได้กล่าวไว้ว่าแก๊ส CH_4 ประมาณ 20% ของค่าการเกิดแก๊สจากภาคเกษตรกรรมในตารางที่ 2.4 เกิดจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง และ ของเสียจากสัตว์ แก๊ส CH_4 ที่เกิดจากวัวนมมีส่วนทำให้โลกร้อนได้ถึง 55% ของการปศุสัตว์ทั้งหมด (Johnson, Ward, and Bernal, 1997) ส่วนแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการปศุสัตว์ตัวสุดท้ายคือ แก๊ส N_2O ซึ่งมีศึกษาไว้ว่าการกระจายของแก๊ส N_2O เกิดจากการใช้ที่ดิน เช่น การตัดหญ้าบนทุ่งหญ้า การเลี้ยงสัตว์บนทุ่งหญ้า และ การปลูกข้าวโพด (Vermoesen, van Cleemput, and Hofman, 1996)

ตารางที่ 2.4 การกระจายของแก๊สเรือนกระจกที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากกิจกรรมทางการเกษตร

กิจกรรม	CO_2 (ppb)	CH_4 (ppb)	N_2O (ppb)
การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นต่อปี	1500	7.0	0.8
ศักยภาพที่ทำให้โลกร้อน (GWP)	1000	40	330
การเกิดแก๊สจากภาคเกษตรกรรม	5000	20	>50

หมายเหตุ : จาก “Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production”โดย Tamminga, 2003, Livestock Production Science, 84 : 101-111 ; จาก “Biotechnology mitigating the environmental effects of dairying: greenhouse gas emissions”, โดย Johnson, Ward and Bernal, 1997, In : Welch, Burns, Davis, Popay, Prosser (eds.), Milk Composition, Production and Biotechnology, 497-511.

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการเลี้ยงสัตว์มากเกินไปเพราะชนิด และ ความหนาแน่นของการเลี้ยงสัตว์เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการที่ต้องบุกรุกทำลายป่า ซึ่งเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนที่สำคัญที่สุดของโลกเพื่อปลูกหญ้าหรือพืชอาหารสัตว์ชนิดต่าง ๆ ไว้ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ นอกจากนั้นการเลี้ยงสัตว์ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในรูปของเสีย หรือ สิ่งที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสัตว์ ไม่ว่าจะเป็น แก๊ส CO_2 และ CH_4 ที่เกิดจากระบบการย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และ การหายใจ หรือ แม้กระทั่งมูล หรือ สิ่งขับถ่ายที่เกิดจากสัตว์ที่ทำให้เกิดแก๊ส N_2O และ NO ซึ่งล้วนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้นโดยเฉพาะปัญหาโลกร้อน และ การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศของโลก (Sere and Steinfeld, 1996) อย่างไรก็ตามการปศุสัตว์ยังคงดำเนินต่อไปเพราะจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น และ ความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์จากสัตว์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการผลิตสัตว์ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ที่จะต้องเกิดของเสีย หรือ สิ่งขับถ่ายจากสัตว์ และ จะต้องใช้อาหารในการเลี้ยงสัตว์ตามความสามารถของพื้นที่ ที่สามารถเพาะปลูกพืชอาหาร

สัตว์ได้ ถ้าการผลิตสัตว์มีมากเกินความสามารถที่พื้นที่นั้น ๆ จะสามารถรองรับได้ จะทำให้เกิดผลเสียที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้น (Tamminga, 2003)

ความสัมพันธ์ของการปศุสัตว์กับสิ่งแวดล้อม และ ชุมชนในชนบท เนื่องจากใน 50 ปีที่ผ่านมา มีการเปลี่ยนแปลงมากมายของการปศุสัตว์ที่เกี่ยวกับการเพิ่มขนาดของการผลิตต่อหน่วย การใช้เทคโนโลยี การลดแรงงานคนในการผลิต การผลิตปศุสัตว์ในปริมาณมากบนพื้นที่น้อย หรือ จำกัด ทำให้ความเข้มข้นต่อพื้นที่ของของเสียจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์มีความรุนแรงสูงขึ้น และ ยังสร้างปัญหามลภาวะต่าง ๆ ตามมา (Hogberg et al., 2005)

ร้อยละของอายุฟาร์มปศุสัตว์ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา เช่น ฟาร์มไก่ลดลงจาก 78% เหลือแค่ 4.6% ฟาร์มโคนมดลงจาก 68% เหลือแค่ 4.3% ฟาร์มสุกรลดลงจาก 56% เหลือ 3.7% ในขณะที่ฟาร์มวัวเนื้อคงที่อยู่ที่ 41% ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ชุมชนเมืองที่ขยายตัวมาอยู่ใกล้ชิดกับฟาร์มเลี้ยงสัตว์มากขึ้น และ กลายเป็นปัญหากระทบกระทั่งกันระหว่างผู้ทำฟาร์มปศุสัตว์กับชุมชนอยู่เสมอ ๆ ส่งผลทำให้จำนวนผู้ประกอบการ และ ขนาดกำลังการผลิตลดน้อยลงไปทุกทีจากผลของการขยายตัวของชุมชน (NASS., 2002)

การปศุสัตว์ในอเมริกา ก่อให้เกิดแก๊ส CH_4 ประมาณ 26% และแก๊ส N_2O มากกว่า 50% ซึ่งคิดเทียบเป็นการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 ประมาณ 15% ของแก๊สที่เกิดขึ้นทั้งหมด แต่ถึงอย่างไรก็ตามระบบการปศุสัตว์ก็มีความสำคัญในการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก และ การถ่ายเทคาร์บอน (U.S. Environmental Protection Agency, 2002)

วิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการทั้งหมดของการผลิตนม โดยเริ่มตั้งแต่การปลูกพืชเลี้ยงวัวนมไปจนถึงการรีดนมวัว และ เก็บรักษา ซึ่งไม่รวมถึงส่วนของการขนส่ง และ การบริโภคนม ได้แยกการพิจารณาในเรื่องของยาฆ่าแมลง และ ยารักษาโรคออกไป เนื่องจากไม่มีข้อมูลโดยผลกระทบที่ถูกประเมินจะแยกออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1. ศักยภาพการเกิดสภาพกรด (acidification) จะพบแก๊สแอมโมเนียระเหยอยู่ที่ 78 - 97%

2. ศักยภาพของการเกิดยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) เนื่องจาก N และ P ต่อตันของนม หรือต่อพื้นที่ฟาร์มนม

3. ศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากการกระจายของแก๊สเรือนกระจก เช่น แก๊ส CH_4 48 - 65% ซึ่งการเกิดแก๊ส CH_4 ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของสัตว์ และการย่อยอาหารหยาบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์

(De Boer, 2003) การกระจายของ CO_2 จะเกิดจากการใช้น้ำมันในกิจการฟาร์ม (22%) และการขนส่ง (30%) และการใช้ปุ๋ย (21%) ดังนั้นการลดการเกิดแก๊ส N_2O ด้วยการใช้ปุ๋ยในอัตราที่สมดุลกับความต้องการปุ๋ยของพืช (Wilkerson, Casper, Mertens, and Tyrell, 1994)

การศึกษาประเมินผลกระทบของทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ ต่อการเกิดแก๊สเรือนกระจก สรุปได้ว่า ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์สำหรับการปศุสัตว์จะเป็นสาเหตุของการเพิ่มศักยภาพของสภาวะโลกร้อน (Hirota et al., 2005)

ระบบการผสมผสานการปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงสัตว์ เป็นการจัดการทรัพยากรที่เป็นสารอินทรีย์อย่างหนึ่ง การศึกษาเหตุการณ์ความสัมพันธ์ที่แน่ชัดของการกระจายคาร์บอน และ สารอาหาร ตามหน้าที่ของกิจกรรมทางการเกษตรของระบบการใช้ที่ดินที่ขนาดต่าง ๆ กันจะเป็นปัจจัยหลักของการศึกษาเพื่อให้มั่นใจถึงหน้าที่ในหน่วยต่าง ๆ ของระบบโดยมีจุดประสงค์ เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรที่เป็นสารอินทรีย์ การวิเคราะห์เกี่ยวกับโครงสร้างประชากร และ ค่าเฉลี่ยของการผลิตปศุสัตว์ โดยการคำนวณถ่วงน้ำหนักขนาดประชากรตามอายุ เพื่อบ่งชี้ถึงความต้องการอาหาร สำหรับประชากรที่มีอายุต่ำกว่า และ มากกว่า15 ปี จะใช้ค่าถ่วงน้ำหนักความต้องการอาหาร = 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของการผลิตปศุสัตว์จะถูกสำรวจถึงความสามารถในการผลิตในหน่วยน้ำหนักปศุสัตว์ ซึ่ง 1 TLU (tropical livestock units) = 250 กิโลกรัมของน้ำหนักสัตว์ (live weight [LW]) โดยการคำนวณศักยภาพของความเพียงพอของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้ในการปศุสัตว์ (SSF_H) (Manlay et al., 2004)

จาก

$$SSF_H = \frac{AFP_H}{NFI \times HS_H} \qquad (2.12)$$

โดยที่ AFP_H = น้ำหนักพืชอาหารสัตว์ที่ผลิตได้ในแต่ละพื้นที่ (ตัน/ปี)

HS_H = จำนวนของสัตว์ทั้งฝูงในหน่วยน้ำหนัก (กิโลกรัม)

NFI = ค่าเฉลี่ยโดยปกติในการกินพืชอาหารของสัตว์ที่เลี้ยงในฟาร์ม มีศึกษาพบว่า NFI = 15.4 x 10^{-3} ตัน/ปี/น้ำหนักสัตว์ 1 กิโลกรัม (Ickowicz et al., 1998)

นอกจากนี้การศึกษายังอธิบายถึง วิธีการประมาณค่าการใช้ปริมาณคาร์บอนจากพืชที่สัตว์กิน และปริมาณคาร์บอนที่ถูกขับถ่ายออกมาจากสัตว์พร้อมกับมูลสัตว์ (Ickowicz, Richard and Usengumuremyi, 1999) ซึ่งดัชนีมูลสัตว์ (faecal indice) จะถูกใช้ในการประมาณการบริโภคสารอินทรีย์คาร์บอน (organic matter intake [OMI]) จากค่าของสารอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกขับถ่ายออกมาพร้อมกับมูลสัตว์ (faecal organic matter excretion [FOME]) (Guérin et al., 1989) ซึ่งวิธีการหาปริมาณ C จากมูลสัตว์จะใช้วิธีการเผาที่ 850 ^{0}ซ และ ตามด้วยการโครมาโตกราฟี (Thermoquest NC soil, 2000) การประมาณการบริโภคหรือได้รับคาร์บอนของสัตว์ในฟาร์มจะถูกสมมติให้เกิดได้จากการบริโภคอาหารที่เป็นชีวมวลเข้าไปในร่างกายโดยทางปากเท่านั้น โดยที่คาร์บอนที่สัตว์ได้รับจากการกินนี้จะถูกคำนวณจากค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์แต่ละชนิด (Manlay, Kaiie, Masse, Chotte, Ciornei, and Floret, 2002; Manlay, Chotte, Masse, Laurent and Feller, 2002) ซึ่งคิดจากค่าการใช้หรือปริมาณการบริโภคสารอินทรีย์ในสภาพน้ำหนักแห้ง (dry matter intake [DMI]) ที่พัฒนามาจาก OMI โดยสมมติให้ร้อยละของขี้เถ้าเป็น 10% ซึ่งการคิดปริมาณคาร์บอนที่สัตว์บริโภค หรือใช้ในการเจริญเติบโตนี้จะคิดโดยคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ จนกระทั่งส่งไปฆ่าที่โรงฆ่าสัตว์

แก๊ส CO_2 จะเป็นแก๊สที่มีน้อยในบรรยากาศคือมีแค่เพียง 0.33% เท่านั้น แต่แก๊ส CO_2 ก็มีความสำคัญเพราะสามารถควบคุมอุณหภูมิของโลกได้ เนื่องจากเมื่อแก๊ส CO_2 มีมากขึ้น ก็จะสามารถรับแสงอินฟาเรดได้มากขึ้น และปล่อยความร้อนออกสู่บรรยากาศ ของโลกได้มากขึ้น ซึ่งชนิดของแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญ ได้แก่ แก๊ส CO_2 CH_4 และN_2O ส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมปศุสัตว์ เช่น การหายใจ การย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมการปศุสัตว์ก็เป็นแหล่งของการเกิดแก๊ส CH_4 ที่ใหญ่ที่สุด (Hogan, 1993)

การประมาณต้นทุนคาร์บอนของโลก (global carbon budget) แสดงให้เห็นว่าในช่วงปี ค.ศ. 1850 - 1998 ระบบนิเวศบนบกเป็นแหล่งกำเนิดของแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศสุทธิประมาณ (270 ± 30) x 1015 กรัมของคาร์บอนถูกปล่อยสู่บรรยากาศจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง และ การผลิตซีเมนต์ ประมาณ (136 ± 55) x 1015 กรัมของคาร์บอน ถูกปล่อยออกมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และ การบุกรุกทำลายป่าซึ่งบรรยากาศสามารถจะกักเก็บคาร์บอนไว้ในบรรยากาศประมาณ (176 ± 10) x 1015 กรัมของคาร์บอน นั่นคือประมาณ 43% ของคาร์บอนที่แพร่กระจายสู่บรรยากาศทั้งหมด ดังนั้นคาร์บอนอีก (230 ± 60) x 1015 กรัมของคาร์บอนจะถูกเคลื่อนย้ายออกจากบรรยากาศเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กันคือ คาร์บอนจะเคลื่อนย้ายไปที่มหาสมุทร และ ไปยังระบบนิเวศบนบก ดังนั้นเมื่อทำสมดุลมวลพบว่า ระบบนิเวศบนบกมีการปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศมากกว่า

ที่ตัวระบบนิเวศเองสามารถดูดซับไว้ได้ถึงประมาณ 21 x 1015 กรัมของคาร์บอน (Watson et al., 2000) ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันต่ออนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเป้าหมายของอนุสัญญาฯ คือ การรักษาระดับความเข้มข้นของแก๊สเรือนกระจกในบรรยากาศให้คงที่ โดยไม่คุกคามต่อการผลิตอาหารของมนุษย์ นอกจากนั้นประเทศไทยยังได้ร่วมลงนาม และ ให้สัตยาบันต่อพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) โดยมีผลบังคับใช้เมื่อ 16 กุมภาพันธ์ 2548 ซึ่งไทยต้องจัดทำรายงานแห่งชาติเพื่อเสนอต่อประเทศภาคีสมาชิก และ สนับสนุนการวิจัยเกี่ยวกับการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกโดยเฉพาะจากแหล่งกำเนิด เช่น การรักษาพื้นที่ป่าเพื่อเพิ่มแหล่งดูดซับคาร์บอน และ ลดการปล่อยแก๊ส CH_4 ในภาคเกษตร และปศุสัตว์ ส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์ในทุ่งหญ้า จูงใจให้มีการนำมูลสัตว์มาใช้ประโยชน์ และ ลดมูลสัตว์จากการผลิตสัตว์ โดยการผลิตสัตว์ในจำนวนที่สมดุลกับความต้องการบริโภค เป็นต้น จัดทำฐานข้อมูลการจัดการทรัพยากรเพื่อติดตามตรวจสอบบัญชีคาร์บอนของประเทศ และ สร้างองค์ความรู้การตระหนัก และ การมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาแก่ประชาชน แต่ปัญหาในปัจจุบันคือ ข้อมูลเกี่ยวกับคาร์บอนไม่เพียงพอ การศึกษากระบวนการวิเคราะห์ยังไม่เพียงพอที่จะเชื่อมโยงกับข้อมูลได้ การประมาณค่าปริมาณคาร์บอนมีค่าใช้จ่ายสูง ในขณะที่ค่าที่ได้หรือข้อมูลที่มีอยู่ยังไม่ละเอียด และ ที่สำคัญคือ ผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแหล่งสะสมคาร์บอนในภูมิภาคเขตร้อนมีน้อยมาก (Pfaff et al., 2000)

การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมโลกที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ทำให้นักวิทยาศาสตร์กว่า 400 คนจากหลายประเทศ หาทางป้องกันผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก โดยสามารถสรุปได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. การผลิตอาหารของมนุษย์ลดลงมากกว่า 25% โดยเฉพาะผลผลิตอาหารจากประเทศยากจน ซึ่งมีสาเหตุมาจากปัญหาโลกร้อน

2. ปัญหาความรุนแรงของภัยแล้ง และน้ำท่วม

3. อัตราการสูญพันธุ์ ของสิ่งมีชีวิตที่มีเพิ่มขึ้นทั้งในทะเล และในระบบนิเวศบนบก (Canadell and Noble, 2001)

งานวิจัยเกี่ยวกับวัฏจักรคาร์บอนที่จำเป็นต้องมีในอนาคต ดังนี้

1. การศึกษาวิธีการวัดแก๊ส CO_2 การหาการเปลี่ยนแปลงคาร์บอน (C fluxes) และการทดลองวัดจริงจากสนาม โดยขยายการศึกษาให้ครบครอบคลุมทุกภูมิภาค เช่น ในมหาสมุทรที่อยู่ในซีกโลกใต้ หรือในเอเชีย ในภูมิภาคเขตร้อน เพื่อให้สามารถอธิบายระบบคาร์บอนของทั้งโลกได้

2. การพัฒนาข้อมูลของการกระจายคาร์บอนให้มีความละเอียดถูกต้องมากขึ้น

3. การพัฒนารูปแบบใหม่จากการใช้ข้อมูลหลาย ๆ แหล่งเพื่อสร้างแบบจำลองทางคาร์บอน

4. การปรับปรุงวิธีการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศ

5. การศึกษาทำความเข้าใจถึงผลกระทบของไฟ การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และวัฏจักรไนโตรเจนที่มีผลต่อวัฏจักรคาร์บอนในเชิงของข้อจำกัดของสารอาหาร

6. การศึกษาวิเคราะห์ เพื่อสร้างความเข้าใจถึงการเคลื่อนที่ของคาร์บอนระหว่างกลไกของแหล่งเก็บกักคาร์บอน (C sinks) และแหล่งกำเนิดคาร์บอน (Canadell and Pataki, 2002)

ความยั่งยืนของระบบฟาร์มจะสามารถได้รับความสำเร็จจากการใช้ผลการศึกษาพลวัตของ C N และ P ในลักษณะของการศึกษาทั้งระบบนิเวศของหมู่บ้านมากกว่าผลจากการศึกษาเฉพาะบางตำแหน่ง เนื่องจากจะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของการเชื่อมต่อหน้าที่ระหว่างระบบการใช้ที่ดินจากการปลูกพืชกับการจัดการปศุสัตว์ และ จะทำให้ได้ค่าต้นทุนปริมาณของคาร์บอน และ สารอาหารที่ต้องการอย่างถูกต้องของแต่ละรูปแบบของการใช้ที่ดินจากขนาดของพื้นที่ คุณสมบัติดิน และ ประวัติของการปลูกพืช (Izac and Swift, 1994; Krogh, 1997; Landais and Lhoste, 1993)

การจัดการใช้ประโยชน์ทรัพยากรสารอินทรีย์ในระบบฟาร์มทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ของแอฟริกาตะวันตกพบว่าการปศุสัตว์ก็จะทำให้เกิดการหมุนเวียน C N และ P คืนกลับสู่ดินมากที่สุด นอกจากนั้นการศึกษานี้ยังแนะนำว่าการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็วยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยั่งยืนของระบบฟาร์มเนื่องจากเกิดการเสียสมดุลระหว่างอุปสงค์ และ อุปทานของแหล่งทรัพยากรสารอินทรีย์ (Manlay et al., 2004)

แบบจำลองสถานการณ์ที่เคยมีผู้ศึกษาไว้แล้ว และ งานผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องก่อนนั้นไม่ได้ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับเศรษฐศาสตร์ และ ระบบนิเวศวิทยาไว้ จึงได้เสนอปัจจัยที่ควรต้องคำนึงในการสร้างวิธีการประมาณค่าคาร์บอน คือ

1. การวิเคราะห์เศรษฐกิจของการใช้ที่ดินจากข้อมูลที่สมบูรณ์และถูกต้องเป็นจริง

2. การวิเคราะห์ระบบนิเวศวิทยา จากความน่าเชื่อถือของการวัดหรือการประเมินคาร์บอนจากระบบนิเวศ

โดยจะวัดในลักษณะของพลวัตคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงไปตามการใช้ที่ดิน แบบจำลองที่ได้จึงจะมีคุณภาพสูงซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบจากทางเลือกของการใช้ที่ดินคือ การทำลายป่า การขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรม การขยายตัวของเมือง การเจริญเติบโตหรือการเพิ่มจำนวนประชากร และ การเปิดเสรีทางเศรษฐกิจ (Pfaff et al., 2000)

การเปลี่ยนแปลงแก๊ส CO_2 จากฟาร์มปศุสัตว์ด้วยการจำลองสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 ในสภาวะอากาศต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต 4 เหตุการณ์โดยใช้โปรแกรม GRASP คือ เมื่อมีระดับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้น 2 เท่า เมื่อมีระดับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้น 2 เท่า และ เพิ่มอุณหภูมิด้วย เมื่อมีระดับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้น 2 เท่า และ เพิ่มอุณหภูมิด้วยในสภาพอากาศแห้ง และ เหตุการณ์สุดท้ายคือเมื่อมีระดับความเข้มข้นของแก๊ส CO_2 เพิ่มขึ้น 2 เท่า และ เพิ่มอุณหภูมิด้วยในสภาพอากาศเปียกชื้น โดยผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 จะก่อให้เกิดประโยชน์กับการเจริญงอกงามของทุ่งหญ้าที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ และ พืชปกคลุมดิน ส่วนผลของการเพิ่มแก๊ส CO_2 ที่มีต่อการเจริญของหญ้า หรือ พืช ในสภาพอากาศแห้งจะดีกว่าในสภาพอากาศเปียกชื้น เนื่องจากไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่มีจำกัดในดิน ส่วนเหตุการณ์ที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิร่วมกับการเพิ่มขึ้นของแก๊ส CO_2 จะมีผลทำให้ความสามารถในการผลิตสัตว์มีมากขึ้น เนื่องจากมีจำนวนวันที่สามารถเกิดการเจริญเติบโตได้เพิ่มขึ้นในเดือนที่มีอากาศเย็น และ สุดท้ายในสภาพที่มีอากาศเปียกชื้นหรือฝนตก มีผลในเชิงบวกเล็กน้อย แต่ในทางตรงกันข้ามสภาพอากาศแห้งจะกระทบกับการเจริญของพืช และ การผลิตสัตว์ในทางลดลง (Howden et al., 1999)

พื้นที่เขตร้อนชื้นจะเป็นแหล่งใหญ่ของการปลดปล่อย N_2O และ NO สู่บรรยากาศ อัตราการแพร่กระจายจะอยู่ในช่วงกว้างตามสภาพของท้องถิ่น และ ลักษณะการใช้ที่ดิน ซึ่งเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตามการขยายตัวของการตั้งถิ่นฐาน การศึกษานี้เป็นการประมาณการแพร่กระจายของแก๊ส N_2O และ NO ทั้งในอดีต และ ในอนาคต (Reiners et al., 2002)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส N_2O และ NO จากชนิดของพืชที่คลุมดิน และ ดินที่ไม่มีพืชคลุมดิน ไว้ตามช่วงเวลาต่างๆ ไว้ว่าทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ใหม่จะมีการกระจายของแก๊ส N_2O และ NO สูงชั่วคราว หลังจาก 15 ปี อัตราการกระจายก็จะลดลงอยู่ในระดับต่ำ (Keller, Veldkamp, Weitz, and Reiners, 1993)

ปัจจัยหลักหรือแหล่งกำเนิดหลักของการเพิ่มแก๊ส N_2O คือการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในภูมิภาคเขตร้อนชื้น (Bouwman, 1998) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของแก๊ส N_2O จะเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างของป่าหรือตัดไม้ทำลายป่า แล้วเปลี่ยนเป็นทุ่งหญ้าที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (Veldkamp et al., 1999; Verchot et al., 1999) หรือการทำการเกษตรกรรม และ การเพาะปลูก (Crill et al., 2000) รูปแบบของการพัฒนาการเกษตรกรรมอย่างรวดเร็วส่วนใหญ่จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงป่ากลายเป็นทุ่งหญ้าที่ใช้เลี้ยงสัตว์ และ พื้นที่เพาะปลูก เช่น ในพื้นที่ตอนเหนือของ Costa Rica พื้นที่ป่าลดลงจาก 73% ไปเป็น 6% ภายในเวลา 24 ปี (Veldkamp, Weitz, Staritsky, and Huising, 1992)

การศึกษาการเกิดแก๊สชีวภาพและสัดส่วนของแก๊ส CH_4 และ CO_2 ที่เป็นส่วนประกอบจากการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตโปรตีน และ ไขมัน (Casey, 1981) ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ปริมาณแก๊สชีวภาพและส่วนประกอบของแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลาย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน

สารอาหาร	**ปริมาณแก๊สที่เกิด ($ม^3$/กก.)**	**ส่วนประกอบ (%)**	
		CH_4	**CO_2**
คาร์โบไฮเดรต	0.8	50	50
โปรตีน	0.7	70	30
ไขมัน	1.2	67	33

หมายเหตุ : จาก “Developments in anaerobic digestion”, โดย Casey, 1981, Transactions of the Institute of Engineers in Ireland, 105 : 25-32.

นอกจากนี้ยังได้มีการกล่าวถึงการใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพในด้านพลังงาน ซึ่งสามารถใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจาก ฟืน ถ่านหิน น้ำมัน แก๊สหุงต้ม และ ไฟฟ้าได้ โดยแก๊สชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้ได้ดังนี้

1. ให้ค่าความร้อน 3,000 - 5,000 กิโลแคลอรี่ ความร้อนนี้จะทำให้น้ำ 130 กิโลกรัมเดือดได้

2. ใช้กับตะเกียงแก๊สขนาด 60 - 100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5 - 6 ชั่วโมง หรือผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1.8 หน่วย (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง)

3. ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง หรือเทียบเท่าน้ำมันดีเซล 0.6 ลิตร หรือเบนซิน 0.67 ลิตร

4. สามารถหุงต้มได้ โดยเทียบเท่าแก๊สหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม หรือฟืนไม้ 1.5 กิโลกรัม

5. ทดแทนน้ำมันเตาโดยแก๊สชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตรเทียบเท่าน้ำมันเตา 0.5 ลิตร

แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดได้แก่ แก๊ส CH_4 ประมาณ 70% แก๊ส CO_2 ประมาณ 30% และแก๊สอื่น ๆ อีกเล็กน้อยคือ แก๊ส N_2 H_2 H_2S ปริมาณแก๊สที่ผลิตออกมาได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารอินทรีย์ โดยแก๊สที่ผลิตได้นี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้คือ 0.5 $ม^3$ ของแก๊สที่ผลิตได้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1.0 กิโลวัตต์ - ชม. ต่อไปนี้จะได้แสดงข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการคำนวณหาข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตความร้อน และ กระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บได้จากการทดลอง (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ม 2543) ดังแสดงในตารางที่ 2.6 และ 2.7

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับแก๊ส CH_4 ที่ผลิตได้

สิ่งที่ก่อให้เกิดแก๊ส CH_4	**อัตราแก๊ส CH_4***
น้ำมัน (850 กก./ม^3 ที่ 25 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ)	1 ม^3 CH_4 / 0.84 กก.น้ำมัน
น้ำมัน	1 ม^3 CH_4 / 1.0 ลิตร น้ำมัน
ไข (fats)	0.75 ม^3 CH_4 / กก.ไข
คาร์โบไฮเดรต	0.42 ม^3 CH_4 / กก.คาร์โบไฮเดรต
โปรตีน	0.47 ม^3 CH_4 / กก.โปรตีน
ซีโอดี (COD)	0.25 กก. CH_4 / กก.COD
ซีโอดี (COD)	0.38 ม^3 CH_4 / กก.COD

หมายเหตุ : * 1 ม^3 แก๊ส CH_4 หนัก 0.667 กิโลกรัม ณ สภาวะมาตรฐาน 25 ^{0}ซ 1 ความดันบรรยากาศ

(จากหนังสือวิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 4, เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543, มหาวิทยาลัยรังสิต)

ตารางที่ 2.7 ข้อมูลพลังงานที่ได้จากแก๊ส CH_4

ค่าพลังงาน*	**ค่าพลังงานที่เกิดขึ้น**				
	ปริมาณแก๊ส CH_4 ในแก๊สทั้งหมด (%)				
	50	**60**	**70**	**80**	**100**
ค่าความร้อน (กิโลจูล/ม^3 แก๊ส)	17500	21000	24500	28000	35000
ค่าพลังงานไฟฟ้า:					
กระแสไฟฟ้าที่ได้ (กิโลวัตต์. ชม./ม^3)	1.5	1.7	2.0	2.3	2.9
ความร้อนที่เกิดขึ้น (กิโลวัตต์. ชม./ม^3)	2.5	2.9	3.4	3.9	4.9
ความสูญเสีย (กิโลวัตต์. ชม./ม^3)	1.0	1.1	1.3	1.5	1.9

<u>หมายเหตุ</u> : * 1 ม^3 CH_4 ได้ 35000 กิโลจูล และได้ 9.7 กิโลวัตต์. ชม.

(โดย 1 ม^3 CH_4 สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ซึ่งประกอบด้วย

1) 30% เป็นกระแสไฟฟ้า 2.9 กิโลวัตต์. ชม.

2) 50% เป็นความร้อน 4.9 กิโลวัตต์. ชม. และ

3) 20% เป็นความสูญเสีย 1.9 กิโลวัตต์. ชม.)

(จากหนังสือ เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543, มหาวิทยาลัยรังสิต)

การเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า (kWh/kg) จากแก๊สหุงต้ม แกลบ และ ไม้ฟืนพบว่าแก๊สหุงต้มมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงเกิดเขม่าน้อย ไม่มีขี้เถ้าเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ซึ่งเชื้อเพลิงแก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศน้อยที่สุด โดยคุณสมบัติของแก๊สปิโตรเลียมเหลวจะให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง 11,832 - 12,034 Kcal/kg หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 13.70 kWh/kg ในขณะที่แกลบ 1 กิโลกรัมเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 0.49 kWh หรือแกลบ 1 kg เทียบเท่าพลังงาน 14.27 MJ/kg หรือ 3,410.611 Kcal/kg (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 1999) ส่วนเศษไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อปานกลางมีน้ำหนัก 748.23 $\pm$ 116.42 kg/m^3 ประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตรเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 0.21 kWh/kg ดังนั้นการใช้แก๊ส LPG ในการต้มน้ำร้อนจะให้

พลังงานความร้อนสูงกว่า และมีมลพิษทางอากาศต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นฟืนหรือแกลบ (นภาพร พานิช และคณะ, 2547)

อาหารหยาบหรืออาหารข้นที่ถูกหมักในรูเมนจะให้ผลผลิตสุดท้ายแตกต่างกันโดยเฉพาะอาหารหยาบจะได้ กรดอะซิเตทสูงกว่าอาหารข้น และ ทำให้อัตราส่วนของ กรดโพรพิออเนทต่ออะซิเตทต่ำกว่าในอาหารข้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดแก๊ส CH_4 สูงตามไปด้วย หรือกล่าวได้ว่าอาหารกลุ่มที่มีเซลลูโลส เช่น หญ้าแห้งหรือฟาง จะมีส่วนสนับสนุนการผลิตแก๊ส CH_4 มากกว่าอาหารพวกแป้ง (เมธา วรรณพัฒน์ม 2533; Moe and Tyrell, 1979)

นอกจากนั้นจากหลักการสมดุลคาร์บอนโดยเฉพาะการตรึงคาร์บอน ($C_{fixation} = C_{plant} - C_{emitted}$) มีแนวทางการวิเคราะห์คล้ายกับการวิเคราะห์โภชนะของสัตว์เคี้ยวเอื้องด้วยหลักการทางพลังงานโดย

พลังงานที่ย่อยได้ = พลังงานรวมในอาหาร (GE) – พลังงานที่สูญเสียในมูล (FE) (2.13)

และการวิเคราะห์อัตราส่วนของการตรึงคาร์บอนต่อคาร์บอนในพืชอาหารที่สัตว์กินจะสอดคล้องกับอัตราส่วนของพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy; ME) ต่อพลังงานรวมในอาหาร (gross energy; GE) (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

โดยที่

ME = GE – (FE + พลังงานที่สูญเสียใน {ปัสสาวะ[UE] + CH4}) (2.14)

การเกิดแก๊ส CH_4 ในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้องจากการย่อยอาหารหยาบจะมากกว่าอาหารข้นโดยการย่อยอาหารหยาบจะเกิดแก๊ส CH_4 1.75 โมลต่อกิโลกรัม ส่วนอาหารข้นจะทำให้เกิดแก๊ส CH_4 1.40 โมลต่อกิโลกรัมที่โคเนื้อมีการผลิตแก๊ส CH_4 250 ลิตรต่อตัวต่อวัน (Czerkawski, 1986)

การสับฟางและแช่น้ำค้างคืนทำให้โค และ กระบือสามารถกินฟางได้มากขึ้น ซึ่งทำให้การผลิตกรดไขมันระเหยได้สูงขึ้นด้วย ซึ่งการแปรรูปอาหารหยาบเช่นการสับหรือหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แทนการใช้อาหารข้นเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายก็จะสามารถ ช่วยให้การย่อยอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้องเพิ่มขึ้นและลดการเกิดแก๊ส CH_4 ได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เพราะว่าอาหารละเอียดจะทำให้สัตว์สามารถกินหญ้าแห้ง หรือฟางได้มากขึ้น ระยะพักตัวของอาหารสั้นหรืออัตราการไหลผ่านของอาหารได้เร็วทำให้อาหารผ่านออก หรือพักตัวในกระเพาะรูเมนน้อยลง ซึ่งทำให้จุลินทรีย์มีเวลาในการเข้าย่อยสลายน้อยลงนั่นคือแก๊ส CH_4 จะลดลงได้ (Reid, 1962; Church, 1979; Minson, 1980) นอกจากนี้การบดหรือการสับอาหารให้เล็กลงนั้นจะมีผลทำให้ผลผลิตกรดไขมันระเหย และ แก๊ส CH_4 ในกระเพาะรูเมนเปลี่ยนไป โดยสัดส่วนของกรดโพรพิออเนทต่ออะซิเตทจะเพิ่มขึ้น และ ปริมาณแก๊ส CH_4 ลดลง (เมธา วรรณพัฒน์, 2533)

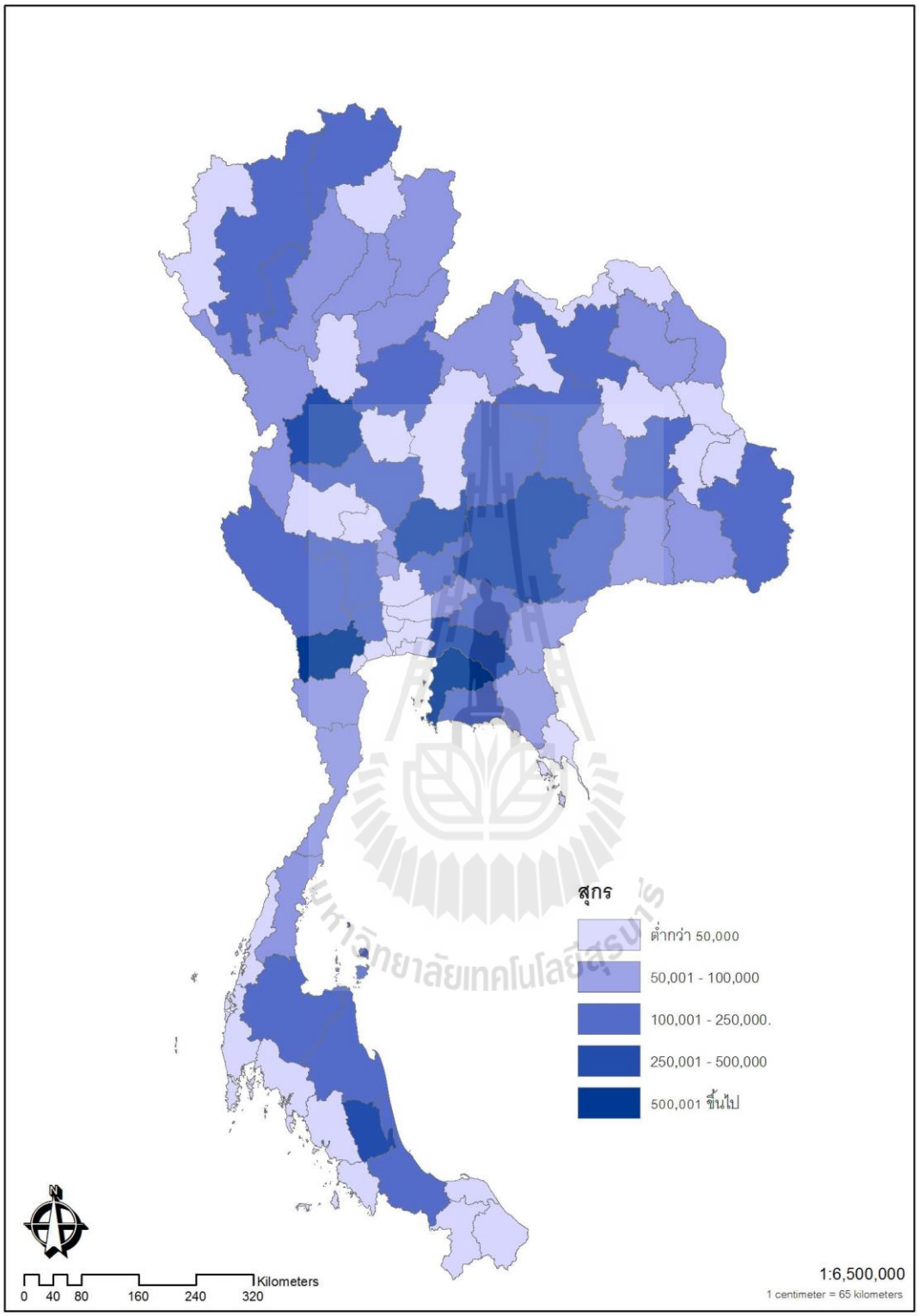
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

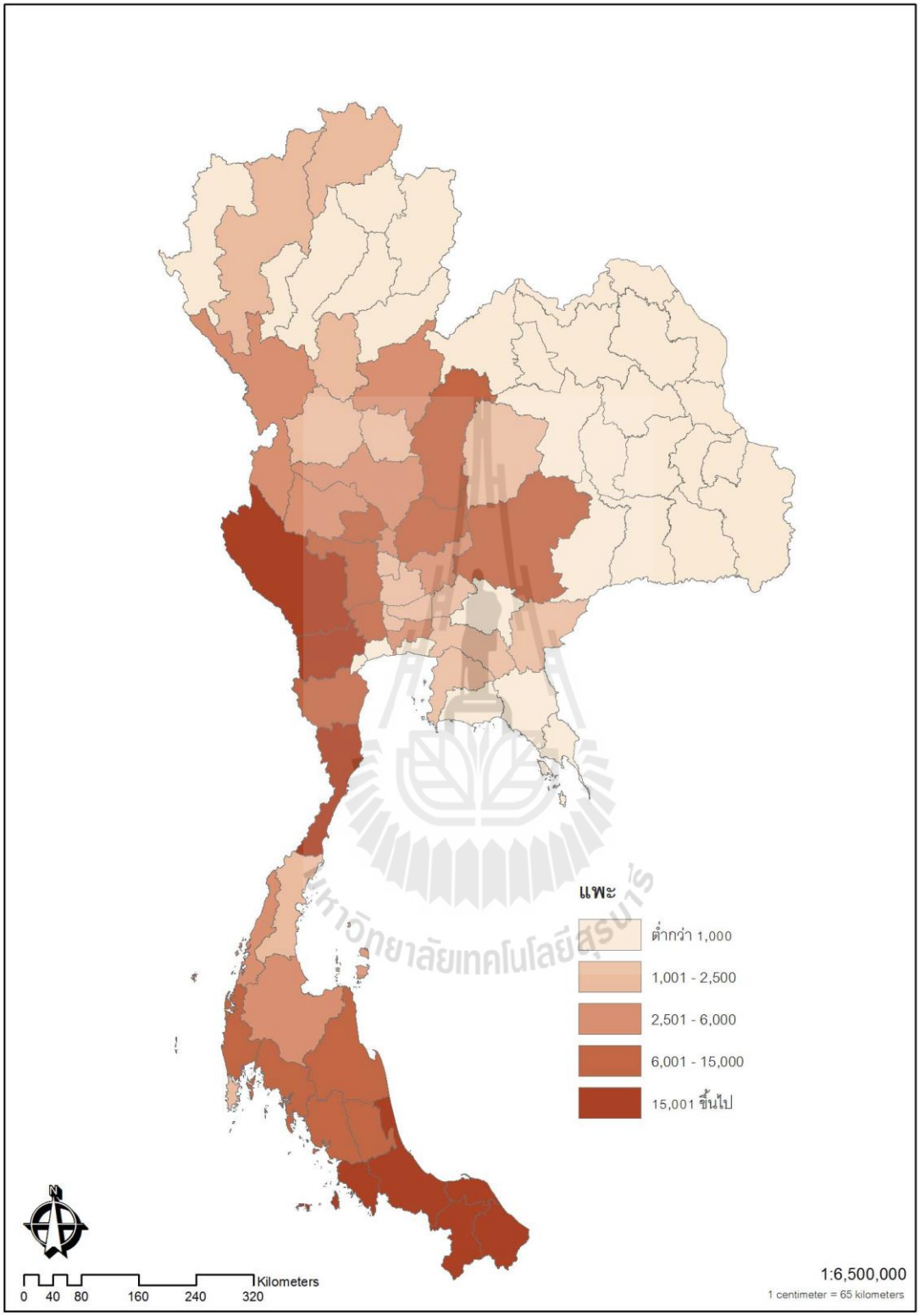
3.1 วิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง

การดำเนินการวิจัยศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนสำหรับการผลิตอาหารจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในแต่ละอำเภอ และ กิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรีเพื่อให้การศึกษาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงาน จึงพิจารณาเลือกชนิดของปศุสัตว์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและ สัตว์ที่กรมปศุสัตว์ส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงมากขึ้น ซึ่งศึกษาสัตว์กินพืชเป็นหลักเพื่อพิจารณาการถ่ายทอดคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์มาเป็นเนื้อจากสัตว์แต่ละชนิด โดยสามารถแบ่งชนิดของปศุสัตว์ที่ต้องการศึกษาออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ สัตว์กระเพาะเดี่ยว (Monogastric) และ สัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก (Small Ruminant) ซึ่งมีประเด็นในการพิจารณาดังนี้ กลุ่มที่ 1 สัตว์บกสี่เท้าที่กินพืชเป็นอาหารโดยเฉพาะหญ้าฟาง กระถิน มันสำปะหลัง และสุกรที่เลี้ยงในระบบฟาร์มซึ่งทราบชนิดและปริมาณการกินอาหารที่แน่นอนเนื่องจากสุกรเป็นแหล่งอาหารประเภทเนื้อที่สำคัญ การศึกษานี้ได้กำหนดพื้นที่เป้าหมายในการศึกษา โดยสามารถแสดงตำแหน่งและรายชื่อของทั้ง 26 อำเภอ และ 6 กิ่งอำเภอ (จะรวมเรียกเป็น 32 อำเภอ) ของจังหวัดนครราชสีมา 11 อำเภอของจังหวัดชลบุรี 7 อำเภอของจังหวัดปราจีนบุรี และ ตัวอย่างความหนาแน่นของฟาร์มปศุสัตว์ในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอของปี 2556 (สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครราชสีมา, 2556) ตามที่ระบุไว้ในรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2 โดยกระบวนการศึกษานี้เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจากพืชที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้นไปสู่สัตว์โดยเฉพาะสัตว์กินพืชเป็นหลักซึ่งเป็นผู้บริโภคขั้นต้นในห่วงโซ่อาหารและการแปรรูปคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ที่ถูกสัตว์กินพืชเหล่านี้กินมาเป็นคาร์บอนในรูปของอาหารประเภทเนื้อหรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ มูลสัตว์ โดยอาศัยข้อมูลปริมาณสัตว์ และรายละเอียดในการทำปศุสัตว์แต่ละชนิดจากฟาร์มปศุสัตว์ต่าง ๆ โรงฆ่าสัตว์ สัตวแพทย์ และ สัตวบาล รวมทั้งเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรีจากการสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามในพื้นที่เป้าหมายที่ศึกษาทั้ง 50 อำเภอ



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงความหนาแน่นของจำนวนสุกรรายจังหวัด ปี พ.ศ. 2556

http://ict.dld.go.th/th2/index.php/th/report



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงความหนาแน่นของจำนวนแพะรายจังหวัด ปี พ.ศ. 2556

http://ict.dld.go.th/th2/index.php/th/report

3.2 จำนวนตัวอย่าง สถานที่ในการเก็บตัวอย่าง และวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การสำรวจด้วยตัวอย่างเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเพียงบางส่วนของประชากรเพื่อเป็นการประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ประชากร หมายถึง ปริมาณของปศุสัตว์แต่ละชนิดและเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ การเลือกตัวอย่างจากประชากรทำได้หลายวิธีแต่ไม่ว่าจะใช้วิธีใดก็มีหลักเกณฑ์เพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีของประชากร นั่นคือตัวอย่างที่ถูกเลือกมาควรประกอบไปด้วยลักษณะต่าง ๆ ของประชากรครบถ้วน ดังนั้นในการศึกษานี้ทำการคำนวณหาขนาดตัวอย่างจากการประมาณค่าเฉลี่ยประชากรที่ขนาดความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมให้ไม่เกิน 5% (ปรารถนา ยศสุข,2551) โดยใช้วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของ Yamane (1973) เนื่องจากเป็นวิธีการหาขนาดตัวอย่างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาวิจัย (ประธาน เกิดกล่ำ, 2549) เพื่อหาจำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดซึ่งส่วนมากได้กำหนดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดระหว่างค่าจริงและค่าประมาณอยู่ที่ร้อยละ 0.05 โดยใช้สูตรการกำหนดขนาดตัวอย่างของ Yamane (1973) ตามที่ได้นำเสนอไว้แล้วในสมการที่ 2.16 หรือตารางที่ 2.5

จากวิธีการหาจำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดของ Yamane (1973) ที่ค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างอยู่ที่ร้อยละ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะได้จำนวนตัวอย่างของฟาร์มและจำนวนตัวอย่างของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1 แสดงจำนวนตัวอย่างฟาร์ม และจำนวนตัวอย่างสัตว์แยกเป็นรายอำเภอ และกิ่งอำเภอในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรี (ใช้ฐานข้อมูลปี 2556) ที่ใช้ในการทำงานวิจัยนี้ ซึ่งจำนวนฟาร์มตัวอย่าง และจำนวนของสัตว์ตัวอย่างชนิดต่าง ๆ ในแต่ละอำเภอ สามารถคำนวณได้ตามสัดส่วนจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ต้องการโดยการเทียบสัดส่วนจากจำนวนฟาร์มเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดของเกษตรกร และจำนวนของสัตว์ที่มีการเลี้ยงจริง ในแต่ละอำเภอและมีรายชื่ออยู่ในฐานข้อมูลของปศุสัตว์ ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในแต่ละอำเภอได้ดังตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างฟาร์มในแต่ละอำเภอได้ดังตารางที่ 3.5 และสามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในแต่ละฟาร์มตามอำเภอต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 3.6 ตามลำดับโดยที่ทำการเก็บจำนวนตัวอย่างจากสัตว์ เช่น น้ำหนักสัตว์ อาหารสัตว์ และมูลสัตว์ในแต่ละฟาร์มอย่างน้อยชนิดละ 1ตัวอย่างเสมอ

การเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติที่สนใจโดยวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการของการศึกษานี้ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างจากพืชอาหารสัตว์และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ จากฟาร์มปศุสัตว์ในแต่ละอำเภอ

ของจังหวัดนครราชสีมาจังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรี โดยการเก็บตัวอย่างนี้ใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 18 เดือนตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2550 ถึงเดือนมิถุนายน ปี 2551 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.1 จำนวนการเก็บตัวอย่างฟาร์ม จำนวนตัวอย่างสุกร และ แพะ แยกเป็นรายอำเภอ ในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรี

จังหวัด	อำเภอ	สุกรขุน				แพะเนื้อ			
		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์ม		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์ม	
		ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง
นครราชสีมา	เมืองนครราชสีมา	4,267	2	350	2	114	6	7	6
	ครบุรี	231	1	15	1	289	13	15	13
	เสิงสาง	1,017	1	109	1	68	2	2	2
	คง	857	1	87	1	37	3	3	3
	บ้านเหลื่อม	0	0	0	0	0	0	0	0
	จักราช	4,937	2	138	2	0	0	0	0
	โชคชัย	4,819	2	90	2	301	12	12	12
	ด่านขุนทด	6,564	3	137	3	1,136	47	21	47
	โนนไทย	20,175	9	134	9	214	9	11	9
	โนนสูง	2,767	1	195	1	127	5	12	5
	ขามสะแกแสง	1,004	1	41	1	12	1	1	1
	บัวใหญ่	2,378	1	135	1	70	3	1	3
	ประทาย	819	1	119	1	5	1	1	1
	ปักธงชัย	4,617	2	246	2	132	6	7	6
	พิมาย	415	1	38	1	0	0	0	0
	ห้วยแถลง	2,914	2	1,090	2	0	0	0	0
	ชุมพวง	2,151	2	252	2	0	0	0	0
	สูงเนิน	10,738	5	164	5	0	0	0	0

จังหวัด	อำเภอ	สุกรขุน				แพะเนื้อ			
		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์ม		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์ม	
		ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง
นครราชสีมา	ขามทะเลสอ	414	1	35	1	320	13	8	13
	สีคิ้ว	152	1	12	1	96	4	5	4
	ปากช่อง	153,186	68	68	68	2,580	108	64	108
	หนองบุญมาก	21,376	1	343	1	582	22	17	22
	แก้งสนามนาง	1,383	1	125	1	300	12	8	12
	โนนแดง	849	1	57	1	0	0	0	0
	วังน้ำเขียว	599	1	109	1	4	1	1	1
	เทพารักษ์	327	1	34	1	0	0	0	0
	เมืองยาง	993	1	186	1	869	36	22	36
	พระทองคำ	922	1	189	1	0	0	0	0
	ลำทะเมนชัย	3,537	1	396	1	0	0	0	0
	บัวลาย	550	1	52	1	0	0	0	0
	สีดา	30	0	1	0	0	0	0	0
	เฉลิมพระเกียรติ	544	1	49	1	0	0	0	0
ชลบุรี	เมืองชลบุรี	34	0	6	0	60	3	31	3
	บ้านบึง	149,204	67	25	25	0	0	0	0
	หนองใหญ่	21,280	10	5	10	55	2	1	2
	บางละมุง	6,131	3	18	3	549	23	25	23
	พานทอง	43,700	19	5	19	18	1	1	1
	พนัสนิคม	129,414	58	79	58	141	6	6	6
	ศรีราชา	0	0	0	0	115	4	8	4
	เกาะสีชัง	0	0	0	0	0	0	0	0
	สัตหีบ	89	0	3	0	109	5	3	5
	บ่อทอง	132,315	59	79	59	459	19	22	19

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จังหวัด	อำเภอ	สุกรขุน				แพะเนื้อ			
		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์ม		จำนวนสัตว์		จำนวนฟาร์ม	
		ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง	ประชากร	ตัวอย่าง
ปราจีนบุรี	เมืองปราจีนบุรี	16,991	8	34	8	30	2	4	2
	กบินทร์บุรี	64,738	30	34	30	485	20	5	20
	นาดี	27,588	12	45	12	0	0	0	0
	บ้านสร้าง	11,510	5	4	5	150	6	1	6
	ประจันตคาม	19,349	9	46	9	12	1	2	1
	ศรีมหาโพธิ	145	0	8	0	16	1	1	1
	ศรีมโหสถ	2,120	1	0	1	0	0	0	0
รวม		84,773	400	5,391	358	9,531	400	332	400

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในแต่ละอำเภอ

อำเภอ	สัตว์ (%)	จำนวนตัวอย่าง	
1	A_1	$A_1/100*n$	$= X_1$
2	A_2	$A_2/100*n$	$= X_2$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
32	A_{32}	$A_{32}/100*n$	$= X_{32}$
Total	100		n_A

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างฟาร์มในแต่ละอำเภอ

อำเภอ	ฟาร์ม (%)	จำนวนตัวอย่าง	
1	F_1	$F_1/100*n$	$= f_1$
2	F_2	$F_2/100*n$	$= f_2$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
32	F_{32}	$F_{32}/100*n$	$= f_{32}$
Total	100		n_f

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนตัวอย่างสัตว์ในแต่ละฟาร์มของอำเภอที่ 1

ฟาร์ม	สัตว์ (%)	จำนวนตัวอย่าง	
1	AF_1	$AF_1/100*X_1$	$= Y_1$
2	AF_2	$AF_2/100*X_1$	$= Y_2$
.	.	.	.
.	.	.	.
f_1	.	.	.
Total	100		X_1

น้ำหนักและชนิดของพืชอาหารสัตว์ที่ฟาร์มแต่ละแห่งใช้ในการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิด และ น้ำหนักตัวของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา โดยสำรวจจากฟาร์มผู้เลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอโดยอาศัยการจับสลาก (ดัดแปลงมาจาก Cavana, Delahaye, and Sekaran, 2000) เมื่อทราบน้ำหนัก และ ชนิดของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้แล้วก็นำตัวอย่างพืชอาหารสัตว์แต่ละชนิดจากการสุ่มเลือกชนิดละจำนวนอย่างน้อย 200 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์คุณสมบัติในห้องปฏิบัติการดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 วิธีการในการทดสอบหาคุณสมบัติของพืชอาหารสัตว์ที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิด

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	หมายเหตุ
ร้อยละของ ความชื้น และของแข็งทั้งหมดจากน้ำหนักแห้งคงที่ ที่ 70 °ซ	โดยน้ำหนัก ที่ทราบน้ำหนักของตัวอย่าง ซึ่งถูกอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ เป็นเวลา24 ชม.	Manlay et al. (2004)
ปริมาณคาร์บอน (C)	CNS 628 ELEMENTAL ANALYZER และ GAS ANALYZER Respiration Trial system	Manlay et al. (2004) Kawashima, Terada, and Shibata (2000)
ของแข็งระเหยง่าย (volatile solids)	โดยน้ำหนักที่หายไป จากน้ำหนักหรือ ปริมาตรของตัวอย่างที่ทราบ ซึ่งถูกเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)	APHA, AWWA, WEF. (1992)
ของแข็งคงตัว (fixed solids)	โดยน้ำหนักที่เหลือ จากน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวอย่างที่ทราบ ซึ่งถูกเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)	APHA, AWWA, WEF. (1992)
น้ำหนักของสัตว์	โดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก	Bunyavejchewin et al. (1985)

น้ำหนักตัวของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ เนื้อสัตว์ และมูลสัตว์รวมทั้งแก๊ส CO_2 CH_4 จากการย่อยอาหาร และ การหายใจของสัตว์แต่ละชนิด สำรวจโดยหาปริมาณ และน้ำหนักจากจำนวนของสัตว์แต่ละชนิดจากโรงฆ่าสัตว์ และ ฟาร์มปศุสัตว์ ซึ่งการเลือกโรงฆ่าสัตว์ หรือฟาร์มใช้

วิธีการจับสลาก (ดัดแปลงมาจาก Cavana, Delahaye, and Sekaran, 2000) เมื่อทราบถึงปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์แล้ว นำตัวอย่างเนื้อ และ มูลสัตว์ที่ได้จากสัตว์แต่ละชนิดนั้นจากการสุ่มเลือกชนิดละจำนวนอย่างน้อย 200 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์คุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 วิธีการในการทดสอบหาคุณสมบัติของเนื้อ และ มูลสัตว์จากสัตว์แต่ละชนิด

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	หมายเหตุ
ร้อยละของ ความชื้น และของแข็งทั้งหมดจากน้ำหนักแห้งคงที่ ที่ 70 °ซ	โดยน้ำหนัก ที่ทราบน้ำหนักของตัวอย่าง ซึ่งถูกอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °ซ เป็นเวลา24 ชม.	Manlay et al. (2004)
ปริมาณคาร์บอน (C)	CNS 628 ELEMENTAL ANALYZER และ GAS ANALYZER Respiration Trial system	Manlay et al. (2004) Kawashima, Terada, and Shibata (2000)
ของแข็งระเหยง่าย (volatile solids)	โดยน้ำหนักที่หายไป จากน้ำหนักหรือ ปริมาตรของตัวอย่างที่ทราบซึ่งถูกเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)	APHA, AWWA, WEF. (1992)
ของแข็งคงตัว (fixed solids)	โดยน้ำหนักที่เหลือ จากน้ำหนักหรือปริมาตรของตัวอย่างที่ทราบซึ่งถูกเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 30 นาที)	APHA, AWWA, WEF. (1992)
น้ำหนักของสัตว์	โดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก	Bunyavejchewin et al. (1985)

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาวิจัย

การดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการถ่ายเทคาร์บอนของการผลิตอาหารประเภทเนื้อ จากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรี สามารถสรุปขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ โดยสามารถขยายความถึงรายละเอียดของวิธีดำเนินการศึกษาในขั้นตอนต่าง ๆ ทั้ง 2 ขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นส่วนของการเข้าถึงแหล่งข้อมูล ชนิดของข้อมูลที่ต้องการ ปริมาณของข้อมูลตามการคำนวณ โดยเก็บข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) ด้วยการออกสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับพืชอาหารสัตว์ การทำปศุสัตว์ น้ำหนักสัตว์ และ สัดส่วนของซากสัตว์แต่ละชนิดจากโรงฆ่าสัตว์ ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.2 โดยวิธีการเก็บตัวอย่างในฟาร์ม ใช้วิธีจับสลากเลือกตัวสัตว์เฉพาะที่กำลังให้เนื้อ โดยไม่สนใจเพศ อายุ พันธุ์ หรือสภาวะต่าง ๆ ของร่างกายสัตว์ เช่น ตั้งท้อง ป่วย

ขั้นตอนที่ 2 เป็นส่วนของการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าของคาร์บอนด้วยเครื่อง CNS 628 ELEMENTAL ANALYZER และ GAS ANALYZER ได้แก่ ตัวอย่างพืช อาหารสัตว์ และ ตัวอย่างเนื้อจากสัตว์แต่ละชนิด และ ในมูลสัตว์ โดยอาศัยความร้อนในการเผาที่ 850°ซ และ ใช้หลักการแยกสารด้วยวิธีการดูดซึมมากน้อย (chromatography) โดยใช้น้ำหนักตัวอย่างที่ 0.2 กรัม ส่วนตัวอย่างหามาด้วยวิธีการสุ่มเลือกตัวอย่างตามความสะดวก (convenience sampling) (ศรเทพ ธัมวาสร, 2545; สุรินทร์ นิยมวางกูร, 2542; Cavana, Delahaye and Sekaran, 2000; Marks, 1982) โดยกำหนดขนาดตัวอย่างแต่ละตัวอย่างในการวิเคราะห์จำนวนอย่างน้อย 200 ตัวอย่าง เมื่อได้ค่าของคาร์บอนจากห้องปฏิบัติการแล้ว นำมาหาค่าปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยจากกิจกรรมการปศุสัตว์กับเวลา (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อวัน) และ นำมาใช้ในการศึกษาหาอัตราการถ่ายเทคาร์บอนจากพืชไปสู่สัตว์ด้วยการกิน เพื่อบ่งชี้ถึงพลวัตของการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนเทียบกับเวลา และ การตรึงคาร์บอนสะสมอยู่ในรูปของเนื้อสัตว์และ ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ โดยการสมดุลมวล รวมทั้งการปลดปล่อยคาร์บอนในรูปของแก๊ส CO_2 CH_4 และ มูลสัตว์ ซึ่งการวิเคราะห์หาอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนรวมต่อวัน และปัจจัยของการปลดปล่อยคาร์บอนในแต่ละส่วนของขั้นตอนการถ่ายเทคาร์บอนจากการปศุสัตว์แต่ละชนิด อาศัยหลักการถ่ายเทมวลตาม(UNECE, 2004) โดยสมการการปลดปล่อยคาร์บอนรวมสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.1

$$Etotal = nanimal \times (EFmetabolic + EFspreading + EFenergy\ equivalent) \quad (3.1)$$

โดยที่

nanimal = จำนวนของสัตว์แต่ละชนิด ในแต่ละพื้นที่

Etotal = คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยทั้งหมด (กิโลกรัมคาร์บอนต่อวัน)

EFmetabolic = คาร์บอนที่ปลดปล่อยจากการหายใจและการย่อยอาหารของสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อวัน)

EFenergy equivalent = คาร์บอนที่ปลดปล่อยจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตเนื้อ เช่นพลังงานน้ำมันในการขนส่งและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในฟาร์ม และ โรงฆ่ารวมถึงพลังงานที่ใช้แช่เย็น (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อวัน)

EFspreading = คาร์บอนที่ปลดปล่อยจากสิ่งขับถ่ายและในรูปของเสียของสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อวัน)

ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของการทำปศุสัตว์แต่ละชนิดอาศัยความสัมพันธ์ของค่าปริมาณคาร์บอนที่ได้ในรูปของผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์ กับปริมาณคาร์บอนของพืชที่ต้องใช้ในการเลี้ยงสัตว์ รวมทั้งปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากตัวสัตว์ และ จากการใช้พลังงานในโรงเรือน ฆ่าสัตว์ ขนส่ง และ เก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากสัตว์โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตอาหารประเภทเนื้อ

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 ข้อมูลที่ต้องการจากการสำรวจฟาร์มปศุสัตว์คือ น้ำหนักสัตว์ ปริมาณมูลสัตว์จำนวนสัตว์เลี้ยงและที่ส่งโรงฆ่าสัตว์ ชนิด และ ปริมาณพืชที่ใช้ ระยะเวลาเลี้ยง ปริมาณ พลังงานที่ใช้ในโรงเรือน และ การขนส่ง ข้อมูลจากโรงฆ่าสัตว์คือ ร้อยละของเนื้อหลังการชำแหละ สัดส่วนของเครื่องใน กระดูก หัว คอ และ อื่น ๆ ของสัตว์ พลังงานที่ใช้ในโรงฆ่าสัตว์ที่อยู่ตามอำเภอ และ กิ่งอำเภอต่าง ๆ ของจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และจังหวัดปราจีนบุรี โดยสรุปเป็นตารางบันทึกข้อมูลได้ดังแสดงในตารางที่ 3.7

3.4.2 ข้อมูลที่ต้องการจากห้องปฏิบัติการคือค่าปริมาณคาร์บอนจากการนำตัวอย่าง พืชอาหารสัตว์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์แต่ละชนิด ชิ้นเนื้อ ผลิตภัณฑ์ และ มูลสัตว์ ของสัตว์แต่ละชนิด มาวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนด้วย

เครื่อง CNS 628 ELEMENTAL ANALYZER ซึ่งมีอยู่ที่อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 10 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4.3 เครื่องมือสำคัญที่ต้องใช้ในการทดสอบ ร้อยละของความชื้น ของแข็งระเหยง่ายและ ขี้เถ้า ได้แก่ ตาชั่งน้ำหนัก และ เตาอบควบคุมอุณหภูมิ

3.4.4 วิธีการเก็บตัวอย่างและรักษาตัวอย่าง โดยเฉพาะตัวอย่างที่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและ ชีวภาพได้เมื่อเวลาหรือสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปเช่น การเก็บสิ่งขับถ่ายของสัตว์ เนื้อสัตว์ เป็นต้น โดยผู้วิจัยจะทำการเก็บตัวอย่างใส่ถุงพลาสติก มัดปากถุงให้แน่นสนิท และ แช่เย็นในถังน้ำแข็งเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อในห้องปฏิบัติการ ซึ่งที่ห้องปฏิบัติการนี้จะทำการเก็บรักษาตัวอย่างดังกล่าวโดยการแช่ตัวอย่างไว้ในตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิไว้ไม่เกิน 4 ^{0} เซลเซียส เพื่อรอการนำไปวิเคราะห์ต่อไป แต่ทั้งนี้การเก็บรักษาตัวอย่างที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้จะต้องไม่เกิน 3 วัน

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 อัตราการปลดปล่อยคาร์บอน (C-emision) คือปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่ถูกขับถ่ายออกมาจากสัตว์ในรูปของมูลสัตว์ (C-output) และแก๊ส CO_2, CH_4 จากมูลสัตว์ การหายใจ และ การย่อยอาหารของสัตว์ (C-emission) เทียบกับเวลา ซึ่งอัตราการปลดปล่อยคาร์บอน (C-emitted) ของสัตว์แต่ละชนิดนี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะทำให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ได้ โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.2

อัตราการปลดปล่อยคาร์บอน (C-emitted)

= (ปริมาณ C ในมูลสัตว์+จากแก๊สที่เกิดจากมูลสัตว์+ปริมาณ C จากลมหายใจ และ การย่อยอาหารของสัตว์) เทียบกับเวลา (3.2)

3.5.2 อัตราการตรึงคาร์บอนจากการถ่ายเทคาร์บอนจากพืชไปสู่สัตว์โดยน้ำหนักพืช และ น้ำหนักสัตว์เทียบกับเวลาสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.3 ซึ่งอัตราการตรึงคาร์บอนนี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันทำให้

สามารถจัดลำดับความสามารถในการใช้อาหารของสัตว์แต่ละชนิดได้ โดยสัตว์ที่มีความสามารถในการใช้อาหารสูงจะมีอัตราการตรึงคาร์บอนสูงด้วย

อัตราการตรึงคาร์บอน (C-fixation)

= (ปริมาณ C ทั้งหมดในอาหารที่เลี้ยงสัตว์-ปริมาณ C ในมูลสัตว์- ปริมาณ Cจากแก๊สที่เกิดจากมูลสัตว์ - ปริมาณ C จากลมหายใจ และ การย่อยอาหารของสัตว์) เทียบกับเวลา (3.3)

3.5.3 การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการผลิตเนื้อของสัตว์แต่ละชนิด เพื่อพิจารณาว่าปศุสัตว์ชนิดใดมีความเหมาะสมในการที่จะผลิตอาหารประเภทเนื้อมากกว่ากัน นั่นคือสัตว์ชนิดนั้นต้องมีค่าประสิทธิภาพในการใช้คาร์บอนสูงกว่าของสัตว์ชนิดอื่น ๆเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน วิธีการหาค่าประสิทธิภาพการผลิตเนื้อสามารถคำนวณได้ดังนี้

ประสิทธิภาพในการใช้คาร์บอน

= (คาร์บอนอาหารสัตว์ – คาร์บอนที่ปลดปล่อย) ÷ คาร์บอนอาหารสัตว์ (3.4)

3.5.4 การวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของการปศุสัตว์แต่ละชนิดสำหรับการผลิต อาหารประเภทเนื้อ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดโดยการเปรียบเทียบจากสัดส่วนระหว่างคาร์บอนที่ปลดปล่อยต่อคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในรูปอาหารของมนุษย์ นั่นหมายความว่าสัตว์ชนิดใดมีความเหมาะสมในการที่จะผลิตอาหารประเภทเนื้อ จะต้องมีค่าสัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนี้น้อยกว่าสัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสัตว์ชนิดอื่น ๆ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันซึ่งวิธีการหาค่าสัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำได้โดย

สัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเทียบกับการตรึงคาร์บอนที่เท่ากัน = คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อย / คาร์บอนที่ถูกตรึง (3.5)

สัดส่วนของการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเทียบกับปริมาณคาร์บอนในอาหารสัตว์ที่เท่ากัน = คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อย / คาร์บอนในอาหารสัตว์ (3.6)

โดยที่ คาร์บอนที่ถูกตรึง = คาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์สัตว์ในรูปของเนื้อ

คาร์บอนที่ถูกปลดปล่อย = คาร์บอนที่วิเคราะห์ได้ในรูปของการหายใจ การย่อยอาหาร และ คาร์บอนจากมูลสัตว์

คาร์บอนในอาหารสัตว์ = คาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จากหญ้า อาหารข้น และ อาหารสำเร็จรูป

3.6 สรุปแนวทางในการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้จะต้องลงพื้นที่เพื่อสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับสัตว์ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ สุกร และ แพะ ที่มีการเลี้ยงอยู่จริงในฟาร์มของเกษตรกรโดยไม่ได้คำนึงถึงพันธุ์ของสัตว์ในแต่ละชนิด สัตว์ชนิดต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาจะต้องมีอายุอยู่ในช่วงที่จะใช้ประโยชน์หรือให้เนื้อเท่านั้น การศึกษานี้เน้นที่สัตว์กินพืช และ สัตว์ที่มีลักษณะของการกินที่ทราบชนิด และ ปริมาณของอาหารที่สัตว์กินในทุก ๆ อำเภอ และ กิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งมีด้วยกัน 44 อำเภอ 6 กิ่งอำเภอโดยจะเน้นแหล่งข้อมูลที่มีระบบการจัดการปศุสัตว์ในรูปของฟาร์มปศุสัตว์ที่มีการขึ้นทะเบียนเป็นหลัก การประเมิน และ วิเคราะห์ระบบจะพิจารณาเสมือนระบบอยู่ในสภาวะสมดุลโดยอาศัยหลักการของการถ่ายเทมวลคาร์บอน (carbon massflow concept)

การศึกษานี้เป็นการพิจารณาการถ่ายทอดคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ที่นิยมใช้เลี้ยงในฟาร์มปศุสัตว์ไปสู่สัตว์บกที่กินพืชเป็นหลักทั้ง 2 ชนิดที่ศึกษา ตามระยะเวลาการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิด เพื่อศึกษาการถ่ายเทคาร์บอนจากพืชที่สัตว์เอาไปใช้ได้จริง (หักลบด้วยปริมาณคาร์บอนในมูลสัตว์) มาสะสมที่สัตว์ในรูปของเนื้อ เพื่อการบริโภคของคนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยมีวิธีการประเมินการใช้พลังงานจากการสำรวจการใช้จริงของแต่ละฟาร์ม และ ประเมินการปลดปล่อย CO_2 เทียบเท่า จากปริมาณพลังงานแต่ละชนิดที่ใช้ ซึ่งแสดงค่าคงที่ดังแนบท้ายในตารางที่ 4.7 ซึ่งพลังงานส่วนสำคัญใหญ่ 4 ส่วน ที่เกี่ยวข้องได้แก่

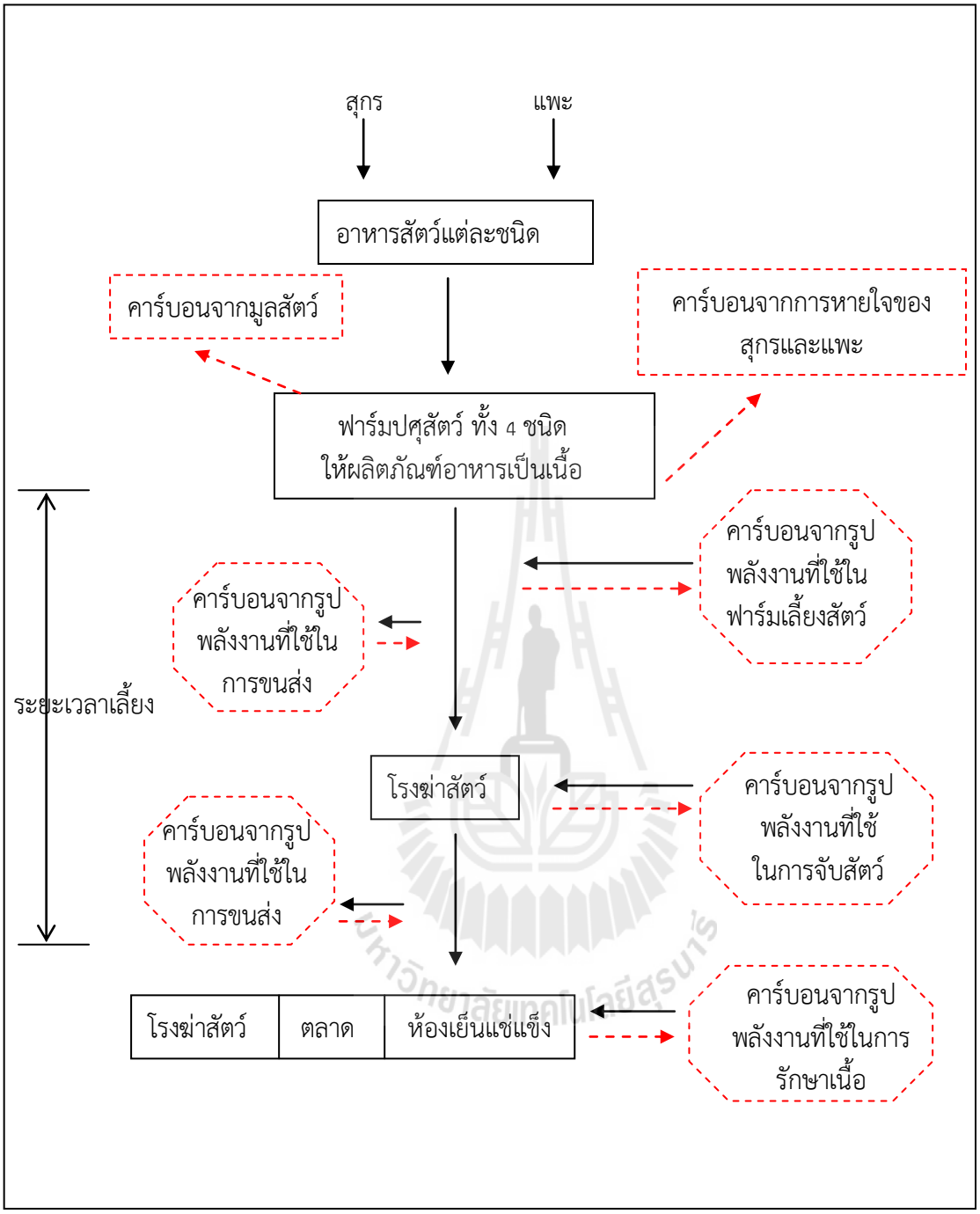
1. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือน้ำมันที่ใช้ในโรงเรือนเพื่อการเลี้ยงสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน) เช่น พลังงานความร้อนที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของโรงเรือน พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง และ พลังงานที่ใช้ในการระบายความร้อน เป็นต้น โดยที่รายงานไฟฟ้าและ แผนภูมิระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี 2548 (2548) และนพภาพร พานิช และคณะ (2547) วิเคราะห์ได้ว่า CO_2-emission จากการใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.18 กก. C / kWh ในขณะที่ การใช้แก๊ส LPG 1 กิโลกรัมจะเกิด CO_2-emission = 3.0102 kg.CO_2/ 1 kg. LPG

2. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการฆ่าสัตว์ และ พลังงานความร้อนในการถอนขนหรือขูดขนสัตว์ ในโรงฆ่าสัตว์ (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)

3. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในการเก็บรักษาเนื้อสัตว์แช่แข็ง (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน)

4. ปริมาณพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งตัวสัตว์ไปโรงฆ่าสัตว์ และ ขนส่งเนื้อสัตว์หลังชำแหละไปยังตลาด หรือ โรงงานแปรรูป หรือ ขนส่งเนื้อสัตว์ไปตลาดต่าง ๆ ในจังหวัด (กิโลกรัมคาร์บอนเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน) โดยที่ National Transportation Statistics (2000) ได้ประเมินค่า CO_2-emission จากพลังงานน้ำมันในการขนส่ง = 74.5 kg CO_2 / 1 ตันน้ำหนักบรรทุกทุก 500 กิโลเมตร และ U.S. EPA, AP-42 (1995) และ WHO. (1993) ระบุไว้ว่า CO_2-emission จากน้ำมันดีเซล = 2.24 kg.CO_2/L ในขณะที่น้ำมันเบนซิน = 2.10 kg.CO_2/L

การศึกษานี้จะเก็บข้อมูลภาคสนามจากฟาร์มปศุสัตว์เกี่ยวกับปริมาณพืชอาหารสัตว์โดยทั่วไปที่สัตว์แต่ละชนิดกินต่อตัวต่อวัน จำนวน และ น้ำหนักสัตว์แต่ละชนิดที่ส่งไปโรงฆ่าสัตว์เพื่อพิจารณาการถ่ายทอดคาร์บอนจากพืชมาสู่สัตว์ รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดตั้งแต่เกิดจนกระทั่งโตเต็มที่พร้อมส่งโรงฆ่าสัตว์ได้ โดยไม่ได้สนใจอายุ และ พันธุ์ของสัตว์ในแต่ละชนิด แต่จะจำกัดขอบเขตที่สัตว์ที่มีอายุในช่วงที่จะใช้ประโยชน์เท่านั้นข้อมูลเกี่ยวกับคาร์บอนในอาหารประเภทเนื้อ และ ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ เช่น มูลสัตว์ รวมทั้งคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ จะเก็บและรักษาตัวอย่างโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส โดยการทำทดสอบให้เสร็จภายใน 3 วัน และอาศัยการวิเคราะห์หาค่าของคาร์บอนด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยเครื่องมือการวิเคราะห์ธาตุ ได้แก่ CNS 628 ELEMENTAL ANALYZER ซึ่งถูกออกแบบมา เพื่อวัดปริมาณคาร์บอน (C) จากส่วนประกอบสารอินทรีย์หลายชนิด (Manlay et al., and Alhamd et al., 2004) เพื่อหาปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่ในพืชอาหารสัตว์ ในเนื้อสัตว์ และ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสัตว์แต่ละชนิด ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนจากพืชไปสู่สัตว์เทียบกับเวลา



รูปที่ 3.3 แสดงขอบเขตการศึกษาการถ่ายเทและการปลดปล่อยคาร์บอนของการผลิตอาหารจากการทำปศุสัตว์ในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรี

จากนั้นศึกษาความสัมพันธ์ของการทำปศุสัตว์แต่ละชนิดโดยการนำข้อมูลคาร์บอนต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการผลิตอาหาร ได้แก่ คาร์บอนในพืชที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ คาร์บอนในมูลสัตว์คาร์บอนในเนื้อ คาร์บอนในรูปของพลังงาน 4 กลุ่ม และ เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับการเลี้ยงสัตว์โดยตรง ซึ่งเป็นพลังงานส่วนใหญ่ที่ต้องใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ฆ่าสัตว์ ขนส่ง และเก็บรักษา เนื้อ และ มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้คาร์บอน (กิโลกรัมคาร์บอนต่อตัวต่อปี)ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการผลิตอาหารประเภทเนื้อ เพื่อจัดลำดับความสำคัญของการทำปศุสัตว์แต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม และ บ่งบอกถึงสัดส่วนของการปลดปล่อยคาร์บอนต่อคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในรูปอาหาร เพื่อชี้ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยนอกจากนี้ยังสามารถประเมินอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนต่อหน่วยของพืชอาหารสัตว์มาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารจากสัตว์ในรูปเนื้อ และ อัตราการปลดปล่อยคาร์บอนต่อหน่วยของมูลสัตว์ การหายใจ ตลอดจนการย่อยอาหารของสัตว์ และพลังงานที่ใช้ในการเลี้ยง การขนส่ง การฆ่า และ การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารจากการปศุสัตว์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

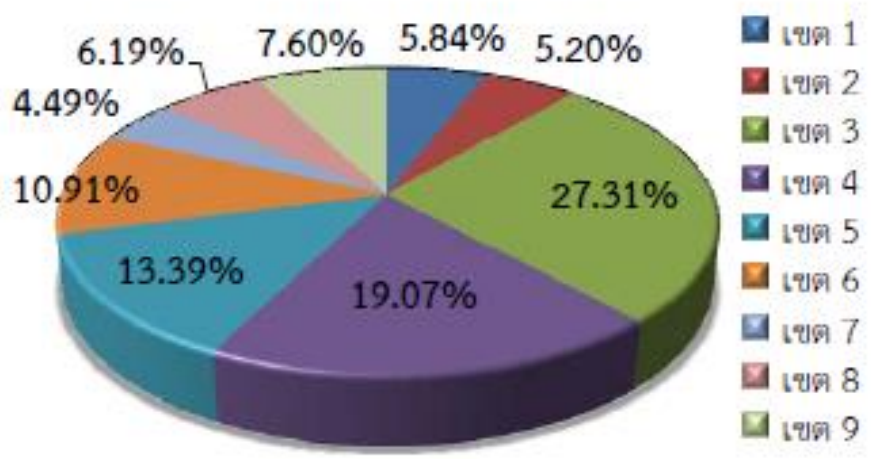
4.1 การสำรวจปริมาณสัตว์แต่ละชนิดที่มีการทำฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรี

การดำเนินการวิจัยศึกษาการถ่ายเทมวลคาร์บอนสำหรับการผลิตอาหารจากการทำฟาร์มปศุสัตว์ในแต่ละอำเภอ และ กิ่งอำเภอของจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี และ จังหวัดปราจีนบุรีเพื่อให้การศึกษาสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงาน จึงพิจารณาเลือกชนิดของปศุสัตว์ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และ สัตว์ที่กรมปศุสัตว์ส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงมากขึ้น ซึ่งศึกษาสัตว์กินพืชเป็นหลักเพื่อพิจารณาการถ่ายทอดคาร์บอนจาก พืชอาหารสัตว์ เป็นเนื้อจากสัตว์แต่ละชนิด โดยสามารถแบ่งชนิดของปศุสัตว์ที่ต้องการศึกษาออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ สัตว์กระเพาะเดี่ยว (Monogastric) และ สัตว์เคี้ยวเอื้องขนาดเล็ก (Small Ruminant)

การสืบค้นข้อมูลเกษตรกรผู้ทำปศุสัตว์จากข้อมูลข่าวสารของกรมปศุสัตว์ ที่ได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์เป็นรายครัวเรือน และ ปรับปรุงฐานข้อมูลในระบบฐานข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ (TH-LiFDS) โดยสำนักงานปศุสัตว์จังหวัดทั่วประเทศ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนโครงการต่างๆ ของกรมปศุสัตว์ รวมถึงผู้ที่ต้องการนำข้อมูลไปประกอบในการค้นคว้า วิเคราะห์ วิจัย เกี่ยวกับสถานการณ์ทางด้านปศุสัตว์ของประเทศไทย โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในเดือน มกราคม 2556 จากเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ในทุกจังหวัด ซึ่งผลจากการสำรวจสรุปได้ดังนี้

1) เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ ปี 2556 ประเทศไทยมีเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ทั้งสิ้น 2.96 ล้านครัวเรือน เมื่อพิจารณาเป็นรายเขตปศุสัตว์พบว่า ในพื้นที่เขต 3 มีเกษตรกร ผู้เลี้ยงสัตว์มากที่สุด โดยมีจำนวน 8.07 แสนครัวเรือน (ร้อยละ 27.31) รองลงมาคือ เขต 4 และ เขต 5 ตามลำดับ แสดงตามรูปที่ 4.1

2) จังหวัดที่มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์มากที่สุด คือ จังหวัดนครราชสีมา มีจำนวน 189,540 ครัวเรือน (ร้อยละ 6.41) รองลงมา คือ จังหวัดบุรีรัมย์ สุรินทร์ อุบลราชธานี และ สกลนคร ตามลำดับ แสดงตามตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงสัดส่วนเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ รายเขตปศุสัตว์

ตารางที่ 4.1 จังหวัดที่มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์มากที่สุด 5 อันดับแรก

ลำดับที่	เขตปศุสัตว์	เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ (ครัวเรือน)	
		จำนวน	ร้อยละ
1	นครราชสีมา	189,540	6.41
2	บุรีรัมย์	101,595	3.44
3	สุรินทร์	100,926	3.41
4	อุบลราชธานี	99,497	3.37
5	สกลนคร	95,755	3.24

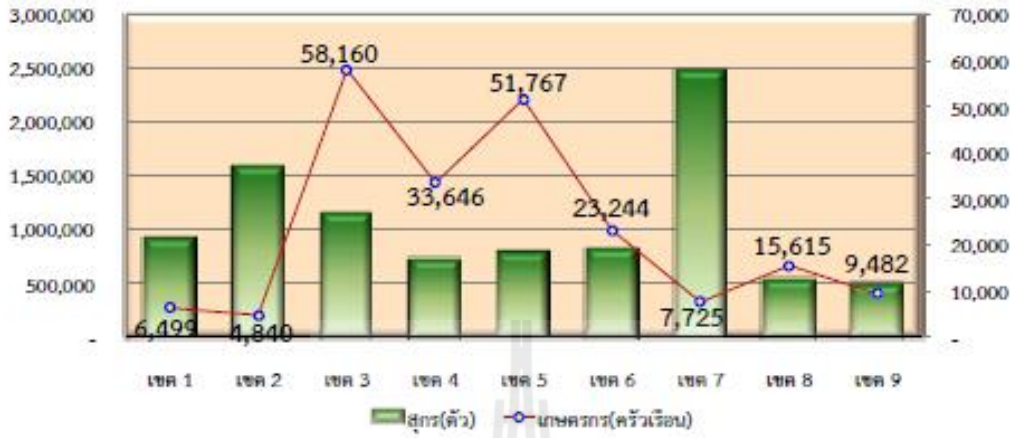
หมายเหตุ : ข้อมูล ณ 1 มกราคม 2556

ที่มา : สำนักงานปศุสัตว์อำเภอ จากระบบฐานข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์

http://ict.dld.go.th/th2/index.php/th/report

3) ในปี 2556 มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรทั้งหมดจำนวน 210,978 ครัวเรือน โดยส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่เขต

3 มีจำนวน 58,160 ครัวเรือน (ร้อยละ 27.57) รองลงมาคือ ในพื้นที่เขต 5 และเขต 4 ตามลำดับ แสดงตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร รายเขตปศุสัตว์

จังหวัดที่มีการเลี้ยงสุกรมากที่สุด คือ จังหวัดราชบุรี มีสุกรจำนวน 1,910,466 ตัว (ร้อยละ 20.09) รองลงมาคือ จังหวัดชลบุรี นครราชสีมา ลพบุรี และ พัทลุง ตามลำดับ แสดงตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงจังหวัดที่มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรและเขตปศุสัตว์ที่มีจำนวนสุกร มากที่สุด 5 อันดับแรก

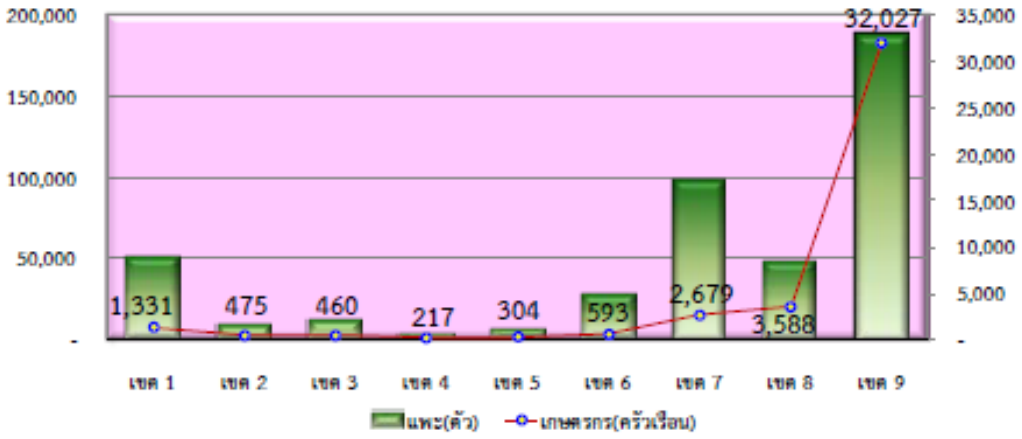
ลำดับที่	เขตปศุสัตว์	เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ (ครัวเรือน)		เขตปศุสัตว์	สุกร (ตัว)	
		จำนวน	ร้อยละ		จำนวน	ร้อยละ
1	เชียงใหม่	16,212	7.66	ราชบุรี	1,910,466	20.09
2	บุรีรัมย์	10,070	4.77	ชลบุรี	736,931	7.75
3	เชียงราย	9,605	4.55	นครราชสีมา	353,673	3.72
4	สุรินทร์	9,593	4.55	ลพบุรี	342,276	3.6
5	น่าน	8,509	4.03	พัทลุง	372,154	3.44

จังหวัดที่มีการเลี้ยงสุกรเฉลี่ยต่อครัวเรือนมากที่สุดคือ จังหวัดราชบุรี มีจำนวน 1,105 ตัวต่อครัวเรือน รองลงมาคือ จังหวัดชลบุรี ปราจีนบุรี ระยอง และ ฉะเชิงเทรา ตามลำดับ แสดงตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงจังหวัดที่มีการเลี้ยงสุกรเฉลี่ยต่อครัวเรือน มากที่สุด 5 อันดับแรก

ลำดับที่	เขตปศุสัตว์	เกษตรกร (ครัวเรือน)		สุกร (ตัว)		เฉลี่ยต่อครัวเรือน
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	
1	ราชบุรี	1,730	0.82	1,910,466	20.09	1,104.32
2	ชลบุรี	745	0.35	736,931	7.75	989.17
3	ปราจีนบุรี	269	0.13	186,242	1.96	692.35
4	ระยอง	196	0.09	124,822	1.31	636.85
5	ฉะเชิงเทรา	504	0.24	306,666	3.22	608.46

4) ในปี 2556 มีเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะทั้งหมดจำนวน 41,674 ครัวเรือน ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่เขต 9 มีจำนวน 32,027 ครัวเรือน (ร้อยละ 76.85) รองลงมาคือ ในพื้นที่เขต 8 และเขต 7 ตามลำดับ โดยมีการเลี้ยงแพะทั้งหมดจำนวน 440,277 ตัว ในพื้นที่เขต 9 มีการเลี้ยงแพะมากที่สุด คือ 188,380 ตัว (ร้อยละ 42.79) รองลงมาคือ ในพื้นที่เขต 7 และเขต 1 ตามลำดับ แสดงตามรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะ และ จำนวนแพะ รายเขตปศุสัตว์

การศึกษานี้ได้กำหนดพื้นที่เป้าหมายในการศึกษา โดยสามารถแสดงตำแหน่งและรายชื่อของทั้ง 26 อำเภอและ 6 กิ่งอำเภอ (จะรวมเรียกเป็น 32 อำเภอ) ของจังหวัดนครราชสีมา 11 อำเภอของจังหวัดชลบุรี 7 อำเภอของจังหวัดปราจีนบุรี และ ตัวอย่างความหนาแน่นของฟาร์มปศุสัตว์ในแต่ละอำเภอ และกิ่งอำเภอของปี 2556 (สำนักงานปศุสัตว์อำเภอ จากระบบฐานข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์, 2556) จากวิธีการหาจำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดของ Yamane (1973) ที่ค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างอยู่ที่ร้อยละ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.2 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนและอัตราการถ่ายเทปริมาณคาร์บอนจากการเลี้ยงสัตว์

การเปรียบเทียบค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันจากสัตว์ทั้งสองชนิดต่างกัน โดยเทียบจากน้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมน้ำหนักสัตว์ต่อวัน (กก.$_{คาร์บอน}$/กก. $_{นน.สัตว์}$/วัน) พบว่าแพะมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันสูงกว่าสุกรเท่ากับ 4.02 x 10^{-3} กก.$_{คาร์บอน}$/กก. $_{นน.สัตว์}$/วัน เนื่องจากสัตว์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษาพบว่าแพะเป็นสัตว์ที่มีการรับคาร์บอนจากอาหารโดยการกินมากกว่าถึง 31.73 x 10^{-3} กก.$_{คาร์บอน}$/กก. $_{นน.สัตว์}$/วัน ในขณะที่สุกรจะมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันต่ำกว่าเท่ากับ 2.78 x 10^{-3} กก.$_{คาร์บอน}$/กก. $_{นน.สัตว์}$/วัน เพราะว่าสุกรรับคาร์บอนจากพืชอาหารโดยการกินต่ำเพียง 9.53 x 10^{-3} กก.$_{คาร์บอน}$/กก. $_{นน.สัตว์}$/วัน ในขณะที่มีความสามารถในการตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายได้ถึง 70.81% เมื่อนำค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากสัตว์ชนิด

ดังกล่าวที่น้ำหนักเท่ากันมาเปรียบเทียบกัน พบว่าจะสามารถเรียงลำดับค่าการปลดปล่อยคาร์บอนของสัตว์ทั้งสองชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

นอกจากนี้ผลการสำรวจพบว่า สุกร และ แพะมีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยคาร์บอนรวมต่อตัวต่อวันแตกต่างกันโดยมีค่าสูงสุดที่สุกร เนื่องจากสุกรมีขนาดใหญ่กว่าแพะ ปริมาณการกินอาหารต่อตัวต่อวันใกล้เคียงกัน ซึ่งมีการปลดปล่อยคาร์บอนรวมเท่ากับ 0.275 $\pm$ 0.58 กก. $_{คาร์บอน}$/ตัว/วัน ปริมาณคาร์บอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปมูลสุกรเป็นหลักคิดเป็น 71.36% ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งหมดดังในรูปที่ 4.4 ส่วนปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากลมหายใจและการย่อยอาหารของสุกรคิดเป็น 28.464% ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งหมด ในขณะที่แพะ 1 ตัวมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนรวมเท่ากับ 0.343 $\pm$ 1.46 กก.$_{คาร์บอน}$/ตัว/วัน ซึ่งปริมาณคาร์บอนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของมูลแพะเป็นหลักคิดเป็น 69.482% ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งหมด ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากลมหายใจ และการย่อยอาหารของแพะเนื้อคิดเป็น 30.27% ของปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาทั้งหมดตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของแก๊ส CO_2 และ CH_4 ที่เกิดจากมูล การย่อยอาหารและการหายใจของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 ซึ่งถ้าเทียบจากสัตว์ที่ทำการศึกษาพบว่าแพะมีสัดส่วนการปลดปล่อยแก๊ส CH_4 ต่อ CO_2 มากที่สุดถึง 3.370 x 10^{-4} เท่าเมื่อคิดเทียบที่น้ำหนักตัวเท่ากันซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าแก๊ส CH_4 มีศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming Potentials [GWPs]) ได้มากกว่าแก๊ส CO_2 ถึง 21 เท่า (IPCC, 2001)

ตารางที่ 4.4 อัตราการถ่ายเท การตรึง และการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนของสัตว์ชนิดต่าง ๆ

(ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์	C_{input} (กก.$_{คาร์บอน}$/ตัว/วัน)	C_{input}ที่นน.สัตว์เท่ากัน (กก.C_{input}/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน)	$C_{fixation}$(กก.$_{คาร์บอน}$/ตัว/วัน)	$C_{fixation}$ที่นน.สัตว์เท่ากัน (กก.$C_{fixation}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน)	$C_{emission}$ (กก.$_{คาร์บอน}$/ตัว/วัน)	$C_{emission}$ที่นน.สัตว์เท่ากัน (กก.$C_{emission}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน)	$C_{emission}$ /C_{input}(%)	$C_{emission}$/$C_{fixation}$(%)	ประสิทธิภาพการตรึง C = (C_{input} - $C_{emissiond}$)/C_{input} (%)
สุกร	0.942±0.04	$9.53x10^{-3}$	0.641	$6.48x10^{-3}$	0.275±0.58	$2.78x10^{-3}$	29.19	42.90	70.81
แพะ	1.13±1.68	$31.73x10^{-3}$	0.697	$19.57x10^{-3}$	0.343±1.46	$9.63x10^{-3}$	30.35	49.21	69.65

ตารางที่ 4.5 การปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันและการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันเทียบจากน้ำหนักสัตว์แต่ละชนิดที่เท่ากัน (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

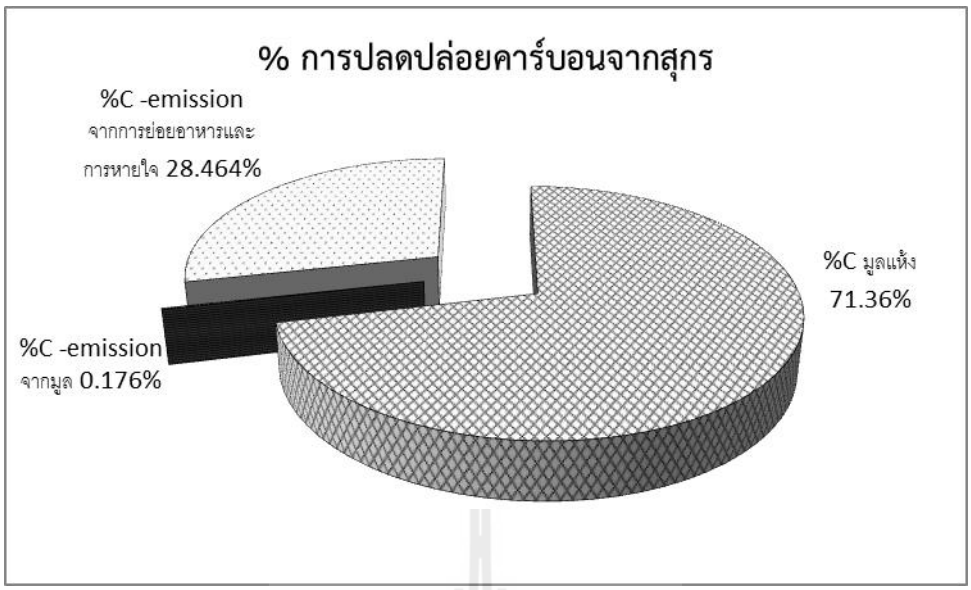
ชนิดสัตว์	น้ำหนักมูลสดที่ขับถ่าย (กก./ตัว/วัน)	ร้อยละมูลที่ขับถ่ายต่อน้ำหนักตัว	ค่าการปลดปล่อยคาร์บอน ($กก._{คาร์บอน}$/ตัว/วัน)	น้ำหนักสัตว์มีชีวิตเฉลี่ยในฟาร์ม (กก./ตัว)	ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนเทียบจากน้ำหนักที่เท่ากัน ($กก._{คาร์บอน}/กก._{บนสัตว์}$/วัน) x 10^{-3}
สุกร	1.31±0.41	1.31	0.275±0.58	98.94±2.47	$2.78x10^{-3}$
แพะ	1.26±2.37	3.54	0.343±1.46	35.61±1.63	$4.02x10^{-3}$

ตารางที่ 4.6 แก๊สที่เกิดจากสุกร และ แพะ ที่เลี้ยงในฟาร์มต่าง ๆ ของประเทศไทย (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

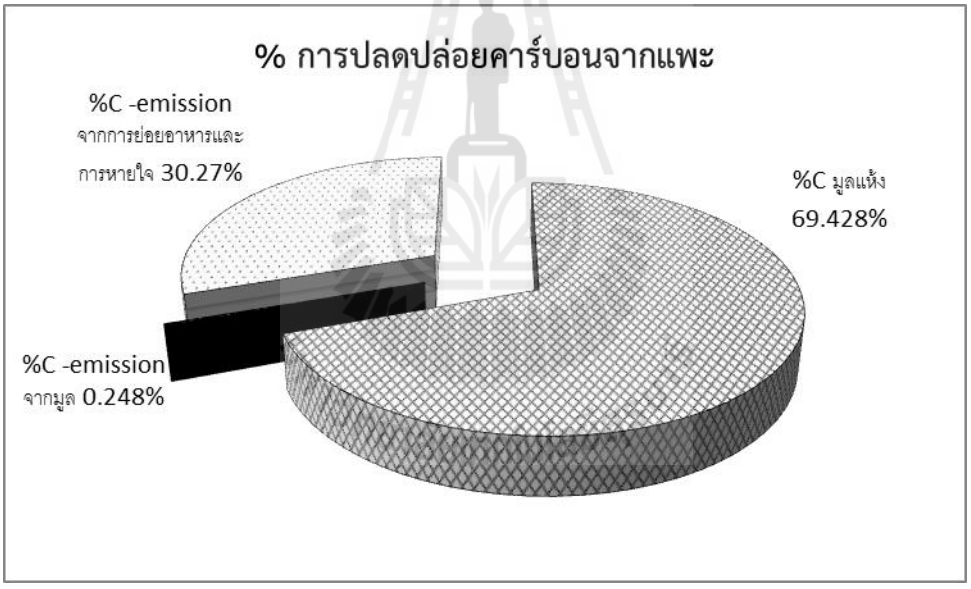
ชนิดสัตว์	ค่าเฉลี่ยของแก๊สจาก	CH_4 (กก./ตัว/วัน)	CO_2 (กก./ตัว/วัน)	สัดส่วน $CH_4 : CO_2$		$CH_4 : CO_2$ ที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน
สุกร	มูล	0.0001 ± 0.0000	0.0010 ± 0.0003	0.132	รวม 2 แหล่ง =	2.775×10^{-4}
	การย่อยอาหารและการหายใจ	0.0071 ± 0.0044	0.2536 ± 0.1286	0.028	0.028	
แพะ	มูล	0.0002 ± 0.000002	0.0018 ± 0.000156	0.220	รวม 2 แหล่ง =	3.370×10^{-4}
	การย่อยอาหารและการหายใจ	0.0314 ± 0.0063	0.3732 ± 0.000213	0.034	0.034	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<u>หมายเหตุ</u> : Hartung (1992), Klarenbeek (1988) และ Tamminga (1992) พบว่า สุกรขุนที่น้ำหนักตัวเฉลี่ย 7.5 กก. ปล่อยแก๊ส CH_4 = 0.0008 กก./ตัว/วัน แพะที่น้ำหนักตัวเฉลี่ย 15 กก. ปล่อยแก๊ส CH_4 = 0.0023 กก./ตัว/วัน จากการดำรงชีวิต



รูปที่ 4.4 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากแหล่งต่าง ๆ ของสุกร



รูปที่ 4.5 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากแหล่งต่าง ๆ ของแพะ

ผลจากการศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากตัวสัตว์ทั้งสองชนิดดังตารางที่ 4.6 และ UNECE TFEIP (2004) ได้อธิบายถึง การปลดปล่อยมวลคาร์บอนโดยอาศัยหลักการอนุรักษ์มวลจะทำให้สามารถบ่งบอกถึงปริมาณคาร์บอนรวมทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกจากตัวสัตว์ (ตันคาร์บอนต่อปี) ซึ่งในที่นี้ได้แก่ สุกร และ แพะที่สัมพันธ์กับปริมาณของการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดได้ดังสมการที่ 4.1

C-emission (ตัวสัตว์) = (0.103)Swine + (0.064)Goats (4.1)

โดยที่ C-emission (ตัวสัตว์) = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวของสุกร และ แพะ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Swine = จำนวนสุกรที่เลี้ยง (ตัว)

Goats = จำนวนแพะที่เลี้ยง (ตัว)

ส่วนการศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งหมดจากพืชอาหารไปสู่สัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวด้วยการกิน สะสมเป็นเนื้อเยื่อของร่างกาย และอวัยวะต่าง ๆ ตลอดจนสิ่งขับถ่ายของสัตว์ในช่วงระยะเวลาของการเลี้ยงได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.7 ด้วยเช่นกันโดยจะเห็นได้ว่า สุกรซึ่งเป็นสัตว์ขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักมากกว่าแพะจะมีการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากพืชอาหารไปสู่ตัวสัตว์หรือมีการบริโภคคาร์บอนต่อวันต่อตัวสูง แต่แพะ ซึ่งเป็นสัตว์ที่มีขนาดเล็กกว่ามีการบริโภคคาร์บอนต่อตัวต่อวันสูงเนื่องจากพืชอาหารสัตว์ที่แพะบริโภคนั้นมีประสิทธิภาพต่ำกกว่าอาหารของสุกร แต่เมื่อนำค่าการถ่ายเทมวลคาร์บอน (C-input จากพืชอาหาร) ของสัตว์แต่ละชนิดมาเปรียบเทียบที่น้ำหนักตัวเท่ากัน จะพบว่าค่าการถ่ายเทมวลคาร์บอนของแพะมากกว่าสุกร ซึ่งจะเห็นว่าลำดับของสัตว์ที่มีการบริโภคคาร์บอนที่น้ำหนักตัวเท่ากันนี้จะเหมือนกันกับการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์ทั้งสองชนิด แสดงว่าปริมาณการบริโภคคาร์บอน (C-input) มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกจากตัวสัตว์ (C-emission ตัวสัตว์)

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนที่ถูกถ่ายเท (C_{input}) ตรึงสะสมในสัตว์ ($C_{fixation}$) ปลดปล่อยออกจากสัตว์ ($C_{emitted}$) ในมูลสัตว์ (C_{output}) และ $C_{emission}$ ของแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากมูล การหายใจและการย่อยอาหาร (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์	ปริมาณ C ที่ถูกถ่ายเทจากพืชอาหารที่สัตว์กิน (กก.$_{คาร์บอน}$/ตัว/วัน)	ปริมาณ C ที่ถูกตรึงสะสม (กก.$_{คาร์บอน}$/ตัว/วัน)				ปริมาณ C ที่ถูกปลดปล่อย (กก.$_{คาร์บอน}$/ตัว/วัน)			
		รวม คาร์บอนสะสมในร่างกาย (สมดุลมวล)	เนื้อสัตว์	เครื่องใน	กระดูก หนัง เลือดและอื่น ๆ (สมดุลมวล)	รวมคาร์บอนถูกปลดปล่อยจากสัตว์	มูลสัตว์แห้ง	C -emission ของแก๊ส CO_2 และ CH_4	
								มูลสัตว์	การย่อยอาหารและการหายใจ
สุกร	0.942±0.04	0.641 ± 0.46	0.050	0.007	0.572	0.253 ± 0.58	0.178 ± 0.44	0.0004 ± 0.01	0.075 ± 0.04
แพะ	1.13±1.68	0.697 ±0.827	0.046	0.008	0.421	0.317 ± 0.63	0.215 ± 0.63	0.0005 ± 0.04	0.084 ± 0.04

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง C-emission กับ C-input ของ สุกร และ แพะ ทำให้ได้สมการความถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวของสัตว์แต่ละชนิดดังสมการที่ 4.2 - 4.4

C-emission สุกร = 0.1737 (C-inputพืช) + 0.001 (4.2)

โดยที่ C-emission สุกร = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสุกร (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

C-input พืช = ปริมาณคาร์บอนในอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวสุกรด้วยการกินในช่วงอายุที่กำลังให้เนื้อ หรือมีอายุเฉลี่ย 131.24 ± 22.64 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.941 ± 0.04 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

C-emission แพะ = 0.206 (C-inputพืช) + 0.003 (4.3)

โดยที่ C-emission แพะ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวแพะ (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

C-input พืช = ปริมาณคาร์บอนในอาหารสัตว์ที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวแพะด้วยการกินในช่วงอายุที่กำลังให้เนื้อ หรือมีอายุเฉลี่ย 152.64± 4.68 วัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.13 ± 1.68 (กิโลกรัมคาร์บอน/ตัว/วัน)

จากการสมดุลมวลคาร์บอนพบว่า การสะสมปริมาณคาร์บอนในร่างกายต่อวันของสัตว์แต่ละชนิด ดังกล่าวจากปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปของอาหารสัตว์ถูกถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์โดยการกินต่อวันหักออกด้วย ปริมาณคาร์บอนในมูล และ ในแก๊สที่เกิดจากมูลสัตว์ การย่อยอาหาร และ การหายใจของสัตว์ต่อวัน ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.7 ตามที่ได้นำเสนอไว้แล้วนั้นเป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงสะสมอยู่ในร่างกายของสัตว์แต่ละชนิดต่อวัน ไม่ได้ถูกใช้เพื่อการเจริญเติบโตทั้งหมด โดยที่สัตว์แต่ละชนิดจะใช้อาหารที่ได้รับในแต่ละวันสร้างประโยชน์หลัก ๆ 4 ประการ (พานิช ทินนิมิต, 2535) คือ

1. เพื่อใช้เป็นโครงสร้างหรือรูปร่างของสัตว์เช่น เนื้อเยื่อ กระดูก ฟัน ผิวหนัง เอ็น ผม ขน หงอน และกีบ เป็นต้น
2. เพื่อการดำรงชีวิต ควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในร่างกาย
3. เพื่อบำรุงเลี้ยงร่างกาย ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ เนื่องจากเนื้อเยื่อของร่างกายจะมีการสร้างและการสลายตลอดเวลา
4. เพื่อการสร้างผลิตผลต่าง ๆ เช่น เนื้อ ไข่ ขน หนัง เป็นต้น และสะสมไขมันในร่างกายโดยพลังงานที่ร่างกายได้รับจากอาหาร จะต้องถูกนำไปเป็นพลังงานสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ประมาณ 93% อีก 7% เป็นพลังงานที่ร่างกายเก็บสะสมไว้ใช้ยามขาดแคลน

กระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของสสารในอาหารที่บริโภคให้กลายเป็นสสารในรูปเซลล์ และ พลังงาน ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต เช่น การเจริญเติบโต และการดำรงชีวิต (พัชรา วีระกะลัส, 2544) พลังงานเคมีในรูปของสารอาหารจะถูกเปลี่ยนรูป และ ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรูปมีการสูญเสียพลังงานไปในรูปของความร้อนเสมอ ซึ่งเป็นไปตามกฎแห่งการลดน้อยถอยลง (Law of Entropy) ของการถ่ายทอดพลังงาน ความร้อนที่สูญเสียเป็นความร้อนที่มีอนุภาคต่ำ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก สรุปได้ว่าพลังงานเคมีในรูปของสารอาหารที่ส่งต่อไปยังตัวสัตว์จากการกินอาหารของสัตว์นั้น จะเหลือเพียงส่วนน้อยที่ใช้ในการเจริญเติบโต เนื่องจากมีพลังงานที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้ 3 ส่วนคือ พลังงานในส่วนที่กินไม่ได้ พลังงานในส่วนที่ย่อยไม่ได้ และพลังงานที่ถูกเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน ซึ่งกระบวนการหมุนเวียนของธาตุอาหารเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการถ่ายทอดพลังงาน โดยธาตุที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในการสร้างโมเลกุล ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอน และออกซิเจน มีสัดส่วนรวมกันถึง 99.47% ของธาตุทั้งหมดที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต (Marsh

and Grossa, 1996 ; Odum, 1971) สารอาหารในมวลชีวภาพของสิ่งมีชีวิตจะถูกใช้ในการดำรงชีวิต ใช้ในกิจกรรมประจำวัน และซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอรวมทั้งจะมีการสูญเสียพลังงานไปในรูปของความร้อนเสมอ มิใช่ทุกส่วนของพืชหรือสัตว์จะถูกกิน และ ใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมสร้างเนื้อเยื่อของผู้บริโภคเพื่อการเจริญเติบโตทั้งหมด (Cunningham and Saigo, 2001)

ดังนั้นไม่ใช่ว่าปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสัตว์จากการทำสมดุลคาร์บอน (Cfixation = Cinput – Cemissionj) จะถูกนำไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อเพื่อการเจริญเติบโตของสัตว์ทั้งหมด แต่จะมีปริมาณคาร์บอนบางส่วนถูกใช้ไปในการสร้างเนื้อเยื่อ ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ และ ปริมาณคาร์บอนบางส่วนจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานด้วยกระบวนการเมตาบอลิซึม เพื่อใช้ในการดำรงชีวิต ในขณะที่บางส่วนก็จะสูญเสียไปทุกครั้งจากการเปลี่ยนรูปในลักษณะของความร้อน ซึ่งในเอกสารประกอบคำบรรยายวิชาเคมีของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2538) กล่าวไว้ว่าโปรตีน และ ไขมัน เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุ C : H : O เป็นองค์ประกอบสำคัญ และโปรตีน 1 กรัม จะให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี่ ในขณะที่ไขมันให้พลังงานประมาณ 9.45 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม มากกว่าคาร์โบไฮเดรตถึง 2.25 เท่า (Brody, 1945) จากการเปรียบเทียบร้อยละของสัดส่วนปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยที่ถูกตรึงสะสมอยู่ในร่างกายต่อปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยจากพืชอาหารที่สัตว์แต่ละชนิดกินต่อวัน (Cfixation/Cinput) พบว่า สุกรมีการตรึงปริมาณคาร์บอนจากพืชอาหารมาสะสมไว้ในร่างกายได้มากกว่าถึง 68.05% แม้ว่าสุกรจะมีสัดส่วนของเนื้อรวมที่ได้น้อยกว่าแพะก็ตาม เมื่อเทียบจากสัตว์ให้เนื้อที่ทำการศึกษา ดังผลการศึกษาร้อยละของเนื้อ เครื่องในรวม และหนัง เลือด กระดูกของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวจากโรงฆ่าสัตว์ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สัดส่วนเนื้อรวมและเครื่องในของสัตว์แต่ละชนิด (ค่าเฉลี่ย ≤ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์	สัดส่วนเนื้อรวม (%)	สัดส่วนเครื่องในรวม (%)	สัดส่วนหนัง เลือด กระดูก หัว และอื่น ๆ	$C_{fixation}/C_{input}$
สุกร	40.23±2.83	7.89±0.81	52.97%	68.05%
แพะ	43.66±1.64	9.27±0.93	48.67%	61.68%

ซึ่งผลจากการศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนจากพืชอาหารสัตว์ไปสู่สัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวโดยการกิน ในช่วงอายุที่ให้ประโยชน์ และ ปริมาณคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสัตว์แต่ละชนิดที่สัมพันธ์กับปริมาณของการเลี้ยงสัตว์ในแต่ละชนิดนั้น และ หลักการอนุรักษ์มวล (UNECE TFEIP, 2004) จะทำให้สามารถบ่งบอกถึงการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งหมดจากปริมาณการกินอาหารของสัตว์ทุกชนิดที่ทำการศึกษาดังสมการที่ 4.5 รวมถึงการตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังสมการที่ 4.6

$$Cinput = (0.32)Swine + (0.46)Goats \quad (4.5)$$

$$Cfixation = (0.23)Swine + (0.25)Goats \quad (4.6)$$

โดยที่ Cinput = มวลคาร์บอนที่ถ่ายเทจากอาหารสัตว์ไปสู่ตัวสัตว์ จากการกินอาหารของสัตว์แต่ละชนิด ในช่วงอายุที่ให้ประโยชน์ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Cfixation = ปริมาณมวลคาร์บอนที่ถูกตรึงอยู่ในร่างกายของสัตว์แต่ละชนิดรวมทั้งไข่ไก่ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Swine = จำนวนสุกรที่เลี้ยง (ตัว)

Goats = จำนวนแพะที่เลี้ยง (ตัว)

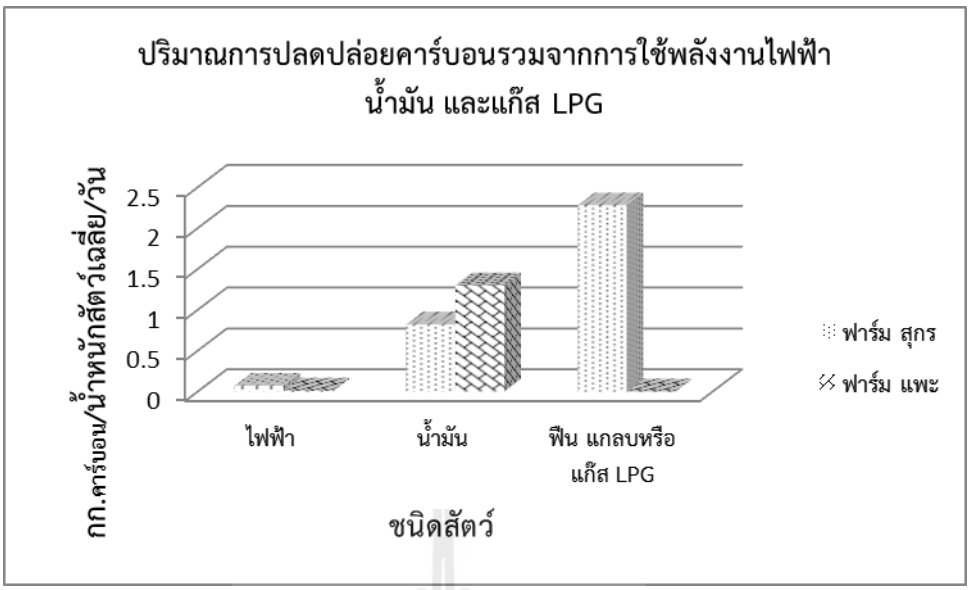
สัดส่วนของปริมาณคาร์บอนจากพืชอาหารที่ถ่ายเทไปสู่สัตว์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษาโดยการกินซึ่งจะถูกตรึงอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายสัตว์ มูลสัตว์ และแก๊ส CO_2, CH_4 จากการย่อยอาหาร และ การหายใจต่อตัวต่อวัน ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์ 100 ส่วนเมื่อถูกถ่ายเทมาสู่ตัวสัตว์จะถูกตรึงอยู่ในร่างกายหรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ซึ่งในที่นี้ได้แก่ สุกร และ แพะ เท่ากับ 68.50% และ 61.68% ปริมาณคาร์บอนบางส่วนที่เหลือจากการตรึงจะถูกปลดปล่อยออกมาจากตัวสัตว์โดยมีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 42.90% และ 49.21% ซึ่งจะเห็นว่าสุกรสามารถตรึงคาร์บอนไว้ในร่างกายได้สูงกว่าในขณะที่ปลดปล่อยคาร์บอนออกมาน้อยกว่าดังนั้นจึงอาจพูดได้ว่าในแต่ละวันสุกร 1 ตัว มีส่วนทำให้เกิดปัญหาทาง

สิ่งแวดล้อมในแง่ของการปลดปล่อยคาร์บอนน้อยกว่าแพะ โดยเฉพาะแพะซึ่งในแต่ละวันแพะ 1 ตัวจะมีร้อยละของการปลดปล่อยคาร์บอนสูงสุดถึง 49.21% จากปริมาณคาร์บอนในอาหารที่กินเข้าไป ดังนั้นการเลี้ยงแพะเพื่อผลิตเนื้อ จึงมีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงมากกว่าการผลิตเนื้อสุกร

4.3 การปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานที่มีส่วนสำคัญในการผลิตเนื้อ

จากการสำรวจฟาร์มเลี้ยงสัตว์ทั้งสองชนิด และ โรงฆ่าสัตว์ในจังหวัดที่ทำการศึกษาพบว่า ฟาร์มเลี้ยงสุกร และ ฟาร์มแพะ แต่ละแห่งนั้นมีการใช้พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยงสัตว์ต่อตัวต่อวันมาก ซึ่งการใช้พลังงานจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ในแต่ละแห่งที่พบได้แก่ พลังงานไฟฟ้า ปั๊มน้ำ และ แสงสว่าง พลังงานน้ำมันในการขนส่ง ขนส่งอาหารสัตว์ รวมทั้งขนส่งตัวสัตว์มายังฟาร์ม และ เข้าโรงฆ่าสัตว์รวมทั้งพลังงานจากการใช้ไฟฟ้าหรือแก๊สปิโตรเลียมเหลวที่ใช้ในการกกลูกสุกร ซึ่งปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากการใช้พลังงานทั้ง 3 ส่วนนี้ของฟาร์มเลี้ยงแพะมีค่าสูงกว่าเท่ากับ 0.93 กก.$_{\text{คาร์บอน}}$/ตัว/วัน โดยส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงานน้ำมันในการขนส่งอาหารเข้าฟาร์มเพราะแพะเป็นสัตว์ที่ต้องการพืชอาหารที่ใหม่สดทุกวัน แต่ถ้าพิจารณาเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันพบว่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานของฟาร์มเลี้ยงสุกรจะสูงกว่าเท่ากับ 31.41×10^{-3} กก.$_{\text{คาร์บอน}}$/กก.$_{\text{น้ำหนักสัตว์เฉลี่ย}}$/วัน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงานน้ำมันในการขนส่งอาหาร สุกรเข้าฟาร์ม ขนส่งสัตว์เข้าโรงฆ่าสัตว์ ในขณะที่โรงฆ่าสัตว์มีประเภทของการใช้พลังงานที่พบได้แก่พลังงานไฟฟ้า ปั๊มน้ำ แสงสว่าง พลังงานน้ำมันในการขนส่งเนื้อ รวมทั้งการใช้ฟืน แกลบหรือแก๊ส LPG ในการต้มน้ำร้อนเพื่อลวก ขูดขนสุกร ซึ่งค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากพลังงานทั้ง 3 ส่วนนี้ที่ใช้ในการผลิตเนื้อจะสูงสุดเท่ากับ 2.34 กก.$_{\text{คาร์บอน}}$/ตัว/วัน สำหรับการผลิตเนื้อสุกรโดยส่วนใหญ่เกิดจากการใช้ฟืนหรือแกลบเพื่อต้มน้ำร้อนลวกขูดขน และถ้าคิดเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันพบว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเนื้อสุกรมีค่าสูงสุดโดยมีค่าปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนเท่ากับ 23.91×10^{-3} กก.$_{\text{คาร์บอน}}$/กก.$_{\text{น้ำหนักสัตว์เฉลี่ย}}$/วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.9 เช่นกัน

พิจารณาเปรียบเทียบพลังงานรวมที่ใช้จากทั้ง 2 แห่งคือ ฟาร์ม และ โรงฆ่าสัตว์พบว่า สุกรมีการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันส่วนใหญ่จากการใช้พลังงานน้ำมันขนส่ง ในขณะที่สุกรจะมีการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากการใช้พลังงานส่วนใหญ่เกิดที่โรงฆ่าสัตว์จากการใช้ฟืนหรือแกลบดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยที่การผลิตเนื้อสุกรจะมีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนต่อตัวต่อวันจากการใช้พลังงานรวมทั้งหมดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.17 กก.$_{\text{คาร์บอน}}$/ตัว/วัน



รูปที่ 4.6 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมัน และแก๊ส LPG ผลิตเนื้อสุกร และ แพะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย C-emission จากพลังงานที่ฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์ใช้

(ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

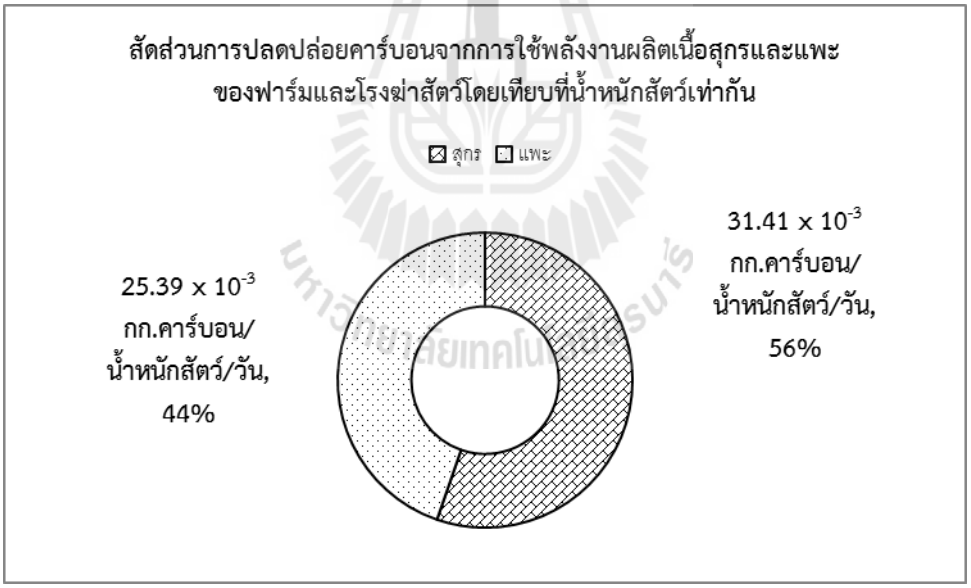
ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนจากพลังงาน			C-emission (กก. คาร์บอน /ตัว/วัน)	
			สุกร	แพะ
ฟาร์ม	ไฟฟ้า *		0.02 ± 0.02	0.002 ± 0.00
	น้ำมันขนส่ง **		0.81 ± 0.85	0.93 ± 0.03
	น้ำมันที่เครื่องจักรกลใช้*** หรือ LPG****		N.D.	N.D.
	รวม C จากพลังงาน/ตัว/วัน		0.83	0.95
	รวม C จากพลังงาน/น้ำหนักสัตว์/วัน		8.25×10^{-3}	9.29×10^{-3}
โรงฆ่าสัตว์	ไฟฟ้า *		0.05 ± 0.04	0.009 ± 0.004
	น้ำมันขนส่ง **		0.01 ± 0.00	0.37 ± 0.0016
	ฟืน แกลบหรือแก๊ส LPG****		2.28±1.02	N.D.
	รวม คาร์บอนจากพลังงาน/ตัว/วัน		2.34	0.379
	รวม คาร์บอนจากพลังงาน/น้ำหนักสัตว์/วัน		23.19×10^{-3}	16.93×10^{-3}
รวม $C_{emission}$ จากการใช้พลังงานของทั้ง 2 แห่ง		กก.คาร์บอน/ตัว/วัน	3.17	2.26
		กก.คาร์บอน/น้ำหนักสัตว์/วัน	31.41×10^{-3}	25.39×10^{-3}

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

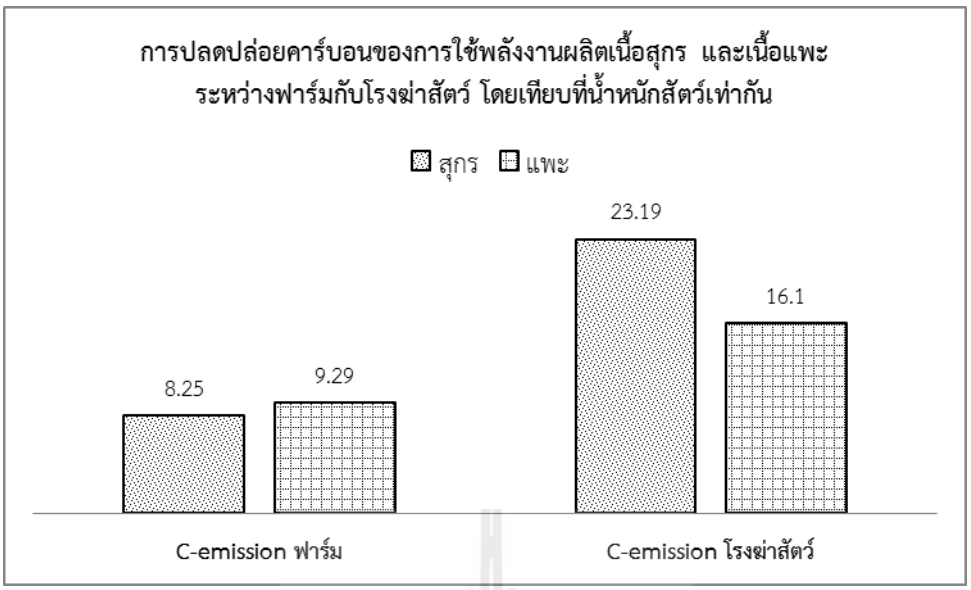
หมายเหตุ : * รายงานไฟฟ้าและแผนภูมิระบบพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปี2548 (2548) และนพภาพร พานิช และคณะ (2547) วิเคราะห์ได้ว่า CO_2-emission จากการใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.18 กก. C / kWh, ** National Transportation Statistics (2000) CO_2-emission จากพลังงานน้ำมันในการขนส่ง = 74.5 kg CO_2 / 1 ตันน้ำหนักบรรทุกทุก 500 กิโลเมตร}, *** U.S. EPA, AP-42 (1995) และWHO. (1993) ระบุไว้ว่า CO_2-emission จากน้ำมันดีเซล = 0.61 kg C/L (2.24 kg.CO_2/L) น้ำมันเบนซิน = 0.57 kg C/L (2.10 kg.CO_2/L) และจากการใช้แก๊ส LPG จะเกิด CO_2-emission = 3.259 kg.CO_2/ 1 kg. LPG (0.889 kg. C/ 1 kg. LPG), ****นพภาพร พานิช และคณะ (2547) วิเคราะห์ได้ว่าการใช้แก๊ส LPG 1 กิโลกรัม จะเกิด CO_2-emission = 3.0102 kg.CO_2/ 1 kg. LPG (0.821 kg. C/ 1 kg. LPG) และการเผาไหม้ของธาตุคาร์บอน 1 kg ที่เผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิงจะได้สารที่เกิดจากการเผาไหม้เป็น CO_2 หนัก 3.667 kg.

เทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากันพบว่า สุกรปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานรวมของฟาร์ม และ โรงฆ่าสัตว์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตเนื้อมากที่สุด คิดเป็น 56.29% ของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนทั้งหมดจากการใช้พลังงานสำหรับการผลิตเนื้อสุกร และ เนื้อแพะ จากการศึกษาดังแสดงในรูป 4.7 โดยจะมีการปลดปล่อยคาร์บอนรวมสูงสุดเท่ากับ 31.41x 10^{-3} กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{น้ำหนักสัตว์เฉลี่ย}$/วัน สำหรับการผลิตเนื้อแพะดังที่ได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 4.9 โดยพบว่า โรงฆ่าสัตว์จะมีการปลดปล่อยคาร์บอน ดังนั้นผลรวมของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากพลังงานที่ใช้ทั้งหมดของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์ จึงสามารถสรุปได้ว่า การผลิตเนื้อสุกรมีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเนื้อแพะเมื่อคิดเทียบที่น้ำหนักตัวเท่ากัน ซึ่งผลการศึกษานี้จะทำให้สามารถบ่งบอกถึงการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการใช้พลังงานที่ฟาร์ม และ โรงฆ่าสัตว์ สำหรับการผลิตเนื้อสุกร และเนื้อแพะ ดังสมการที่ 4.10

$$C\text{-}emission_{(พลังงาน)} = (1.16)Swine + (0.66)Goats \quad (4.10)$$



รูปที่ 4.7 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานผลิตเนื้อสุกร และ เนื้อแพะ ของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์โดยเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน



รูปที่ 4.8 การปลดปล่อยคาร์บอนของการใช้พลังงานผลิตเนื้อสุกร และ เนื้อแพะ ระหว่างฟาร์มกับโรงฆ่าสัตว์โดยเทียบที่น้ำหนักสัตว์เท่ากัน

โดยที่ C-emission(พลังงาน) = ปริมาณคาร์บอนรวมที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้พลังงานเพื่อการผลิตเนื้อ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Swine = จำนวนสุกรที่เลี้ยง (ตัว)

Goats = จำนวนไก่แพะที่เลี้ยง (ตัว)

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละของคาร์บอนกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของอาหารสัตว์ เนื้อ และมูลจากสัตว์ และการวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมจากชนิดของการเลี้ยงสัตว์

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของอาหารที่สัตว์กิน และ มูลแห้งที่สัตว์ขับถ่ายใน 1 วันต่อตัว รวมทั้งน้ำหนักสัตว์มีชีวิตเฉลี่ยจากฟาร์มต่าง ๆ ที่ศึกษา จะทำให้ได้สัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักมูลสัตว์แห้งที่ขับถ่ายออกมาต่อน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปในแต่ละวันโดยจะเห็นได้ว่า แพะจะขับถ่ายมูลออกมามากกว่าถึง 24.88 % ของน้ำหนักอาหารสัตว์ที่กินเข้าไป สุกร 20.25% ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของอาหารที่สัตว์กินต่อน้ำหนักสัตว์มีชีวิตเฉลี่ย และ น้ำหนักแห้งของมูลสัตว์ที่ถ่ายออกมาต่อน้ำหนักสัตว์มีชีวิตเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าแพะเป็นกลุ่มที่กินอาหารมากและขับถ่ายมูล

ออกมามากด้วย ในขณะที่สุกรกินอาหารเพียง 1.94% และขับถ่ายมูลออกมาน้อยที่สุดแค่ 0.51% ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง C-input และ C-emission ตัวสัตว์โดยสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

ในตารางที่ 4.11 จะแสดงถึงค่าร้อยละของความชื้น ของแข็งระเหย ขี้เถ้า และ ปริมาณคาร์บอนในอาหารสัตว์ชนิดต่าง เนื้อสัตว์ เครื่องในต่าง ๆ และ มูลของสัตว์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษา รวมทั้งยังแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของของแข็งระเหย (%TVS) กับร้อยละของปริมาณคาร์บอน (%C) อีกด้วย ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์หาค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนของสารต่าง ๆ ดังกล่าวจากห้องปฏิบัติการได้ง่าย และ สะดวกมากขึ้น เมื่อทราบค่าร้อยละของของแข็งระเหย เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีการวิเคราะห์หาค่าร้อยละของคาร์บอน (%C) ยังคงต้องใช้เครื่องมือเฉพาะ และมีราคาค่อนข้างสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยและความสัมพันธ์ของคาร์บอน น้ำหนักแห้ง (นน.) ของอาหารที่สัตว์กินและมูลสัตว์ที่ขับถ่ายออกมาต่อตัวต่อวันและระยะเวลาการเลี้ยงเฉลี่ยของสัตว์แต่ละชนิด (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดสัตว์	ระยะเวลาการเลี้ยงเฉลี่ยจากฟาร์มที่ทำการศึกษา (วัน)	นน. มูลสัตว์แห้งที่ขับถ่าย (กก./ตัว/วัน)	นน. แห้งพืชอาหารที่สัตว์กิน (กก./ตัว/วัน)	นน. CH_4จากสัตว์ต่อ นน.พืชอาหารแห้ง	นน. แห้งของอาหารที่กินต่อ นน.สัตว์มีชีวิต	นน. แห้งของมูลต่อ นน.สัตว์มีชีวิต	นน. แห้งของมูลต่อ นน.แห้งของพืชอาหารที่สัตว์กิน	C ในรูปแก๊ส CO_2 + CH_4 ต่อ C พืชอาหาร	C มูลสัตว์ต่อ C พืชอาหาร
สุกร	131.24 ± 22.64	0.513	1.96 ± 0.68	0.36%	1.94%	0.51%	26.17%	8.58%	20.25%
แพะ	152.64 ± 4.68	1.160	0.85 ± 0.02	0.41%	2.42%	3.26%	31.69%	12.28%	24.88%

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของความชื้น ของแข็งระเหย และปริมาณคาร์บอนของอาหารสัตว์ มูลสัตว์ เนื้อสัตว์ และเครื่องในสัตว์

ชนิด	ความชื้น (%)	ของแข็งระเหย (% TVS)	ขี้เถ้า (%)	ปริมาณคาร์บอน (% $C_{คาร์บอน}$)	ความสัมพันธ์ %TVS และ%$_{คาร์บอน}$	R^2
อาหารผสมสุกร	10.48 ± 2.22	70.28 ± 2.42	29.72 ± 2.42	45.02 ±2.05	%TVS= 0.93(%คาร์บอน) + 28.43	0.62
เนื้อสุกร	68.74 ± 5.63	82.62 ± 3.67	17.38 ± 3.67	48.00 ±5.09	%TVS= 0.70(%คาร์บอน) + 48.97	0.94
หัวใจสุกร	75.45 ± 2.40	82.15 ± 0.22	17.85 ± 0.22	49.94 ±0.71	%TVS= 0.30(%คาร์บอน) + 67.00	0.97
ตับสุกร	72.08 ± 1.72	82.40 ± 1.35	17.60 ± 1.35	50.77 ±7.21	%TVS= 0.15(%คาร์บอน) + 74.84	0.64

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของความชื้น ของแข็งระเหย และปริมาณคาร์บอนของอาหารสัตว์ มูลสัตว์ เนื้อสัตว์ เครื่องในสัตว์และไข่ไก่ (ต่อ)

ชนิด	ความชื้น (%)	ของแข็งระเหย (% TVS)	ขี้เถ้า (%)	ปริมาณคาร์บอน (% $_{\text{คาร์บอน}}$)	ความสัมพันธ์ %TVS และ% $_{\text{คาร์บอน}}$	R^2
เชี่ยงจี่สุกร	80.49 ± 1.60	81.11 ± 0.90	18.89 ± 0.90	48.23 ±3.84	%TVS= 0.17(%คาร์บอน) + 73.07	0.51
ม้ามสุกร	77.98 ± 3.36	79.05 ± 0.07	20.95 ± 0.07	46.91 ±2.45	%TVS= 0.03(%คาร์บอน) + 77.65	0.91
กระเพาะสุกร	75.09 ± 1.70	83.18 ± 0.25	16.82 ± 0.25	47.31 ±4.73	%TVS= 0.05(%คาร์บอน) + 80.72	0.94
ไส้อ่อนสุกร	79.46 ± 1.70	78.31 ± 0.29	21.69 ± 0.29	42.42 ±4.09	%TVS= 0.07(%คาร์บอน) + 75.32	0.98
ไส้ตันสุกร	82.04 ± 1.70	79.46 ± 1.20	20.54 ± 1.20	46.06 ±5.85	%TVS= 0.20(%คาร์บอน) + 70.44	0.91
มูลสุกร	67.71 ± 5.54	61.30 ± 3.40	38.7 ± 3.4	35.98 ±1.83	%TVS= 1.78(%คาร์บอน) - 2.78	0.92
*เครื่องในรวม สุกร	77.51 ± 3.49	80.86 ± 1.83	19.14 ± 1.83	47.67 ±4.95	%TVS= 0.25(%คาร์บอน) + 69.00	0.45
หญ้า	11.12 ± 1.01	60.67 ± 5.45	39.33 ± 5.45	41.38 ±0.53	%TVS= 1.64(%คาร์บอน) + 2.99	0.95
อาหารแพะ	10.45 ± 1.25	72.82 ± 2.07	27.18 ± 2.07	42.85 ±0.35	%TVS= 0.40(%คาร์บอน) + 55.01	0.78
เนื้อแพะ	65.71 ± 6.57	84.37 ± 4.01	15.63 ± 4.01	58.42 ±0.89	%TVS = 0.59(%คาร์บอน) + 55.97	0.83
ตับแพะ	51.08 ± 8.22	90.97 ± 1.26	9.03 ± 1.26	32.79 ±0.11	%TVS= 1.56(%คาร์บอน) + 20.87	0.97
หัวใจแพะ	71.92 ± 0.86	85.63 ± 1.31	14.37 ± 1.31	57.78 ±0.36	%TVS=1.05(%คาร์บอน) + 36.61	0.90
ปอดแพะ	72.66 ± 0.36	85.73 ± 0.96	14.27 ± 0.96	51.78 ±0.18	%TVS= 3.38(%คาร์บอน) - 82.67	0.99
มูลแพะ	80.94 ± 0.28	80.04 ± 1.09	19.96 ± 1.09	40.10 ±0.86	%TVS= 1.16(%คาร์บอน) + 27.72	0.70

หมายเหตุ : *คิดจากการรวมค่าเฉลี่ยของเครื่องในแต่ละอย่าง

ผลของการศึกษานี้ยังสามารถใช้วิเคราะห์เพื่อตัดสินใจบ่งชี้ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมจากชนิดของการเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาซึ่งจะอาศัยการจัดผลลัพธ์ในรูปของแมทริกซ์ (payoff matrix) โดยการนำเอาทางเลือกต่าง ๆ ได้แก่การทำปศุสัตว์ชนิดต่าง ๆ และสถานการณ์ของการปลดปล่อยคาร์บอนมาเรียงกันดังตารางที่ 4.12 แล้วทำการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจโดยอาศัยทฤษฎีหรือกฎต่าง ๆ (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2542 และ Sullivan et al., 2003) ดังนี้

ตารางที่ 4.12 ผลการปลดปล่อยคาร์บอนในสถานการณ์ต่าง ๆ จากการทำปศุสัตว์ในรูปแมทริกซ์

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	**สถานการณ์การปลดปล่อยคาร์บอน (กก.$_{\text{คาร์บอน}}$/นน.สัตว์/วัน)**	
	C-emitted จากตัวสัตว์	**C-emission จากการใช้พลังงาน**
สุกร	2.78×10^{-3}	31.41×10^{-3}
แพะ	9.63×10^{-3}	25.39×10^{-3}

การวิเคราะห์โดยประยุกต์กฎของลาปลาส (Laplace rule) มาใช้เพื่อบ่งชี้ชนิดของปศุสัตว์ที่สร้างปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด สามารถทำได้โดยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของแต่ละสถานการณ์ให้เท่า ๆ กัน ซึ่งหมายความว่า ให้ความสำคัญของสถานการณ์ต่าง ๆ เท่ากันหมด (ในที่นี้ n = 2) ดังผลลัพธ์ในตารางที่ 4.12 (ก) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเลี้ยง และผลิตเนื้อสุกรจะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า ส่วนทางเลือกในการเลี้ยง และผลิตเนื้อแพะก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมมากกว่าสุกรเมื่อประยุกต์ใช้กฎของลาปลาสในการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.12 (ก) ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้กฎของลาปลาส

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	**(C-emitted + C-emission)/n**
สุกร	$(2.78+31.41)/2 \times 10^{-3}$
แพะ*	$(9.63+25.39)/2 \times 10^{-3}$

<u>หมายเหตุ</u> : *ปศุสัตว์ที่ถูกเลือกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด

ในขณะเดียวกันเมื่อนำกฎสูงสุดจากสูงสุด (maximax rules) มาประยุกต์ใช้เพื่อบ่งชี้ปัญหาจากการทำปศุสัตว์ชนิดต่าง ๆ ด้วยการเลือกสถานการณ์จากที่แสดงอยู่ในตารางที่ 4.12 ที่ได้ผลลัพธ์สูงสุด จากนั้นจะนำมาเลือกทางเลือกที่ให้ผลลัพธ์สูงสุดของทุกทางเลือกอีกครั้งหนึ่ง โดยสามารถแสดงด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\frac{\max}{i}\left[\frac{\max Pij}{j}\right]$$

ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังในตารางที่ 4.12 (ข) โดยจะเห็นได้ว่าการเลี้ยงและผลิตเนื้อสุกรจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกในการเลี้ยงและผลิตเนื้อแพะจะก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมมากกว่าสุกร

ตารางที่ 4.12 (ข) ผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้กฎสูงสุดจากสูงสุด

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	$\frac{\max Pij}{i(x)}$
สุกร	34.19×10^{-3}
แพะ*	35.02×10^{-3}

หมายเหตุ : *ปศุสัตว์ที่ถูกเลือกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด

และเมื่อนำกฎต่ำสุดจากค่าสูงสุดของความเสียใจ (minimax regret rule) มาประยุกต์ใช้เพื่อหลีกเลี่ยงจากความเสียใจที่ตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ด้อยกว่า ด้วยการเลือกผลลัพธ์สูงสุดในแต่ละสถานการณ์แล้วนำเอาผลลัพธ์ดังกล่าวตั้งลบด้วยค่าผลลัพธ์ทุก ๆ ตัวของแต่ละสถานการณ์และจัดให้อยู่ในรูปแมทริกซ์ดังตารางที่ 4.12 (ค) แล้วเลือกค่าเสียใจสูงสุดของแต่ละทางเลือกจากนั้นนำมาเลือกหาค่าต่ำสุดของแต่ละทางเลือกอีกครั้งหนึ่งโดยสามารถแสดงด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ $\frac{\min}{i}\left[\frac{\max Rij}{j}\right]$

ซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ดังในตารางที่ 4.12 (ง) โดยจะเห็นได้ว่าการผลิตเนื้อจากการเลี้ยงสุกร เป็นทางเลือกที่ควรสนใจเลือกทำ ส่วนทางเลือกในการเลี้ยงและผลิตเนื้อแพะจะก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงจากการประยุกต์ใช้วิธีกฎต่ำสุดจากค่าสูงสุดของความเสียใจนี้เช่นกัน

ตารางที่ 4.12 (ค) ค่าความเสียใจของแต่ละทางเลือกในการทำปศุสัตว์

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	สถานการณ์การปลดปล่อยคาร์บอน (กก.$_{คาร์บอน}$/นน.สัตว์/วัน)	
	C-emitted จากตัวสัตว์	C-emission จากการใช้พลังงาน
สุกร	5.9×10^{-3}	46.45×10^{-3}
แพะ	16.8×10^{-3}	36.10×10^{-3}

ตารางที่ 4.12 (ง) ค่าสูงสุดของความเสียใจในแต่ละทางเลือกทำปศุสัตว์

ทางเลือกของการทำปศุสัตว์	$\frac{\max Rij}{j}$
สุกร	52.35×10^{-3}
แพะ*	52.9×10^{-3}

หมายเหตุ : *ปศุสัตว์ที่ถูกเลือกบ่งชี้ว่าก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมสูงสุด

ดังนั้นจากผลของการวิเคราะห์โดยอาศัยทฤษฎีและกฎต่าง ๆ อันได้แก่ การจัดผลลัพธ์ในรูปของเมทริกซ์ การประยุกต์กฎของลาปลาส กฎสูงสุดจากสูงสุด และกฎต่ำสุดจากค่าสูงสุดของความเสียใจ เพื่อตัดสินใจบ่งชี้ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมจากชนิดของการเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาพบว่า การเลี้ยงและผลิตเนื้อสุกร จะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า ส่วนทางเลือกในการเลี้ยงและผลิตเนื้อแพะ จะก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมมากกว่า

4.5 แนวทางการวิเคราะห์ เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากการผลิต เนื้อสุกร เนื้อแพะ รวมทั้งแนวโน้มจากการทำปศุสัตว์ทั้ง 2 ชนิดในประเทศไทย

จากผลรวมค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากตัวสัตว์แต่ละชนิดในรูปของมูลสัตว์ แก๊ส CO_2 CH_4 จากการหายใจและการย่อยอาหารของสัตว์แต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 4.7 รวมทั้งจากการใช้พลังงานของฟาร์มเลี้ยงสัตว์และโรงฆ่าสัตว์ในประเทศไทย ดังตารางที่ 4.9 พบว่า ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนรวมต่อตัวต่อปีของการผลิต เนื้อสุกร และเนื้อแพะ เท่ากับ 1.249 และ 0.973 ตันคาร์บอน./ตัว/ปี ตามลำดับ ซึ่งจากหลักการอนุรักษ์มวล (UNECE

TFEIP, 2004) และผลการศึกษานี้ทำให้สามารถบ่งชี้ถึงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมสำหรับการผลิตเนื้อสัตว์ ดังสมการที่ 4.11

ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมจากการผลิตเนื้อสุกรและเนื้อแพะ

$$C\text{-}emission_{(ตัวสัตว์+พลังงานที่ใช้)} = (1.25)Swine + (0.97)Goats \quad (4.11)$$

โดยที่ $C\text{-}emissi0n_{(ตัวสัตว์+พลังงานที่ใช้)}$ = ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนรวมทั้งหมดจากตัวสัตว์แต่ละชนิดและจากการใช้พลังงานสำหรับการผลิตเนื้อสัตว์ (ตันคาร์บอนต่อปี)

Swine = จำนวนสุกร (ตัว)

Goats = จำนวนแพะ (ตัว)

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบสัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนระหว่างจากตัวสัตว์กับจากการใช้พลังงานของฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์ ใช้ในการผลิตเนื้อสุกร เนื้อแพะ

สัดส่วนคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยออกจาก	**สุกร**	**แพะ**
ตัวสัตว์ (%)	7.40	12.46
การใช้พลังงาน (%)	92.60	87.54

ดังนั้นการพิจารณาเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอน ควรสนใจที่ประเด็นของการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหรือเปลี่ยนแนวทางในการใช้เชื้อเพลิง ก็จะสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนสำหรับการผลิตเนื้อสุกรและเนื้อแพะลงได้ เช่นการใช้แก๊สหุงต้มหรือแก๊สปิโตรเลียมเหลวในการต้มน้ำร้อนแทนการใช้ฟืนหรือแกลบ เนื่องจากแก๊สหุงต้มมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงเกิดเขม่าน้อย ไม่มีขี้เถ้าเกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ซึ่งเชื้อเพลิงแก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศน้อยที่สุด โดยคุณสมบัติของแก๊สปิโตรเลียมเหลวจะให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง 11,832 - 12,034 Kcal/kg หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 13.70 kWh/kg ในขณะ

ที่แกลบ1 กิโลกรัมเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 0.49 kWh ส่วนเศษไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อปานกลางมีความหนาแน่น 748.23 $\pm$ 116.42 kg/m^3 ประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตรเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 0.21 kWh/kg (นพภาพร พานิช และคณะ, 2547) และกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (1999) กล่าวไว้ว่าแกลบ 1 kg เทียบเท่าพลังงาน 14.27 MJ/kg (3,410.611 Kcal/kg) หรือจากพื้นฐานการคำนวณการเผาไหม้ ซึ่งการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถนำเอาหลักการ และกฎการทำปฏิกิริยาเคมีทั่วไปมาใช้ได้ ซึ่งจะได้ว่าการเผาไหม้โพรเพน (มีสัดส่วน 70% ของการผลิตแก๊สหุงต้ม) จะเกิดพลังงาน 499,000 Kcal/Kmol ดังสมการที่ 4.12 แสดงสมการปฏิกิริยาการเผาไหม้โพรเพน

$$C_3H_8+5O_2 \rightarrow 3CO_2+4H_2O+2086\ MJ/Kmol \qquad (4.12)$$

ในขณะที่การเผาไหม้ของคาร์บอนซึ่งอยู่ในรูปของฟืนหรือแกลบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงจะเกิดพลังงาน 97,000 Kcal/Kmol ดังสมการที่ 4.13 แสดงสมการปฏิกิริยาการเผาไหม้คาร์บอน

$$C+O_2 \rightarrow CO_2+406\ MJ/Kmol \qquad (4.13)$$

ดังนั้นการใช้แก๊ส LPG ในการต้มน้ำร้อนจะให้พลังงานความร้อนสูงกว่าและมีมลพิษทางอากาศต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นฟืนหรือแกลบจึงสามารถใช้แก๊ส LPG แทนการใช้ฟืนหรือแกลบในการต้มน้ำร้อนของโรงฆ่าสุกร เพื่อลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานลงได้

4.6 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทและการปลดปล่อยมวลคาร์บอนเชิงเวลาและเชิงพื้นที่

4.6.1 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทและการปลดปล่อยมวลคาร์บอนระหว่างช่วงอายุต่างๆ ของสุกร

ค่า C_{input}, $C_{fixation}$ ของทั้งสามจังหวัดมีค่าใกล้เคียงกันและมีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ย C_{input} ของสุกรที่ช่วงอายุต่างๆเรียงลำดับจากค่าน้อยไปมากในหน่วยกิโลกรัม/ตัว/วันคือ สุกรอนุบาล < สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรขุนใหญ่ คือ 0.31, 0.52, 0.82, 1.00 กิโลกรัม/ตัว/วันตามลำดับ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.9 โดยคำจำกัดความของสุกรที่ช่วงอายุต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

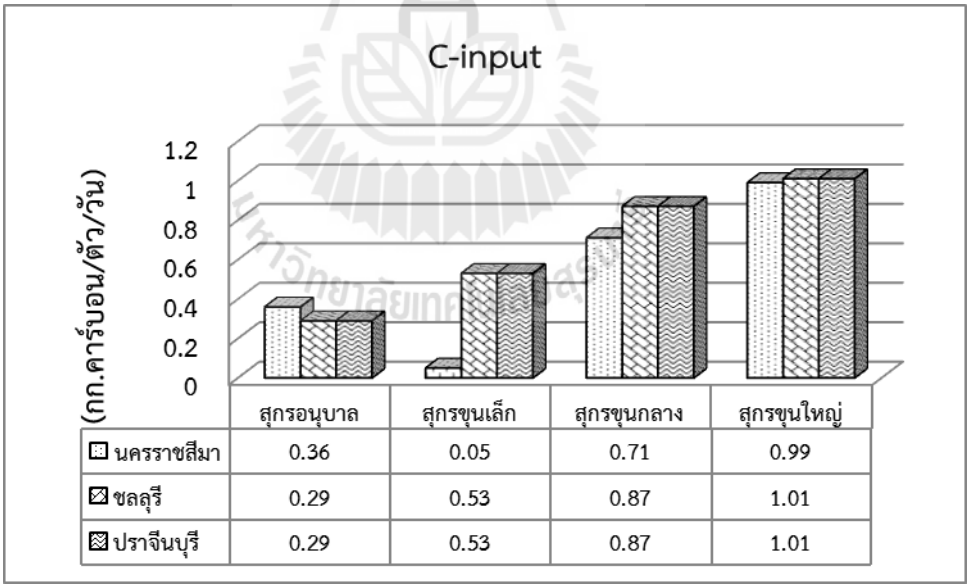
1. สุกรอนุบาลคือลูกสุกรที่มีอายุระหว่าง 1 เดือนถึง 2 เดือนครึ่งหรือลูกสุกรที่มีน้ำหนักระหว่าง 6.5 กิโลกรัมถึง 25 กิโลกรัม

2. สุกรขุนเล็กคือลูกสุกรที่มีอายุระหว่าง 2 เดือนครึ่งถึง 4 เดือนหรือลูกสุกรที่มีน้ำหนักระหว่าง 25 กิโลกรัมถึง 50 กิโลกรัม

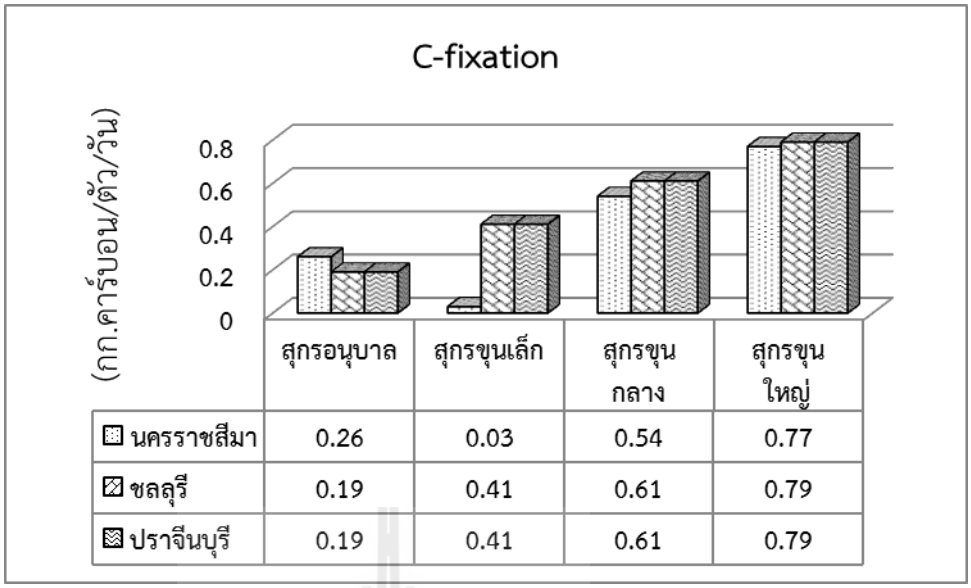
3. สุกรขุนกลางคือลูกสุกรที่มีอายุระหว่าง 4 เดือนถึง 5 เดือนหรือลูกสุกรที่มีน้ำหนักระหว่าง 50 กิโลกรัมถึง 80 กิโลกรัม

4. สุกรขุนใหญ่คือลูกสุกรที่มีอายุระหว่าง 5 เดือนถึง 6 เดือนหรือลูกสุกรที่มีน้ำหนักระหว่าง 80 กิโลกรัมถึง 100 กิโลกรัมหรือถึงขาย

ในขณะที่ค่าเฉลี่ย $C_{fixation}$ ของสุกรที่ช่วงอายุต่างๆเรียงลำดับจากค่าน้อยไปมากในหน่วยกิโลกรัม/ตัว/วัน คือ สุกรอนุบาล < สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรขุนใหญ่ คือ 0.21, 0.38, 0.59, 0.78 กิโลกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.10 เนื่องจากสุกรอนุบาลมีอายุและน้ำหนักน้อยทำให้ปริมาณการใช้อาหารในช่วงนี้น้อย เมื่อสุกรมีอายุและน้ำหนักมากขึ้นความต้องการอาหารจะมากขึ้นตามลำดับ

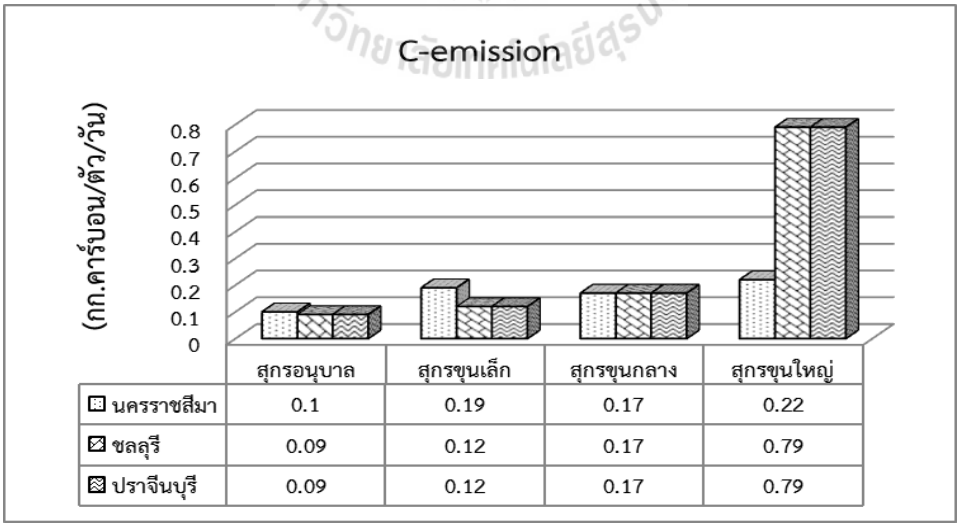


รูปที่ 4.9 แสดงค่า C-input ของสุกรทั้งสี่ช่วงอายุสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี



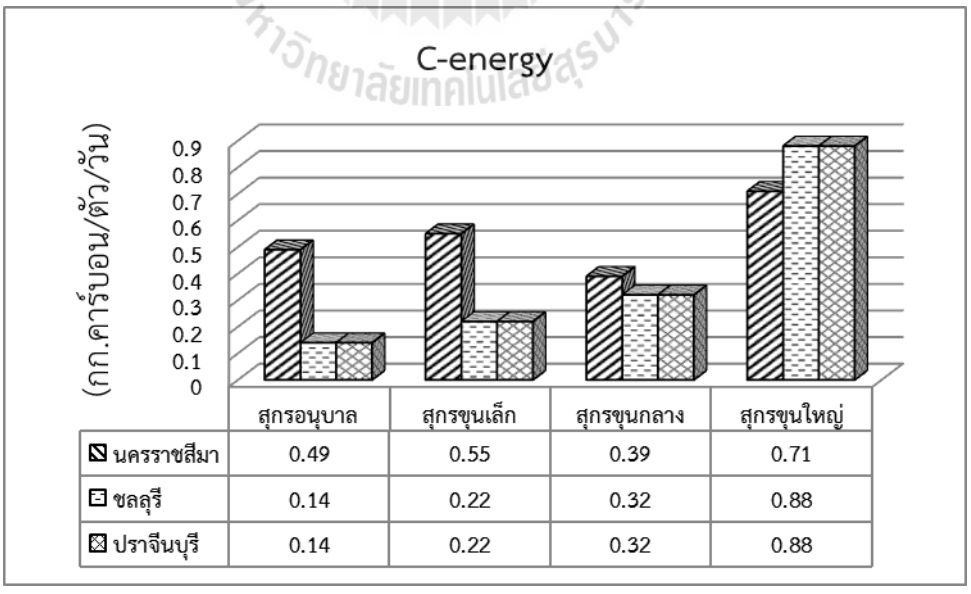
รูปที่ 4.10 แสดงค่า C-fixation ของสุกรทั้งสี่ช่วงอายุสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี

ส่วนค่าเฉลี่ย C-emission ของสุกรที่ช่วงอายุต่างๆคือ สุกรอนุบาล < สุกรขุนเล็ก < สุกรขุน < สุกรขุนใหญ่ คือ 0.09, 0.14, 0.17, 0.6 กิโลกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.11 เนื่องจากสุกรมีอายุและน้ำหนักน้อย ความต้องการอาหาร การขับถ่ายและกิจกรรมในกระบวนการต่างๆของร่ายกายจึงน้อยด้วยแต่เมื่อสุกรมีอายุและน้ำหนักมากขึ้น ความต้องการอาหาร การขับถ่ายมูลและกระบวนการต่างๆของร่างกายจะเพิ่มขึ้นด้วย



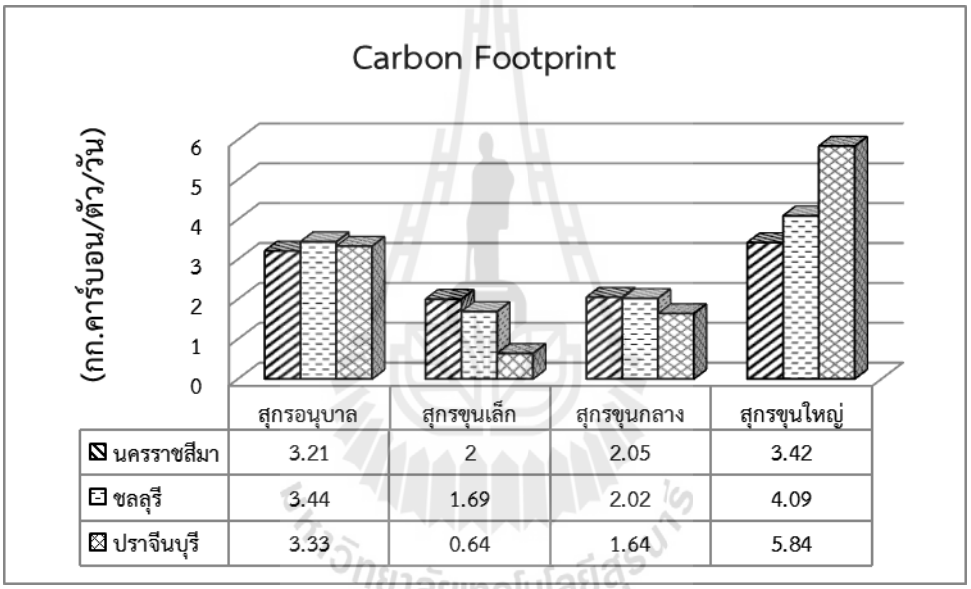
รูปที่ 4.11 แสดงค่า C-emission ของสุกรทั้งสี่ช่วงอายุสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี

ค่าคาร์บอน ที่ปลดปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานมีความแตกต่างกันเพราะแต่ละจังหวัดมีรูปแบบและกระบวนการการจัดการในระบบฟาร์มปศุสัตว์ที่แตกต่างกัน อีกประการที่สำคัญคือระยะทางในการขนส่งสัตว์ชนิดต่างๆ อาหารสัตว์ รวมถึงระยะทางในการขนส่งตัวสัตว์ไปสู่โรงฆ่าสัตว์, ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์จากสัตว์ไปสู่ตลาดด้วย จังหวัดชลบุรีและจังหวัดปราจีนบุรีมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานใกล้เคียงกันคือ สุกรอนุบาล < สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรขุนคือ 0.14, 0.22, 0.32, 0.88 กิโลกรัม/ตัว/วันตามลำดับ ในขณะที่จังหวัดนครราชสีมาจะมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานมากกว่าจังหวัดชลบุรีและจังหวัดปราจีนบุรีเนื่องจากจังหวัดนครราชสีมานั้นเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่กว้างและมีระบบการเลี้ยงสุกรเป็นแบบแบ่งสถานที่ประกอบการ แยกเป็นหน่วยงานเช่น สถานที่ประกอบการผลิตลูกสุกรอยู่พื้นที่หนึ่ง หลังจากนั้นจึงส่งลูกสุกรไปเลี้ยงขุนที่สถานประกอบการอีกพื้นที่หนึ่ง จึงทำให้มีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานสูงกว่าจังหวัดชลบุรีและจังหวัดปราจีนบุรีซึ่งค่าเฉลี่ยของการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานตามช่วงอายุของสุกรของจังหวัดนครราชสีมาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก คือ สุกรขุนกลาง < สุกรอนุบาล < สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนใหญ่ คือ 0.39, 0.49, 0.55, 0.71 กิโลกรัม/ตัว/วันตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 จากการศึกษานี้จะสังเกตเห็นว่าจังหวัดชลบุรีและจังหวัดปราจีนบุรีมีค่าคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานใกล้เคียงกันเพราะแหล่งวัตถุดิบและอาหารมาจากแหล่งเดียวกันหรือพื้นที่ใกล้เคียงหรือเดิมมีการประกอบการปศุสัตว์อยู่ในจังหวัดชลบุรี และได้มีการขยายกิจการออกไปยังจังหวัดปราจีนบุรี



รูปที่ 4.12 แสดงค่า C-energy ของสุกรทั้งสี่ช่วงอายุสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี

ค่า Carbon Footprint ของจังหวัดนครปฐม จังหวัดราชบุรีและจังหวัดนครราชสีมาเรียงลำดับจากน้อยไปมาก โดยเริ่มจากจังหวัดนครปฐมเป็นดังนี้ สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรอนุบาล < สุกรขุนใหญ่ คือ 1.69, 2.02, 3.44, 4.09 ตามลำดับ จังหวัดราชบุรีเป็นดังนี้ สุกรขุนเล็ก < สุกรอนุบาล < สุกรขุนกลาง < สุกรขุนใหญ่ คือ 0.64, 1.33, 1.64, 5.84 ตามลำดับ ส่วนในจังหวัดนครราชสีมาเป็นดังนี้ สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรอนุบาล < สุกรขุนใหญ่ คือ 2.00, 2.05, 3.12, 3.42 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 สาเหตุที่ทำให้ค่า Carbon Footprint ต่างกัน ขึ้นอยู่กับการใช้พลังงานในการขนส่งสุกร อาหารสัตว์และรูปแบบของการจัดการฟาร์มปศุสัตว์ทั้งนี้รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ด้วย เช่นช่วงที่ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงนานมักจะพบว่ามีค่า Carbon Footprint สูง

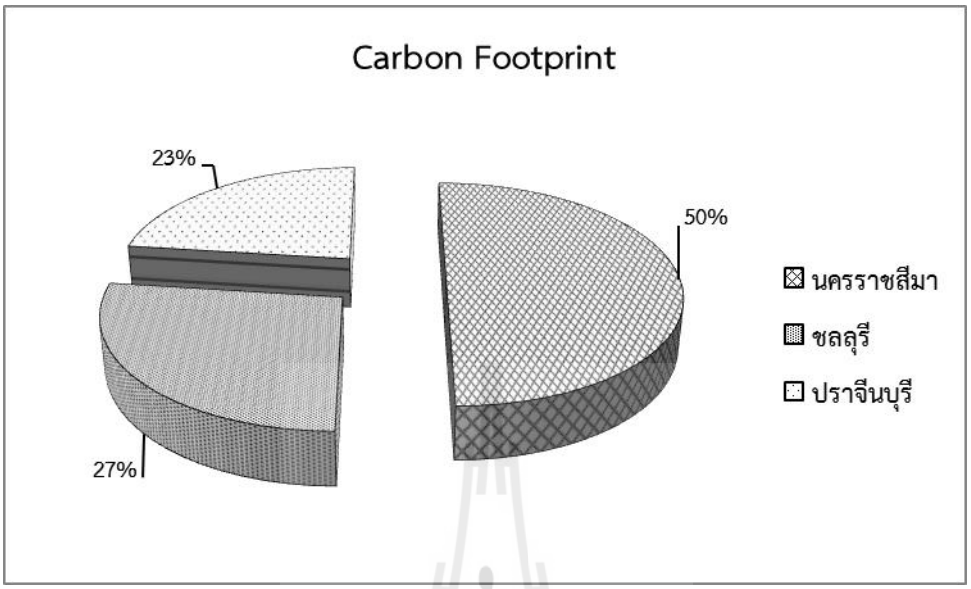


	สุกรอนุบาล	สุกรขุนเล็ก	สุกรขุนกลาง	สุกรขุนใหญ่
นครราชสีมา	3.21	2	2.05	3.42
ชลบุรี	3.44	1.69	2.02	4.09
ปราจีนบุรี	3.33	0.64	1.64	5.84

รูปที่ 4.13 แสดงค่า Carbon Footprint ของสุกรทั้งสี่ช่วงอายุสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี

เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามจังหวัดพบว่า ค่า Carbon Footprint ของจังหวัดนครราชสีมามีค่าสูงเพราะการขนส่งจะมีการขนย้ายสุกรขุนมารวมกันไว้ที่ส่วนขายก่อนที่จะมีการขนส่งสู่โรงฆ่าสัตว์ ซึ่งจังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดใหญ่มีพื้นที่มากประกอบกับมีการขนส่งข้ามพื้นที่ทำให้มีการใช้พลังงานในการขนส่งมาก ส่งผลให้ค่า Carbon Footprint มากตามไปด้วย ส่วนในจังหวัดนครปฐมและราชบุรีส่วนมากขนส่งสุกรสู่โรงฆ่าสัตว์ในเขต

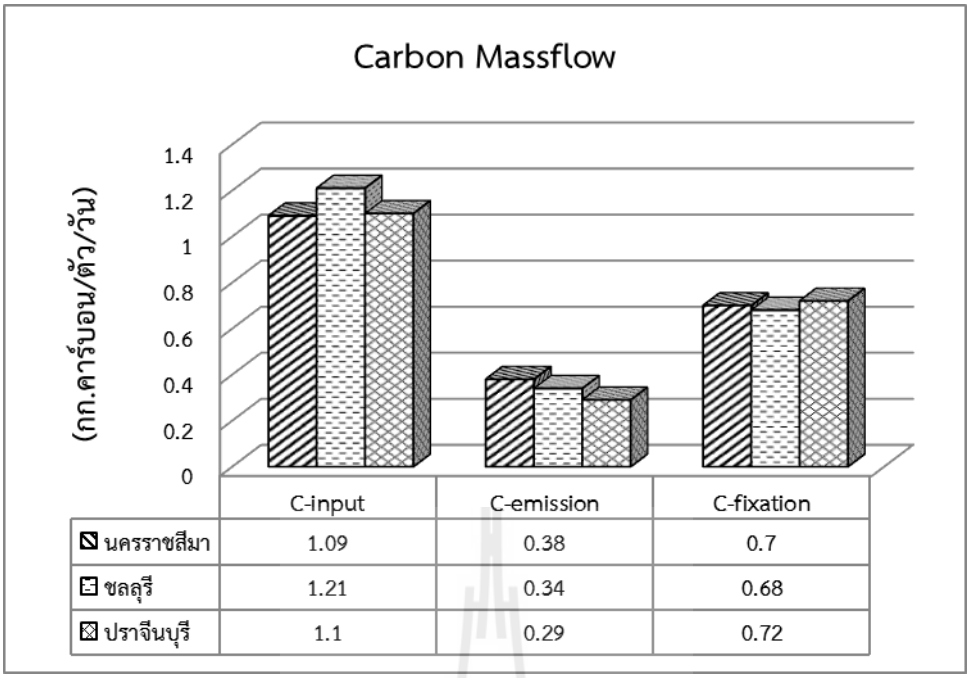
กรุงเทพและปริมณฑลซึ่งมีระยะทางน้อยกว่าส่งผลให้ ค่า Carbon Footprint ของจังหวัดนครปฐมและราชบุรีมีค่าน้อยกว่าของจังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.14 แสดงค่า Carbon Footprint ของสุกรในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี
จังหวัดปราจีนบุรี

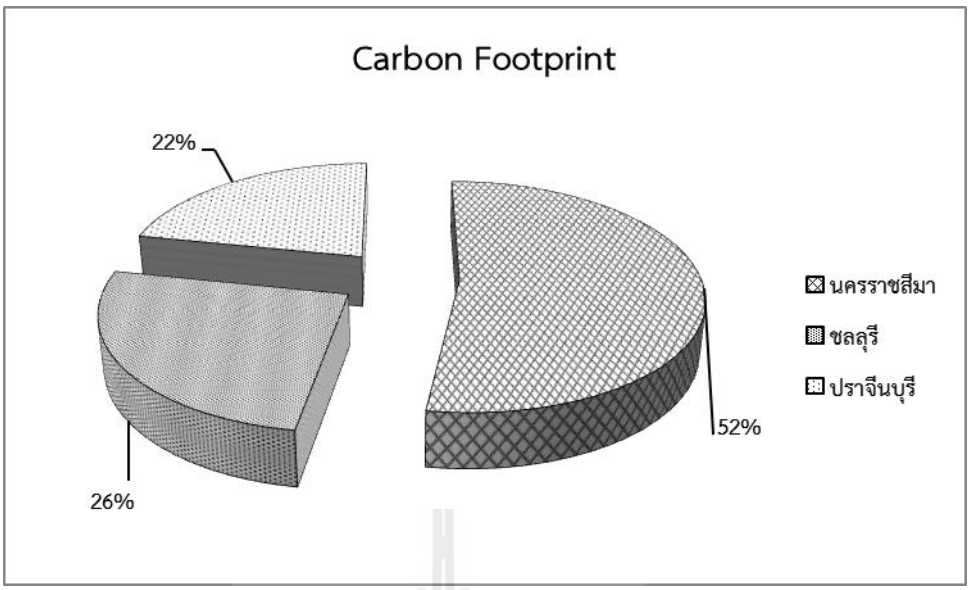
4.6.2 ผลการวิเคราะห์การถ่ายเทและการปลดปล่อยมวลคาร์บอนของแพะ

ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนจากพืชอาหารที่ถ่ายเทสู่แพะโดยการกินซึ่งจะถูกตรึงอยู่ในส่วนต่างๆ ของตัวสัตว์และถูกปลดปล่อยออกจากตัวแพะในรูปของมูล และแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากการย่อยอาหารและการหายใจต่อตัวต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า ค่า C-input ของจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดปราจีนบุรีและจังหวัดชลบุรี คือ 1.09, 1.1, 1.21 (กิโลกรัม/ตัว/วัน) ตามลำดับ ค่า C-emission ของจังหวัดปราจีนบุรี จังหวัดชลบุรี และจังหวัดนครราชสีมา คือ .029, 0.34, 0.38 (กิโลกรัม/ตัว/วัน) ตามลำดับ ค่า C-fixation ของจังหวัดจังหวัดชลบุรี นครราชสีมา และจังหวัดปราจีนบุรี คือ 0.68, 0.70, 0.72 (กิโลกรัม/ตัว/วัน) ตามลำดับ ทั้งสามจังหวัดมีค่าใกล้เคียงกันเพราะการจัดการฟาร์มปศุสัตว์คล้ายกัน นิยมใช้พืชอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในท้องถิ่น ทั้งการบริโภคเนื้อแพะยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายในประเทศไทย นิยมบริโภคในกลุ่มประชากรมุสลิมและมักใช้แพะในการประกอบพิธีทางศาสนามากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.15 แสดงค่า Carbon Massflow ของแพะในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี

เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามจังหวัดพบว่า ค่า Carbon Footprint ของจังหวัดนครราชสีมามีค่าสูงเพราะการขนส่งจะมีการขนย้ายแพะมีชีวิตเข้าไปรวมที่จังหวัดนครราชสีมาหลังจากนั้นจะส่งต่อไปยังสามจังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งจังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดใหญ่มีพื้นที่มากประกอบกับมีการขนส่งข้ามพื้นที่ทำให้มีการใช้พลังงานในการขนส่งมาก ส่งผลให้ค่า Carbon Footprint มากตามไปด้วย ส่วนในจังหวัดชลบุรีและจังหวัดปราจีนบุรีส่วนมากขนส่งแพะซึ่งมีระยะทางน้อยกว่าส่งผลให้ ค่า Carbon Footprint ของจังหวัดชลบุรีและปราจีนบุรีมีค่าน้อยกว่าของจังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.16 แสดงค่า Carbon Footprint ของแพะในจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชลบุรี จังหวัดปราจีนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาเปรียบเทียบค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันจากสัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวโดยเทียบจากน้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนต่อกิโลกรัมน้ำหนักสัตว์ต่อวัน (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) พบว่าแพะมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนต่อวันสูงกว่าสุกรเท่ากับ 4.02×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) และ 2.78×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) ตามลำดับ ค่า C-input ที่น้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันแพะมีค่ามากกว่าคือ 31.73×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) และ 9.53×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) ค่า C-emission ที่น้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันแพะมีค่ามากกว่าคือ 9.63×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) และ 2.78×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) ค่า C-fixation ที่น้ำหนักสัตว์ที่เท่ากันแพะมีค่ามากกว่าคือ 19.57×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) และ 6.48×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) การปลดปล่อยคาร์บอนส่วนใหญ่จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปแบบของการใช้พลังงาน ซึ่งส่วนของการใช้พลังงานสุกรมีการปลดปล่อยคาร์บอนมากกว่าแพะเพราะทางด้านการจัดการฟาร์มแพะมีความจำเป็นเรื่องการใช้ไฟฟ้าเพื่อปรับอุณหภูมิของโรงเรือนให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสุกร การปั๊มน้ำเพื่อทำความสะอาดโรงเรือนและเก็บไว้ให้สุกรบริโภคน้อยกว่าฟาร์มสุกร ส่วนการปลอดปล่อย คาร์บอนในรูปของน้ำมันเชื้อเพลิงขนส่งอาหารฟาร์มแพะมีค่าการปลดปล่อยมากกว่าเพราะแพะเป็นสัตว์ที่ต้องการพืชอาหารที่สดและใหม่จึ่งมีการตัดหญ้าและกระถินสดเป็นอาหารให้แพะทุกวัน ซึ่งค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากพลังงานภายในฟาร์มและโรงฆ่าสัตว์คือ ภายในฟาร์มแพะมีค่ามากกว่าฟาร์มสุกรคือ 9.29×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) และ 8.25×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) ตามลำดับ ภายในโรงฆ่าสัตว์สุกรมีค่ามากกว่าโรงฆ่าแพะคือ 30.41×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) และ 24.29×10^{-3} (กก.$_{คาร์บอน}$/กก.$_{นน.สัตว์}$/วัน) ตามลำดับ

ส่วนการศึกษาอัตราการถ่ายเทมวลคาร์บอนทั้งหมดจากอาหารไปสู่สัตว์ชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวด้วยการกินแล้วมาสะสมเป็นร่างกายและอวัยวะต่าง ๆ ตลอดจนสิ่งขับถ่ายของสัตว์ในช่วงระยะเวลาของการเลี้ยง ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการศึกษาประสิทธิภาพการตรึงคาร์บอน (Cinput – Cemission) / Cinput พบว่า สุกรมีประสิทธิภาพการตรึงปริมาณคาร์บอนจากอาหารสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงสุกรมาสะสมไว้ในร่างกายได้มากถึง 70.81% ในขณะที่แพะมีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนจากอาหารสัตว์ต่ำกว่าคือ 69.65% นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบ

ร้อยละของสัดส่วนปริมาณคาร์บอนที่ถูกปลดปล่อยต่อปริมาณคาร์บอนจากอาหารที่ถ่ายเทไปสู่สัตว์แต่ละชนิดที่ทำการศึกษาโดยการกินจะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์บอนในอาหารสัตว์บางส่วนที่เหลือจากการตรึงจะถูกปลดปล่อยออกมาโดยมีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากตัวแพะ เท่ากับ 30.53% และสุกร 29.19% ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าในแต่ละวันสุกร 1 ตัว มีความสามารถในการปลดปล่อยคาร์บอนออกจากร่างกายได้น้อยกว่าแพะเมื่อเทียบจากปริมาณคาร์บอนที่กินเข้าไปเท่ากัน ดังนั้นสุกรจึงมีส่วนทำให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปลดปล่อยคาร์บอนน้อยกว่าแพะ

ค่า C_{input}, $C_{fixation}$ ของทั้งสามจังหวัดมีค่าใกล้เคียงกันและมีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ย C_{input} ของสุกรที่ช่วงอายุต่างๆเรียงลำดับจากค่าน้อยไปมากในหน่วย กิโลกรัม/ตัว/วันคือ สุกรอนุบาล < สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรขุนใหญ่ คือ 0.13, 0.52, 0.82, 1.00 กิโลกรัม/ตัว/วันตามลำดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ย $C_{fixation}$ ของสุกรที่ช่วงอายุต่างๆเรียงลำดับจากค่าน้อยไปมากในหน่วย กิโลกรัม/ตัว/วันคือ สุกร < สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรขุนใหญ่ คือ 0.21, 0.38, 0.59, 0.78 กิโลกรัม/ตัว/วันตามลำดับ เนื่องจากสุกรอนุบาลมีอายุและน้ำหนักน้อยทำให้ปริมาณการใช้อาหารในช่วงนี้น้อย เมื่อสุกรมีอายุและน้ำหนักมากขึ้นความต้องการอาหารจะมากขึ้นตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ย C-emission ของสุกรที่ช่วงอายุต่างๆคือ สุกรอนุบาล < สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรขุนใหญ่ คือ 0.09, 0.14, 0.17 0.6 กิโลกรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ เนื่องจากสุกรมีอายุและน้ำหนักน้อย ความต้องการอาหาร การขับถ่ายและกิจกรรมในกระบวนการต่างๆของร่ายกายจึงน้อยด้วยแต่เมื่อสุกรมีอายุและน้ำหนักมากขึ้น ความต้องการอาหาร การขับถ่ายมูลและกระบวนการต่างๆของร่างกายจะเพิ่มขึ้นด้วย ค่าคาร์บอน ที่ปลดปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานมีความแตกต่างกันเพราะแต่ละจังหวัดมีรูปแบบและกระบวนการการจัดการในระบบฟาร์มปศุสัตว์ที่แตกต่างกัน อีกประการที่สำคัญคือระยะทางในการขนส่งสัตว์ชนิดต่างๆ อาหารสัตว์ รวมถึงระยะทางในการขนส่งตัวสัตว์ไปสู่โรงฆ่าสัตว์ ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์จากสัตว์ไปสู่ตลาดด้วย จังหวัดชลบุรีและจังหวัดปราจีนบุรีมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานใกล้เคียงกันคือ สุกรอนุบาล < สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรขุนคือ 0.14, 0.22, 0.32, 0.88 กิโลกรัม/ตัว/วันตามลำดับ ในขณะที่จังหวัดนครราชสีมาจะมีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานมากกว่าจังหวัดชลบุรีและจังหวัดปราจีนบุรีเนื่องจากจังหวัดนครราชสีมานั้นเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่กว้างและมีระบบการเลี้ยงสุกรเป็นแบบแบ่งสถานที่ประกอบการ แยกเป็นหน่วยงานเช่น สถานที่ประกอบการผลิตลูกสุกรอยู่พื้นที่หนึ่ง หลังจากนั้นจึงส่งลูกสุกรไปเลี้ยงขุนที่สถานประกอบการอีกพื้นที่หนึ่ง จึงทำให้มีค่าการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานสูงกว่า

จังหวัดชลบุรีและจังหวัดปราจีนบุรีซึ่งค่าเฉลี่ยของการปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานตามช่วงอายุของสุกรของจังหวัดนครราชสีมาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก คือ สุกรขุนกลาง < สุกรอนุบาล < สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนใหญ่ คือ 0.39, 0.49, 0.55, 0.71 กิโลกรัม/ตัว/วันตามลำดับ จากการศึกษานี้จะสังเกตเห็นว่าจังหวัดชลบุรีและจังหวัดปราจีนบุรีมีค่าคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานใกล้เคียงกันเพราะ แหล่งวัตถุดิบและอาหารมาจากแหล่งเดียวกันหรือพื้นที่ใกล้เคียงหรือเดิมมีการประกอบการปศุสัตว์อยู่ในจังหวัดชลบุรี และได้มีการขยายกิจการออกไปยังจังหวัดปราจีนบุรี

ค่า Carbon Footprint ของจังหวัดนครปฐม จังหวัดราชบุรีและจังหวัดนครราชสีมาเรียงลำดับจากน้อยไปมาก โดยเริ่มจากจังหวัดนครปฐมเป็นดังนี้ สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรอนุบาล < สุกรขุนใหญ่ คือ 1.69, 2.02, 3.44, 4.09 ตามลำดับ จังหวัดราชบุรีเป็นดังนี้ สุกรขุนเล็ก < สุกรอนุบาล < สุกรขุนกลาง < สุกรขุนใหญ่ คือ 0.64, 1.33, 1.64, 5.84 ตามลำดับ ส่วนในจังหวัดนครราชสีมาเป็นดังนี้ สุกรขุนเล็ก < สุกรขุนกลาง < สุกรอนุบาล < สุกรขุนใหญ่ คือ 2.00, 2.05, 3.12, 3.42 ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้ค่า Carbon Footprint ต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้พลังงานในการขนส่งสุกร อาหารสัตว์และรูปแบบของการจัดการฟาร์มปศุสัตว์ทั้งนี้รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ด้วย เช่นช่วงที่ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงนานมักจะพบว่ามีค่า Carbon Footprint สูง เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามจังหวัดพบว่า ค่า Carbon Footprint ของจังหวัดนครราชสีมามีค่าสูงเพราะการขนส่งจะมีการขนย้ายสุกรขุนมารวมกันไว้ที่ส่วนขายก่อนที่จะมีการขนส่งสู่โรงฆ่าสัตว์ ซึ่งจังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดใหญ่มีพื้นที่มากประกอบกับมีการขนส่งข้ามพื้นที่ทำให้มีการใช้พลังงานในการขนส่งมาก ส่งผลให้ค่า Carbon Footprint มากตามไปด้วย ส่วนในจังหวัดนครปฐมและราชบุรีส่วนมากขนส่งสุกรสู่โรงฆ่าสัตว์ในเขตกรุงเทพ และปริมณฑลซึ่งมีระยะทางน้อยกว่าส่งผลให้ ค่า Carbon Footprint ของจังหวัดนครปฐม และราชบุรีมีค่าน้อยกว่าของจังหวัดนครราชสีมา

ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนจากพืชอาหารที่ถ่ายเทสู่แพะโดยการกินซึ่งจะถูกตรึงอยู่ในส่วนต่างๆ ของตัวสัตว์และถูกปลดปล่อยออกจากตัวแพะในรูปของมูล และแก๊ส CO_2 และ CH_4 จากการย่อยอาหารและการหายใจต่อตัวต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 4.14 พบว่า ค่า C-input ของจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดปราจีนบุรีและจังหวัดชลบุรี คือ 1.09, 1.1, 1.21 (กิโลกรัม/ตัว/วัน) ตามลำดับ ค่า C-emission ของจังหวัดปราจีนบุรี จังหวัดชลบุรี และจังหวัดนครราชสีมา คือ .029, 0.34, 0.38 (กิโลกรัม/ตัว/วัน) ตามลำดับ ค่า C-fixation ของจังหวัดจังหวัดชลบุรี นครราชสีมา และจังหวัดปราจีนบุรี คือ 0.68, 0.70, 0.72 (กิโลกรัม/ตัว/วัน) ตามลำดับ ทั้งสาม

จังหวัดมีค่าใกล้เคียงกันเพราะการจัดการฟาร์มปศุสัตว์คล้ายกัน นิยมใช้พืชอาหารสัตว์ที่มีอยู่ในท้องถิ่น ทั้งการบริโภคเนื้อแพะยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายในประเทศไทย นิยมบริโภคในกลุ่มประชากรมุสลิม และมักใช้แพะในการประกอบพิธีทางศาสนามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามจังหวัดพบว่า ค่า Carbon Footprint ของจังหวัดนครราชสีมามีค่าสูงเพราะการขนส่งจะมีการขนย้ายแพะมีชีวิตเข้าไปรวมที่จังหวัดนครราชสีมาหลังจากนั้นจะส่งต่อไปยังสามจังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งจังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดใหญ่มีพื้นที่มากประกอบกับมีการขนส่งข้ามพื้นที่ทำให้มีการใช้พลังงานในการขนส่งมาก ส่งผลให้ค่า Carbon Footprint มากตามไปด้วย ส่วนในจังหวัดชลบุรีและจังหวัดปราจีนบุรีส่วนมากขนส่งแพะซึ่งมีระยะทางน้อยกว่าส่งผลให้ ค่า Carbon Footprint ของจังหวัดชลบุรีและปราจีนบุรีมีค่าน้อยกว่าของจังหวัดนครราชสีมา

ผลจากการศึกษาคณะวิจัยพบว่าค่าคาร์บอน (Carbon) ที่ปลดปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานมีความแตกต่างกันเพราะแต่ละจังหวัดมีรูปแบบ และกระบวนการการจัดการในระบบฟาร์มสุกรที่แตกต่างกัน อีกประการที่สำคัญ คือระยะทางในการขนส่งสุกร อาหารสุกร รวมถึงระยะทางในการขนส่งสุกรไปสู่โรงฆ่าสุกร ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์จากโรงฆ่าสุกรไปสู่ตลาด ทำให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศมาก แนะนำให้เกษตรกรเปลี่ยนแปลงระบบการจัดการของเสียแบบระบบเปิดมาเป็นระบบปิด เพื่อช่วยลดการปลดปล่อยคาร์บอน และแนะนำให้นำของเสียที่อยู่ในรูปของเหลวดังกล่าวมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ เพื่อให้ได้พลังงานกลับมาใช้ในการหุงต้ม หรือใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ได้พลังงานที่มีประโยชน์กลับมาใช้ใหม่ ส่วนเศษที่เหลือจากการผลิตก๊าซชีวภาพนำกลับมาผลิตปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารแก่ดิน เกษตรกรควรทำมูลสุกรให้แห้งโดยเร็วที่สุดหลังจากนั้นควรเก็บไว้ในโรงเรือนที่มีหลังคามิดชิด และมีอากาศถ่ายเท หลังจากนั้นจำหน่ายเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร ส่วนเกษตรที่ทำฟาร์มแพะนั้น ควรมีการจัดการมูลแพะ และรูปแบบการเลี้ยงการจัดการฟาร์มแพะให้เป็นระบบ อาหารแพะควรมีการตัดพืชอาหารสดให้มีขนาดสั้นลงเพื่อให้การย่อยง่ายและเร็วขึ้น กากอาหารจะถูกขับถ่ายออกมาเป็นมูลเร็วที่สุดเพื่อลดการปลดปล่อย ก๊าซมีเทน (CH_4) ออกสู่บรรยากาศ

ผลประโยชน์ได้รับจากการวิจัย

โครงการวิจัยนี้นอกจากเป็นข้อมูลสำหรับนักวิชาการ และผู้สนใจแล้วยังมีผลให้ นายปาณิสรา วิชัยรัตนตระกูล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก หลักสูตรสาขาวิชาชีววิทยาสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาสาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี ผลงานจากการวิจัยนี้ได้รับการตีพิมพ์ 3 เรื่องคือ

1. Carbon footprint of fattening pig production in Thailand: Case studies in Ratchaburi, Nakhon Pathom and Nakhon Ratchasima provinces. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program. Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.
2. The decision making to reduce carbon emission under uncertainty of herbivore meat production. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**. 8(7): 531-540.
3. Comparison of carbon equivalent emissions under uncertainty of energy using for industries of pig and broiler meat production. **Science Series Data Report**. 5(5): 55-65.

และอยู่ในระหว่างการพิจรณาจากกองบรรณาธิการวารสาร EnvironmentAsia อีก 1 เรื่อง

1. Carbon massflow and greenhouse gases emission from livestock productions in Thailand: case study of Nakhon Ratchasima, Chonburi and Prachinburi provinces.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

กันยา ตันติวิสุทธิกุล. (2551). โคเหนือเขื่อน. **ประชาคมวิจัย** ปีที่ 13. ฉบับที่ 78.

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2542). **Biomass Energy in Asia: A Study on Selected Technologies and Policy Options**. อ้างถึงในนพภาพร พานิช และคณะ. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ (หน้า 3-1 ถึง 3-79) พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2545). **หลักสถิติ**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. (2543). **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่มที่ 4**. มหาวิทยาลัยรังสิต.

นิตยา เลาหะจินดา. (2549). **นิเวศวิทยา: พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นพภาพร พานิช และคณะ. (2547). **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประธาน เกิดกล่ำ. (2549). ความต้องการฝึกอบรมของอาสาพัฒนาปศุสัตว์ประจำหมู่บ้านในจังหวัดน่าน**.** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.dld.go.th/person/information/wor10/192.doc

ปรารถนา ยศสุข. (2551). **การสุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย**. [ออนไลน์]. ได้จาก:http://sas.mjuknow.org/modules/extcal/event.php?event=2

เมธา วรรณพัฒน์. (2533). **โภชนศาสตร์สัตว์เคี้ยงเอื้อง**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ ฟันนี่พับบลิชชิ่ง.

มุกดา สุขสมาน. (2536). **ชีวิตกับสภาพแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศรเทพ ธัมวาสร. (2545). **กลยุทธ์การวิจัยทางสัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์.

ศุวศา กานตวนิชกูร. (2538). **การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สุรินทร์ นิยมางกูร. (2542). **เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: เกษตรศาสตร์

อรรถชัย จินตะเวช. (2547). **การสะสมคาร์บอน**. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. (2531). **นิเวศวิทยา**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช

APHA, AWWA, WEF. (1992). **Standard Methods for the Exmination of Water and Wastewater**. 18th Edition. Wash. D.C., USA: American Public Health Assoc.

Bouwman, A. F. (1998). Nitrogen oxides and tropical agriculture**. Nature**. 392: 866-867

Bunyavejchewin, P., Rompopak, W., Vechabusakorn, O., Khumnerdpetch, W., Pikulthong, P., and Chantalakhana, C. (1985). **Comparative Efficiency of Tapes for Estimation of Weight of Swamp Buffaloes and Cattle. Annual Report 1985**. The National Buffalo Research and Development Center Project. Bangkok, Thailand.

Casey, T. J. (1981). Developments in anaerobic digestion. **Transactions of the Institute of Engineers in Ireland**. 105:25-32.

Canadell, Josep G. and Noble, Ian. (2001). Challenges of a changing Earth. **Trends in Ecology & Evolution**. 16(12): 664-666.

Canadell, Josep G. and Pataki, Diane. (2002). New advances in carbon cycle research. **Trends in Ecology & Evolution**. 17(4): 156-158.

Crill, P. M., Keller, M., Weitz, A., Grauel, B, and Veldkamp, E. (2000). Intensive field measurements of nitrous oxide emissions from a tropical agricultural soil. **Global Biogeochem. Cycles**. 14: 85-95.

Dämmgen, U., and Webb, J. (2006). The development of the EMEP/CORINAIR Guidebook with respect to the emissions of different nitrogen and carbon species from animal production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 112: 241-248.

De Boer, I.J.M. (2003). Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. **Livestock Production Science**. 80: 69-77.

Devore, Jay L. (1995). **Probability and Statistics for Engineering and the Sciences**. 4th edition. USA.: Wadsworth.

Eghball, B., Power, J. F., Gilley, J. E., and Doran, J. W. (1997). Nutrients, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feed lot manure. **Journal of Environmental Quality**. 26: 189-193.

Garton, Bryan L. and Birkenholz, Robert J. (1998). **Global Climate Change and Environmental Stewardship by Ruminant Livestock Producers**. (Environmental Protection Agency Report NO. CX824859-01-0) The United States Environmental Protection Agency in Cooperation with The National Council for Agricultural Education, and The National Future Farmers of America Foundation.

Guérin, H., Richard, D., Lefevre, P., Friot, D., and Mbaye, N. (1989). Prévision de la valeur nutritive des fourrages ingérés sur parcours naturels par les ruminants domestiques sahéliens et soudaniens. In: **XVIth International Grassland Congress. Institut National de la Recherche Agronomique**. pp. 879-880. 4-11 Octobre. France: Nice.

Hartung, J. (1992). Emission and control of gases and odorous substances from animal housing and manure stores. **Ziegler, Biersack and Littmark Hygiene**. 192(5): 389-418.

Hartung, J. and Phillips, V.R. (1994). Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. **Journal of Agricultural Engineering Research**. 57(3): 173-189.

Hirota, M., Tang, Y., Hu, Q., Kato, T., Hirata, S., Mo, W., Cao, G., and Mariko, S. (2005). **The potential importance of grazing to the fluxes of carbon dioxide and methane in an alpine wetland on the Qinghai-Tibetan Plateau**. Atmospheric Environment. 39: 5255-5259.

Hogan, K.B. (1993). **Anthropogenic Methane Emissions in the United States: Estimates for 1990 Report to Congress**. (Environmental Protection Agency Report No. 430-R-93-003). Washington, DC: United States Environmental Protection Agency-Office of Air and Radiation.

Hogberg, M.G., Fales, S.L., Kirschenmann, F.L., Honeyman, M.S., Miranowski, J.A., and Lasley, P. (2005). Interrelationships of animal agriculture, the environment, and rural communities. **Journal of Animal Science**. 83: E13-E17.

Howden, S.M., Mc Keon, G.M., Walker, L., Carter, J.O., Conroy, J.P., Day, K.A., Hall, W.B., Ash, A.J., and Ghannoum, O. (1999). Global change impacts on native pastures in south-east Queensland, Australia. **Environmental Modelling&Software**. 14: 307-316.

Ickowicz, A., Richard, D., and Usengumuremyi, J. (1999). Estimation of organic matter transfers by cattle in a Senegalese village. In: **Proceedings of the VIth International Rangeland Congress**. pp. 500-502. 19-23 July. Australia: Townsville.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (1995). **Climate Change 1995, The Science of Climate Change**. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, U.K.: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (1996). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory**. [On-line]. Available: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jb/public/gl/invs1.htm

(อ้างถึงใน นพภาพร พานิช และคณะ. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ: การจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ (หน้า 8-11). พิมพ์ครั้งที่ 1-2547. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.)

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). **Climate Change 2001, The Scientific Basis**. The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, U.K.: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Izac, A.-M.N., and Swift, M.J. (1994). On agricultural sustainability and its measurement in small-scale farming in sub-Saharan Africa. **Ecological Economics**. 11:105-125.

Johnson, D.E., Ward, G.M., and Bernal, G. (1997). Biotechnology mitigating the environmental effects of dairying: greenhouse gas emissions. In: Welch, R.A.S., Burns, D.J.W., Davis, S.R.,

Popay, A.I., Prosser, C.G. (eds.). **Milk Composition, Production and Biotechnology**. CAB International. Wallingford. UK, 497-511.

Kawashima, T., Terada, F., Shibata, M. (2000). Respiration experimental system. In: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Japan and Department of Livestock Development, Thailand (eds.). **Improvement of cattle production with locally available feed resources in Northeast Thailand**. 1-21.

Keller, M., Veldkamp, E., Weitz, A. M. and Reiners, W. A. (1993). Effect of pasture age on soil trace-gas emissions from a deforested area of Costa Rica. **Nature**. 365: 244-246.

Kirchgessner, M., Windisch, W., and Miller, H.L. (1995). Nutritional factors for the quantification of methane production. In: Engelhardt, W.V., Leonhard-Marek, S., Breves, G., Giesecke, D. (eds.). **Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction**. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart. 333-348.

Krejcie, Robert V. and Morgan, Earyle W. (1970). **Educational and Psychological Measurement.** 608-609.

Manlay, R. J., Kaïré, M., Masse, D., Chotte, J.-L., Ciornei, G., and Floret, C. (2002a). Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna I. The plant component under semi-permanent cultivation. **Agriculture Ecosystems and Environment**. 88(3): 215-232.

Manlay, R. J., Chotte, J.-L., Masse, D., Laurent, J.-Y., and Feller, C. (2002b). Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agro-ecosystems of a West African savanna II. Plant and soil components under continuous cultivation. **Agriculture Ecosystems and Environment**. 88(3): 249-269.

Manlay, Raphaël J., Ickowicz, Alexandre, Masse, Dominique, Floret, Christian, Richard, Didier and Feller, Christian (2004). Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget of a village in

the West African savanna-I. Element pools and structure of a mixed-farming system. **Agricultural Systems**. 79: 55-81.

Manlay, Raphaël J., Ickowicz, Alexandre, Masse, Dominique, Feller, Christian and Richard, Didier (2004). Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna-II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. **Agricultural Systems**. 79: 83-107.

McBean, Edward A. and Rovers, Frank A. (1998). **Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data and Risk Assessment**. New Jersey: Prentice-Hall.

Ministry of Science, Technology and Environment (MoSTE). (2000). **Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Bangkok: MoSTE.

Moe, P.W., and Tyrell, H.F. (1979). **Journal of Dairy Science**. 62: 1583.

National Transportation Statistics. (2000). **C-emission from petrol used for transporting**. [On-line]. Available : http://www.vcacarfueldata.org.uk/downloads. and http://www.gdrc.org /uem/CO_2-Cal/CO_2-Calculator.html.

NASS. (2002). Census of Agriculture. **National Agricultural Statistics Service**. United States Department of Agriculture, Washington, DC.

National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA (2009). **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide-Global**. [On-line]. Available: http://www.esrl. noaa.gov /gmd/ccgg/trends. Accessed date: May 2009.

Pfaff, Alexander. S. P., Kerr, S., Hughes, R. F., Liu, S., Sanchez-Azofeifa, G. A., Schimel, D., Tosi, J., and Watson, V. (2000). The Kyoto protocol and payments for tropical forest: An interdisciplinary method for estimating carbon-offset supply and increasing the feasibility of a carbon market under the CDM. **Ecological Economics**. 35: 203-221.

Reiners, W.A., Liu, S., Gerow, K.G., Keller, M., and Schimel, D.S. (2002). Historical and future land use effects on N_2O and NO emissions using an ensemble modeling approach: Costa Rica's Caribbean lowlands as an example, **Global Biogeochemical Cycles**. 16 (4): 1068. doi: 10.1029/2001GB001437.

Ricklefs, R. E. (1973). **Ecology**. Massachusetts: Chirm Press.

(อ้างถึงในอู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์. (2531). นิเวศวิทยา (หน้า 115-117). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช)

Robert (1978). **Meat, Paultry, and Seafood Technology**. New Jersey. USA: Prentice-Hall.

Sauerbeck, D.R. (2001). CO_2 emissions and C sequestration by agriculture-perspectives and limitations. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. 60: 253-266.

Sere/, C., and Steinfeld, H., (1996). World livestock production systems: current status, issues and trends. **Animal Production and Health Paper**. Vol. 127. Rome. FAO.

Smith, R.L. (1974). **Ecology and Field Biology**. 2nd ed. New York. Harper and Row 850.

(อ้างถึงใน นิตยา เลาหะจินดา. (2549). นิเวศวิทยา: พื้นฐานสิ่งแวดล้อมศึกษา (หน้า 46). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

Sommer, S.G., Peteren, S.O., and Sogaard, H.T. (2000) Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. **Journal of Environmental Quality**. 29: 744-751.

Tamminga, S. (1992). Feeding management for dairy cows as a means to contribute to environmental pollution control. **Journal of Dairy Science**. 75: 345-357.

Tamminga, S. (1992). Gaseous pollutants by farm animal enterprises. In: Phillips, C., Piggins, D. (eds.), **Farm Animals and the Environment**. (pp 345-357). CAB International, UK: Wallingford

Tamminga, S. (2003). Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production. **Livestock Production Science**. 84: 101-111.

Thanee, N., Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2009) Comparison of carbon emission factors from ox and buffalo farms and energy of slaughterhouses in meat production. **Suranaree journal of since and technology**. 16 No. 2: 79-90.

Thanee, N., Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2009) The study of carbon massflow in ox, buffalo, and pig meat production from farms and slaughterhouses in Thailand. **Thai Environmental Engineering Journal**. 23 No. 2: 37-51**.**

Thanee, N., Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2009) Comparison of Carbon Emitted Factors from Ox and Buffalo Farms and Slaughterhouses in Meat Production. **Thai Journal of Agricultural Science.** 42 No. 2:

UNECE. (2004). **Task Force on Emission Inventories and Projections**. [On-line]. Available: http://tfeip-secretariat.org/unece.htm.

U.S. EPA, AP-42. (1995). **Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. [On - line]. Available: http: // www. epa. gov / ttn / chief / ap42 / index. htm.

(อ้างถึงใน นพภาพร พานิช และคณะ. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ: การจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ (หน้า 8-11). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

U.S. Environmental Protection Agency. (2002). **Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2000**.

van Noordwijk, M., Cerri, C., Woomer, P. L., Nugroho, K., and Bernoux, M. (1997). Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. **Geoderma**. 79: 187-225.

van Noordwijk, M., Murdiyarso, D., Hairiah, K., Wasrin, U. R., Rachman, A., and Tomich, T. P. (1998). Forest soil under alternatives to slash and burn agriculture in sumatra, Indonesia. In. A. Schulte and D. Ruhiyat (eds.). **Soils of Tropical Forest Ecosystems: Characteristics, Ecology and Management**. (pp 175-185). Berlin: Springer-Veriag.

Veldkamp, E., Weitz, A. M., Staritsky, and Huising, E. J. (1992). Deforestation trends in the Atlantic Zone of Costa Rica: A case study, **Land Degrad. Rehabil**. 3: 71-84.

Veldkamp, E., Davidson, E. A., Erickson, H. E., Keller, M., and Weitz, A. M. (1999). Soil nitrogen cycling and nitrogen oxide emissions along a pasture chronosequence in the humid tropics of Costa Rica. **Soil Biology and Biochemistry**. 31: 387-394.

Verchot, L. V., Davidson, E. A., Cattanio, J. H., Ackerman, I. L., Davidson, H. E., and Keller, M. (1999). Land use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**. 15: 31-46.

Vermoesen, A., Van Cleemput, O., and Hofman, G. (1996). Long term measurements of N_2O emissions. **Energy Conversion and Management**. 37: 1279-1284.

Watson, R.T., Noble, L.R., Bolin, B, Ravindranath, N.H., Verardo, D.J., and Dokken, D.J. (2000). Land use, land-use change, and forestry. **A Spec. Rep. IPCC. Published for the Intergovernment Panel on Climate Change**. New York: Cambridge Univ. Press.

Wilkerson, V.A., Casper, D.P., Mertens, D.R., and Tyrell, H.F. (1994). Evaluation of several methane producing equations for dairy cows. In: Aguilera, J.F. (ed.). **Energy Metabolism of Farm Animals.** Granada. Spain. EAAP. 76.

World Health Organization. (1993). **Assessment of Source of Air, Water and Land Pollution**. [On-line]. Available: http://www.who.int/environmental information/ Informationresources / on - linegeneral. htm._(อ้างถึงใน นพภาพร พานิช และคณะ. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ: การจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ (หน้า 8-11). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

World Wide Sires. (1986). Boar Sire Directory. P.O. Box 149. HanFord California 93232. USA. 57.

Yamane, Taro. (1973). **Mathematics for Economists: An Elementary Survey**. 2nd ed. New Delhi: Prentice-Hall

ผลประโยชน์เบื้องต้นที่ได้รับจากโครงการวิจัย

1. การเสนอผลงานวิจัย ณ ต่างประเทศ

1.1 ชื่อเรื่องที่นำเสนอ

Vichairattanatragul, P., Thanee, N., and Keeratiurai, P. (2011). Carbon footprint of fattening pig production in Thailand: Case studies in Ratchaburi, Nakhon Pathom and Nakhon Ratchasima provinces. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program. Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka**.**

2. การตีพิมพ์ผลงานวิจัย

Keeratiurai, P. and **Thanee, N**. (2013). The decision making to reduce carbon emission under uncertainty of herbivore meat production. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**. 8(7): 531-540.

Keeratiurai, P. and **Thanee, N**. (2013). Comparison of carbon equivalent emissions under uncertainty of energy using for industries of pig and broiler meat production. **Science Series Data Report**. 5(5): 55-65.

3. นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาหลักสูตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาสิ่งแวดล้อม สาขาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำเร็จการศึกษา 1 คนคือ นายปาณิสรา วิชัยรัตนตระกูล

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ ธานี

ชื่อ (ภาษาอังกฤษ) Dr. Nathawut Thanee

2. หมายเลขประจาตัวประชาชน 3–4099–00527–28–4

3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

4. หน่วยงานที่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาชีววิทยา สานักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์: 044-224633, 089-9492052

โทรสาร: 044-224633

E-mail: nathawut@sut.ac.th

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5. ประวัติการศึกษา

Year	Degree	Field	Institution/Country
1978	B.Sc.	Biology	Khon Kean University, Thailand
1980	M.Sc.	Environmental Biology	Mahidol University, Bangkok, Thailand
1988	Ph.D.	Ecological Entomology	Massey University, Palmerston North, New Zealand
1998	Ph.D.	Plant Health	Massey University, Palmerston North, New Zealand
1982	Postgraduate Certificate	Bioassay Techniques	Biotropical Center Bogor, Indonesia
1990	Postgraduate Certificate	Integrated Environmental Planning and Management	Griffith University Nathan, Australia
1992	Postgraduate Certificate	Mathematical Ecology	International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy
1994	Postgraduate Certificate	Island Ecosystem and Ecotourism	Biotropical Center Bogor, Indonesia
2002	Postgraduate Certificate	Water Quality Management And Planning	ATPAC/USA/Canada Mae Jo University, Thailand

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

Environmental Planning and Management

Integrated Pest Management

Ecosystem Analysis and Management

Ecotourism and Environmental Conservation

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

1) ภูกิจ พันธ์เกษม, ธำรง เปรมปรีดิ์, สงวน ปัทมธรรมกุล, **ณัฐวุฒิ ธานี** และ ธิติ วิสารัตน์. (2553). การเก็บกักคารบอนของแปลงปลูกไม้ตะกู. **งานประชุมวิชาการประจาปี มหาวิทยาลัยรังสิต Rsucon 2010**. สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยรังสิต จังหวัดปทุมธานี.

2) ภูกิจ พันธ์เกษม, ธำรง เปรมปรีดิ์, สงวน ปัทมธรรมกุล, **ณัฐวุฒิ ธานี** และ ธิติ วิสารัตน์. (2553). การเก็บกักคารบอนของแปลงปลูกไม้โตเร็ว. **งานประชุมวิชาการระดับชาติ เรื่อง "ประเทศไทยกับภูมิอากาศโลก ครั้งที่ 1 ความเสี่ยงและโอกาสท้าทายในกลไกการจัดการสภาพภูมิอากาศโลก Climate Thailand Conference 2010"**. สานักวิเคราะห์และรับรองโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (สวร.) องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) กรุงเทพมหานคร.

3) Keeratiurai, P., **Thanee**, **N.**, and Vichairattatragul, P. (2013). Assessment of the carbon emitted from the layer and young chicken farming under the uncertainty. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**. 8(9): 630-644.

4) Keeratiurai, P., **Thanee**, **N.**, and Vichairattatragul, P. (2013). Assessment of the carbon massflow from the layer farming with life cycle inventory. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**. 8(9): 673-682.

5) Keeratiurai, P. and **Thanee**, **N**. (2013). The decision making to reduce carbon emission under uncertainty of herbivore meat production. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**. 8(7): 531-540.

6) Keeratiurai, P. and **Thanee**, **N**. (2013). Comparison of carbon equivalent emissions under uncertainty of energy using for industries of pig and broiler meat production. **Science Series Data Report**. 5(5): 55-65.

7) Aroon, S., Artchawakom, T., Hill, J. G., and **Thanee**, **N**. (2012). Seasonal variation in the diet of common Palm Civet (*Paradoxurus hermaphroditus*) at Sakaerat Biosphere Reserve, Thailand. **Proceedings of the 8th Inter conference Inter-University Cooperation Program**. **ASEAN Knowledge Networks for the Economy**, **Society**, **Culture**, **and**

Environmental Stability. 8 - 12 July, 2012. Kyung Hee University, Seoul, Korea. (The Best Practice Awards)

8) Keeratiura P., Pankasam, P., Prempree T., Patamatamkul, S., and **Thanee, N**. (2012). Carbon sequestration of fast growing tree. **European Journal of Operational Research (EJOR)**. 81(4): 459-464.

9) Pankasam, P., Prempree T., Keeratiura P., Patamatamkul, S., and **Thanee, N**. (2012). Carbon sequestration of fast growing tree for rural electricity generation. **International Conference on Energy and Environmental Protection (ICEEP 2012)**. **Periodical of Advanced Materials Research on title Electrical Power & Energy Systems**. Mainland, China. 516-517.

10) **Thanee, N.** and Thipsantia, P. (2012). Relationship between termite biodiversity and gut protozoa at Sakaerat Environmental Research Station, Nakhon Ratchasima province, Thailand. **Proceedings of the 8th Inter conference Inter-University Cooperation Program**. **ASEAN Knowledge Networks for the Economy, Society, Culture, and Environmental Stability**. 8 - 12 July, 2012. Kyung Hee University, Seoul, Korea.

11) Pitakpong, A., Saipunkaew, W., Dathong, W., and **Thanee, N**. (2011). Use of epiphytic lichens as bioindicators for air quality monitoring in Nakhon Ratchasima municipality, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program**. **Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

12) Sukteeka, S. Jitpukdee, S., and **Thanee, N**. (2011). Species diversity of millipedes in Sakaerat Environmental Research Station, Nakhon Ratchasima, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program**. **Regional Stability**

through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

13) Tantikamton, K., Nhaknaen, P., Pokaew, K., Ninlaor, N., and **Thanee, N.** (2011). Solid waste composition and the behavior of household solid waste management in some small islands, Trang province, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program. Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

14) Tantipanatip, T., **Thanee, N.**, and Keeratiurai, P. (2011). Carbon massflow from egg production using life cycle assessment to develop carbon footprint in Khon Kaen and Nakhon Nayok provinces, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program. Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

15) Thipsantia, P. and **Thanee, N.** (2011). Biodiversity of termites and their relationship to dry dipterocarp and dry evergreen ecosystems at Sakaerat Environmental Research Station, Nakhon Ratchasima province, Thailand. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program. Regional Stability through Economic, Social and Environmental Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific**. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka. (The Best Practice Awards).

16) Vichairattanatragul, P., **Thanee, N.**, and Keeratiurai, P. (2011). Carbon footprint of fattening pig production in Thailand: Case studies in Ratchaburi, Nakhon Pathom and Nakhon Ratchasima provinces. **Proceedings of the 7th Inter conference Inter-University Cooperation Program. Regional Stability through Economic, Social and Environmental**

Development in the Greater Mekong Sub-region and Asia-Pacific. 7 - 12 August, 2011, Colombo. Sri Lanka.

17) Thassanapak, H., Qinglai, F., Grant-Mackei, J., Chonglakmani, C. and **Thanee, N.** (2011). Middle Traissic radiolarian faunas from Chiang Dao, Northern Thailand. **Palaleoworld**. 20: 179-202.

18) Boonriam, W., Yamada, A., Saitoh, S., Hasin, S., Wiwatwitaya, D., Artchawakom, T., and **Thanee, N.** (2010). How much area is foraged by termites in tropical forest. **The 7th Conference of the Pacific Rim Termite Research Group**, **Singapore**. 1st and 2nd March 2010.

19) Kudthalang, N. and **Thanee, N.** (2010). The assessment of water quality in the upper part of the Chi Basin using physicochemical variables and benthic macroinvertibrates. **Suranaree Journal of Science and Technology**. 17(2): 165-176.

20) **Thanee, N.** and Keeratiurai, P. (2010). Carbon footprint and carbon massflow for chicken meat and egg production in Nakhon Ratchasima Province, Thailand. **The 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference**, Nong Khai, Thailand. pp 6.

21) **Thanee, N.**, Saipankaew, W., and Pitakpong, A. (2010). Use of lichens as bioindicators for air quality monitoring in Nakhon Ratchasima municipality area. **The 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference**, Nong Khai, Thailand. pp 6.

22) Aroon, S., Artchawachom, T., Hill, J. G., Kupittayanant, S., and **Thanee, N.** (2009). Ectoparasites of the common palm civet (*Paradoxurus hermaphroditus*) at Sakaerat Environmental Research Station, Thailand. **Suranaree Journal of Science and Tachnology**. 16(4): 277-281.

23) **Thanee, N.**, Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2009). **Comparison of carbon emitted factors from ox and buffalo farms and slaughterhouses in meat production**. **Thai Journal of Agricultural Science.** 42(2): 97-107.

24) **Thanee, N.**, Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2009). Comparison of carbon emitted for meat production from ox buffalo pig and chicken. **Proceedings of the 8th National Convention on Environmental Engineering, Suranaree University of Technology**, Nakhon Ratchasima, March 25-27, 2009.

25) **Thanee, N.**, Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2009). Comparison of carbon emitted from ox buffalo pig and chicken farms and slaughterhouses in meat production. **Suranaree Journal of Scince and Technology**. 16(2): 79-90.

26) **Thanee, N.**, Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2009). The study of carbon massflow in ox, buffalo, and pig meat production from farms and slaughterhouses in Thailand. **Thai Environmental Engineering Journal**. 23(2): 37-51.

27) **Thanee, N.**, Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2009). The study of carbon massflow in ox, buffalo and pig production from farms and slaughterhouses in Thailand. **Proceedings of the 5th International Conference-University Cooperation Program, Toward Knowledge Networks for the Economy, Society, Culture, Environment and Health for the Greater Mekong Subregion and Asia-Pacific**. Kohinoor Continental Hotel, Mumbai, India, September 6-10, 2009.

28) **Thanee, N.**, Kupittayanant, S., and Pinmongkholgul, S. (2009). **Prevalence of ectoparasites and blood parasites in small mammals at Sakaerat Environmental Research Station, Thailand**. Thai Journal of Agricultural Science. 42(3): 149-158.

29) **Thanee, N.**, Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2008). Comparison of carbon emission factors from ox and buffalo farms and energy of slaughterhouses in meat production. **Proceedings of International Conference, Energy Security and Climate**

Change: Issues, Strategies, and Options (ESCC 2008), Sofitel Centara Grand Hotel, Bangkok, Thailand, August 06-08, 2008.

30) **Thanee, N.**, Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2008). Comparison of carbon mass flow and emission factors from ox and buffalo farms in meat production. **Proceedings of the 4th International Conference, Knowledge Networks and Regional Development in the Greater Mekong Subregion and Asia-Pacific**, Golden Dragon Hotel, Kunming, Yunnan Province, People's Republic of China, June 22-27, 2008.

31) **Thanee, N.**, Dankittikul, W., and Keeratiurai, P. (2007). The study of carbon mass flow in milk production from daily farms: A case study in Nachon Ratchasima province. **Proceedings of the Second GMSARN International Conference, Sustainable Development: Challenges and Opportunities for the Greater Mekong Subregion**. Pattaya, Thailand, December 12-14, 2007.

32) Chitnarin, A., **Thanee, N.**, Crasquin-Soleau, S., and Chonglakmani, C. (2006). First discovery of Middle Triassic (Anisian) ostracods from the Pha Khan Formation, Northern Thailand. **Circum-Pacific Triassic Stratigraphy and Correlation Symposium**, New Zealand (poster).

33) Chonglakmani, C., Noipaw, N., Chitnarin, A., and **Thanee, N.** (2006). Late Triassic (Norian) stromatolites and ostracods from the Huai Hin Lat Formation, North-Central Thailand. **Circum-Pacific Triassic Stratigraphy and Correlation Symposium**, New Zealand (poster).

34) Thassanapak, H., Qinglai, F., Chonglakmani, C., Udchachon, M., and **Thanee, N.** (2006). Middle Triassic radiolarians from Chiang Dao area, Northern Thailand. **Interred XI: Radiolarians in Stratigraphy & Paleoceanography**, New Zealand (poster).

35) Uchachon, M., Chonglakmani, C., Campbell, H., and **Thanee**, **N**. (2006). Paleoecolgogy of the Permian Alatoconchid bivalves from North-Central, Thailand. **International Palaeontological Congress**, China (poster).

36) Pongswat, S., **Thanee**, **N**., Thammathaworn, S., Peerapornpisal, Y., and Nontanum, S. (2005). Water quality and diversity of phytoplankton in a hard-water lake, Thailand. **Suranaree Journal of Science and Technology**. 13(1): 55-70.

37) Onlamai, C. and **Thanee**, **N**. (2004). Some ecological aspects of little honeybee (*Apis florae* F.) and type of sugar contents in honey in Northeast Thailand. **Pakistan Journal of Biologcal Sciences**. 7(4): 658-661.

38) Pongswat, S., Thammathaworn, S., Peerapornpisal, Y., **Thanee**, **N**., and Somsiri, C. (2004). Phytoplankton in the Rama IX lake, a mand-made lake, Pathumthani province, Thailand. **Science Asia**. 30: 261-267.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี