



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการระบบสนับสนุนการตัดสินใจแบบบูรณาการเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการ
หมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืชในพื้นที่การเกษตรในภาคเหนือตอนบน

โดย ณภัทร จักรวัฒนา และคณะ

กรกฎาคม 2556

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการระบบสนับสนุนการตัดสินใจแบบบูรณาการเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกและ
เพิ่มการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืชในพื้นที่การเกษตรในภาคเหนือตอนบน

ผู้วิจัย

- ดร. ภัทร จักรวัฒนา
- รศ.ดร. สิรินทรเทพ เต้าประยูร
(นักวิจัยที่ปรึกษา)

สังกัด

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา
บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
และ มหาวิทยาลัยพะเยา

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	3
Executive summary	5
1 บทนำ.....	11
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	11
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	12
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	12
1.4 แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	12
2 วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย.....	22
2.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	22
2.2 การวิเคราะห์การไหลของสาร (Material Flow Analysis : MFA).....	24
2.3 การวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง (Scenario Analysis).....	81
2.4 การออกแบบและสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจในแบบ Web Base.....	88
3 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล.....	93
3.1 สถานการณ์ปัจจุบัน (Status Qua).....	93
3.2 ผลการวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง.....	109
3.3 การจัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจในแบบ Web Base.....	124
3.4 การวิเคราะห์ Cost Benefit Analysis (CBA).....	132
4 สรุปผลการวิจัย.....	141
4.1 สถานการณ์การจัดการพื้นที่การเกษตร การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก การจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลในปัจจุบัน ศักยภาพพลังงาน การหมุนเวียนพลังงานมวลสาร คาร์บอนและฟอสฟอรัสในเชิงพื้นที่.....	141

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 (ต่อ).....	
4.2 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งทำการประเมินทางเลือก การจัดการพื้นที่ การเกษตรและชีวมวลด้วยแนวทางและเทคโนโลยีแบบต่างๆ โดยวิธี วิเคราะห์สถานการณ์จำลอง.....	143
4.3 แนวทางและเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ในการจัดการการเกษตร และทรัพยากรชีวมวลเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการหมุนเวียน พลังงานและธาตุอาหารพืช.....	144
ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	145
บรรณานุกรม.....	148

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG5380201

ชื่อโครงการ: ระบบสนับสนุนการตัดสินใจแบบบูรณาการเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืชในพื้นที่การเกษตรในภาคเหนือตอนบน

ชื่อนักวิจัย และสถาบัน: ดร. ณภัทร จักรวัฒนา วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

ชื่อนักวิจัยที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. สิรินทรเทพ เต่าประยูร บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อีเมล: napat_j@hotmail.com, napatjuk@yahoo.com

ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี

บทคัดย่อ:

การเกษตรในปัจจุบันก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากมาย การศึกษานี้เน้นการศึกษาเรื่องของปัญหาก๊าซเรือนกระจกและธาตุอาหารพืชจากการทำนาข้าว การจัดการชีวมวลเหลือทิ้งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานและใช้เป็นแหล่งแร่ธาตุและคาร์บอนในการปรับปรุงคุณภาพดิน การจัดการชีวมวลและการเกษตรอย่างยั่งยืนสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้มากและยังลดการใช้พลังงานและการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตได้อีกด้วย เรื่องดังกล่าวเป็นประเด็นซึ่งมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกันแต่ที่ผ่านมามีประเด็นข้างต้นถูกพิจารณา วางแผนและจัดการโดยหน่วยงานที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือการพัฒนาแบบสนับสนุนการตัดสินใจแบบบูรณาการ เพื่อการวิเคราะห์และประเมินทางเลือกแบบต่างๆในการจัดการพื้นที่การเกษตรและชีวมวลเพื่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้น้อยที่สุด เพิ่มการหมุนเวียนคาร์บอน และฟอสฟอรัส กลับไปสู่ดินและนำกลับคืนพลังงาน โครงการวิจัยนี้ใช้การบูรณาการเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจหลายชนิดเข้าด้วยกันเพื่อให้สามารถข้ามพ้นข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจแต่ละชนิด เครื่องมือที่ถูกเลือกมาใช้ในโครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย Material Flow Analysis (MFA), Geographic Information System (GIS) และ Cost-Benefit Analysis (CBA) โดยที่ MFA จะถูกใช้เป็นเครื่องมือหลัก

จากการวิเคราะห์การไหลของคาร์บอนในพื้นที่ในสถานการณ์ปัจจุบันในปีที่ทำการศึกษาค้นพบว่าโดยรวมแล้วมีคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบมากกว่าที่ออกจากระบบ 16 % ต่อปี เมื่อเทียบกับคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ คาร์บอนจากการหายใจของดินมีการปล่อยมากที่สุดเนื่องจากช่วงพักนาจะปล่อยให้ที่ดินว่าง

เปล่า ซึ่งจะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณที่สูงมาก การจัดการเศษฟางข้าวหรือตอซัง โดยมากจะปล่อยทิ้งไว้และไถกลบลงในพื้นที่นา ก่อนการขังน้ำเพียงไม่กี่วัน ทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทน สูง จากการวิเคราะห์การไหลของฟอสฟอรัสจะพบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมเพิ่มขึ้นอยู่ในระบบคือ ดินในนาข้าว ในพื้นที่มากเกินความต้องการโดยเฉพาะในรูปของปุ๋ยฟอสเฟต ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสมไม่ใส่มากเกินไป นอกจากนั้นถ้ามีการหมุนเวียนชีวมวลอย่างเหมาะสม เพื่อเป็นแหล่งฟอสฟอรัสจะสามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตได้มาก

แนวทางและเทคโนโลยีที่เหมาะสม ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้คือนำฟางข้าว 50-80% ไปทำปุ๋ยหมักแล้วใส่กลับมานาข้าว ทำการการไถกลบตอซังที่เหลือก่อนขังน้ำอย่างน้อย 1 เดือน ร่วมกับการใส่ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนปุ๋ยยูเรีย ส่งเสริมให้มีการใช้ที่ดินปลูกพืชหมุนเวียน เพื่อไม่ให้เกิดช่วงที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่าและลดการเผาตอซัง ในระยะยาวควรมีการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลระบบ Gasification หรือ Pyrolysis และให้เกษตรกรนำฟางข้าวไม่เกิน 80% จากนาข้าวมาเข้าเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว

ดังนั้นภาครัฐควรเริ่มต้นศึกษาและทำโครงการนำร่องในทางเลือกนี้โดยต้องมีการบูรณาการกันระหว่างหน่วยงานหลายกระทรวงเช่น กระทรวงเกษตร กระทรวงพลังงาน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงคนในชุมชนด้วย โดยควรมีการจ่ายเงินจูงใจเกษตรกรเป็นค่า C credit จากการลด CH_4 (บาท/ตัน $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ที่ลดลง) และ C credit จากการเพิ่มการสะสมของคาร์บอน (C stock) ในดิน (บาท/ตัน C stock ในดิน ที่เพิ่มขึ้น) ในส่วนของผู้ประกอบการนั้นควรมีกลไกในการส่งเสริมด้านเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติมเช่นกันเช่น ควรมีค่า C credit จาก CO_2 avoidance จากการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล เพิ่มขึ้นมาจากค่า Adder เช่นเดียวกับ REC (Renewable Energy Credit) เพื่อส่งเสริมโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน โดยอาจมีการผนวกเข้ากับระบบ Voluntary Emission Reduction (VER) ซึ่งกลไกนี้สามารถใช้ในการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการตัดสินใจลงทุนได้ง่ายขึ้นและเป็นผลดีต่อภาคการเกษตรของประเทศไทยทั้งในด้านคุณสมบัติของดิน และผลผลิตที่อาจเพิ่มขึ้นและรายได้ของเกษตรกรที่เพิ่มขึ้น

คำหลัก : นาข้าว ก๊าซเรือนกระจก ธาตุอาหารพืช ชีวมวล

Abstract

Project Code : MRG5380201

Project Title : An Integrated Decision Support System for Greenhouse Gas Emissions Reduction and Enhancement of Energy and Nutrient Cycling in Agricultural Area in Upper-North Thailand

Investigator : Dr.Napat Jakrawatana

Mentor's Name: Associate Professor Sirintornthep Towprayoon

E-mail Address : napat_j@hotmail.com, napatjuk@yahoo.com

Project Period : 2 years

Abstract:

Agriculture currently faces a number of environmental sustainability issues. The main issues that are the focus of this study are greenhouse gas emissions and depletion of mineral phosphorus resources. Biomass can potentially be used as a renewable energy source and can be returned to improve the nutrient and drainage structure of agricultural soils. Sustainable management of biomass and agriculture can have significant impacts on reduction of greenhouse gas emissions from the region. Moreover, it reduces the demand for energy and phosphorous (P) based fertilizer. These issues have often been considered previously in separate analyses and managed by different agencies or organizations.

The aim of this project is to develop an integrated decision support system (DSS) that can be used for evaluating alternative options for management and resource recovery from biomass for reducing greenhouse gas emissions, enhancing recovery of energy, returning carbon (C) and phosphorus (P) from biomass back to soil in an agricultural region. This research employed a combination of the tools of Material Flow Analysis (MFA), Geographic Information System (GIS) and Cost-Benefit Analysis (CBA). MFA is used as the main tool for this research. The other tools are combined with MFA in later stages of the overall procedure to develop an integrated decision support tool.

The results show that there was a positive C stock of 16% of total input each year. C loss from soil respiration was very high because of long fallow period. Straw were plow back to the soil and were tilled just a few day before flooding time causing high methane emission at the beginning of cultivation. In term of P flow, there was a positive P stock is

70% of total input each year, meaning that there was over stock of P from overuse of P fertilizer. Therefore, optimum use of fertilizer should be applied and recycle organic should also be applied for reducing mineral fertilizer.

The recommendation for technology and management practices including harvesting straw 50-80% for composting and return compost product to soil, plowing the rest of straw back to soil before flooding period at least 30 days, using Ammonium sulfate instead of Urea, accepting crop rotation practice instead of fallow land and finally setting up gasification or pyrolysis plant using straw and produce biochar for farmer to use it back to the soil.

Government agencies should conduct a pilot project for the above recommendation by cooperating among many ministries and farmer community and applying incentive or feed in tariff like C credit for reducing CH_4 (bath/ton $\text{CO}_{2\text{eq}}$ reduction) and C credit for increasing C stock in the soil (bath/ton C stock increase). In term of, biomass power plant, there should be economic incentive, for example, C credit from CO_2 avoidance from producing electricity from renewable energy instead of fossil fuel as same as REC (Renewable Energy Credit). This system can be applied along with Voluntary Emission Reduction (VER) system for urging investor for invest in this biomass project and providing benefit for farmer and the whole region.

Keywords : Paddy field Greenhouse gas Nutrient Biomass

Executive summary

การจัดการพื้นที่และเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแบบปัจจุบัน เช่นการเผาตอซัง เศษพืชเหลือใช้หลังจากการเก็บเกี่ยว ทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาของดินและเร่งให้เกิดการปล่อยคาร์บอนออกจากดิน การเกษตรแบบไม่ยั่งยืนดังที่กล่าวมาก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความเสื่อมโทรมของดินในปริมาณมาก สูญเสียธาตุอาหารพืช นอกจากนี้ยังสูญเสียโอกาสในการหมุนเวียนธาตุอาหารพืชจากชีวมวล การลดก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรและอุตสาหกรรม การเกษตรและการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืช เป็นประเด็นซึ่งมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกันและสามารถจัดการอย่างยั่งยืนแบบบูรณาการได้โดยการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลอย่างเหมาะสมและคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ แต่ที่ผ่านมาประเด็นข้างต้นถูกพิจารณา วางแผนและจัดการโดยหน่วยงานที่แตกต่างกันเช่น กระทรวงพลังงาน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยขาดการบูรณาการในการวางแผนจัดการ อาจทำให้เกิดปัญหาการแย่งชิงทรัพยากร ทรัพยากรมีราคาสูงขึ้นและมีการจัดการทรัพยากรอย่างไม่เหมาะสม

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาในรายละเอียดเชิงลึกในระดับภูมิภาค สืบหาข้อมูลและศึกษารายละเอียดการประเมินศักยภาพทรัพยากรที่แท้จริงที่เหลือการจัดการและการใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน รวมถึงพัฒนาข้อมูลให้เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจแบบบูรณาการ เพื่อการวิเคราะห์สมดุลมวลสารและก๊าซเรือนกระจกแบบบูรณาการ ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถใช้ในการจำลองสถานการณ์ (Scenario analysis) เพื่อการวิเคราะห์และประเมินทางเลือกแบบต่างๆในการจัดการพื้นที่การเกษตรและชีวมวลเพื่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้น้อยที่สุด เพิ่มการหมุนเวียนคาร์บอน และฟอสฟอรัส กลับไปสู่ดินและนำกลับคืนพลังงานมาใช้ในการเกษตรหรืออุตสาหกรรม การเกษตรให้มากที่สุด โดยมีจุดประสงค์ย่อย 3 ข้อคือ

- 1) ทราบสภาพปัญหาในการจัดการพื้นที่การเกษตร ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลในปัจจุบัน ศักยภาพพลังงานและธาตุอาหารในชีวมวลเหลือใช้ ประสิทธิภาพการหมุนเวียนพลังงานมวลสาร คาร์บอนและฟอสฟอรัสในเชิงพื้นที่
- 2) ได้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งทำการประเมินทางเลือก การจัดการพื้นที่การเกษตรและชีวมวลด้วยแนวทางและเทคโนโลยีแบบต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงนโยบายสนับสนุนของรัฐในรูปแบบต่างๆ โดยวิธีวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง (Scenario Analysis) ซึ่งสามารถแสดงออกด้วยแผนภาพและแผนที่สารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งง่ายต่อการเข้าใจของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการตัดสินใจจึงสนับสนุนการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการตัดสินใจ
- 3) ได้แนวทางและเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนสำหรับการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืชอย่างยั่งยืน

โครงการวิจัยนี้ใช้การบูรณาการเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจหลายชนิดเข้าด้วยกันเพื่อให้สามารถข้ามพ้นข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจแต่ละชนิด เครื่องมือที่ถูกเลือกมาใช้ในโครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย Material Flow Analysis (MFA), Geographic Information System (GIS) และ Cost-Benefit Analysis (CBA) โดยที่ MFA จะถูกใช้เป็นเครื่องมือหลักและ GIS และ CBA จะถูกนำมาบูรณาการในขั้นตอนกลางและท้ายของการวิจัย โดยผลการศึกษาสรุปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้ดังนี้

1) สถานการณ์การจัดการพื้นที่การเกษตร การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลในปัจจุบัน ศักยภาพพลังงานการหมุนเวียนพลังงานมวลสาร คาร์บอนและฟอสฟอรัสในเชิงพื้นที่

การจัดการการเกษตรและชีวมวลในสถานการณ์ปัจจุบัน

ในพื้นที่ศึกษาเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะทำการผลิตข้าวเจ้าหอมมะลิเพื่อการจำหน่ายและข้าวเหนียวจะผลิตเพื่อการบริโภคในครัวเรือนเป็นส่วนใหญ่ พันธุ์ข้าวหอมมะลิที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข 15 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 โดย การทำนาปลูกข้าวส่วนใหญ่เป็นนาปี พื้นที่ทำนาปรังมีน้อยมากซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับพื้นที่อื่นๆในภาคเหนือตอนบน การจัดการวัสดุเหลือทิ้งในส่วนของฟาง การเกี่ยวด้วยแรงงานคนฟางจะถูกนำไปมัดรวมกันไว้เป็นกองเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น เป็นวัสดุคลุมดินเพื่อปลูกพืชอื่น การนำไปเป็นอาหารสัตว์ วัสดุรองพื้นในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ แต่การเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวข้าวซึ่งมีมากในปัจจุบัน ฟางข้าวจะถูกฟ่อนออกมาที่ท้ายเครื่องและกระจายอยู่ทั่วนา และ โดยทั่วไปสำหรับนาปี การไถกลบตอซังลงดินก่อนทำการขังน้ำเพื่อทำนาในรอบต่อไปแค่หนึ่งหรือสองสัปดาห์ล่วงหน้าเท่านั้นดังนั้นตอซังซึ่งยังย่อยสลายไม่หมดหลังจากจมภายใต้น้ำขังและจะเกิดการหมักแบบไร้อากาศซึ่งก่อให้เกิดก๊าซมีเทนในช่วงต้นของการทำนามาก

ชีวมวลเหลือทิ้งจากโรงสีข้าว ได้แก่ ปลายข้าว รำข้าว และแกลบ ปลายข้าวและรำข้าวจะถูกขายเป็นอาหารของสัตว์ แกลบจากโรงสีข้าว จะนำไปใช้ประโยชน์หลัก ๆ คือ โรงสีข้าวที่มีขนาดใหญ่ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงสีข้าวเอง โดยนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ นำไปขายเป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงงานปูนซีเมนต์ นำไปขายเป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงงานอุตสาหกรรมและโรงอบลำไยในต่างจังหวัด โรงสีขนาดกลาง ขายให้กับโรงงานอิฐในจังหวัด ขายให้กับโรงเผาถ่านในจังหวัด โรงสีขนาดเล็ก นำไปปรับสภาพดิน ในพื้นที่ศึกษามีโรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์ขนาดใหญ่อยู่ 1 โรง ที่ ผลผลิตที่ได้ส่วนมากจะถูกใช้ภายในพื้นที่ใกล้เคียง ในส่วนของการผลิตปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักใช้เองในพื้นที่นาของตัวเองมีค่อนข้างน้อยมาก

การวิเคราะห์การไหลของฟอสฟอรัสและคาร์บอนในสถานการณ์ปัจจุบัน

จากการวิเคราะห์การไหลของคาร์บอนในพื้นที่ในสถานการณ์ปัจจุบันในปีที่ทำการศึกษาค้นพบว่าจากคาร์บอนที่เข้ามาในระบบทั้งหมด มีคาร์บอนที่ออกไปจากระบบมากที่สุดในรูปของการปลดปล่อยก๊าซไปสู่บรรยากาศ (42%) คาร์บอนที่ออกไปในรูปผลผลิตข้าวคิดเป็น 32% คาร์บอนที่ออก

ไปสู่แหล่งน้ำโดยตรงมี 1% คาร์บอนที่ออกไปกับชีวมวล เช่น แกลบที่ส่งขายไปยังพื้นที่อื่นหรือมูลสัตว์ที่ถูกนำไปนอกระบบคิดเป็น 9% รวมมีคาร์บอนที่ออกจากระบบ 84% และมีคาร์บอนในรูปของชีวมวลที่ถูกหมุนเวียน กลับไปสู่นาข้าว 38 % ต่อปี โดยรวมแล้วมีคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบมากกว่าที่ออกจากระบบ 16 % ต่อปี เมื่อเทียบกับคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ การลดคาร์บอนที่ออกไปนอกระบบควรพิจารณาเน้นที่ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไปสู่บรรยากาศเนื่องจากเป็นแหล่งที่ปล่อยมากที่สุด คาร์บอนจากการหายใจของดินมีการปล่อยมากที่สุดเนื่องจากในพื้นที่ส่วนมากเป็นการทำนาปีละครั้งช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม นอกนั้นจะเป็นช่วงพักนาจะปล่อยให้ที่ดินว่างเปล่า ซึ่งจะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณที่สูงมาก ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการใช้ที่ดินปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อไม่ให้เกิดช่วงที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่า

การจัดการเศษฟางข้าวหรือตอซังโดยมากจะปล่อยทิ้งไว้และไถกลบลงในพื้นที่นา ซึ่งจากข้อมูลการวิจัย พบว่าหลังจากการทำนา 15 วัน มีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น เนื่องจากเกิดการหมักตอซังที่ไถกลบระหว่างขั้นตอนการเตรียมดินก่อนการปลูก ดังนั้นควรมีการไถกลบตอซังก่อนจะขึ้นน้ำอย่างน้อย 1-2 เดือน เพื่อปล่อยให้ย่อยสลายก่อน จะช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้

ตอซังบางส่วนจะเผาฟางทิ้งก่อนทำนารอบต่อไป และก่อนปลูกข้าว คิดเป็นปริมาณฟางข้าวที่ถูกเผาประมาณ ร้อยละ 20 ซึ่งจะก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงควรมีการรณรงค์การเผาตอซัง เพื่อเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน ในส่วนของการหมุนเวียนคาร์บอนที่ได้จากงานวิจัยนี้ ควรพิจารณานำแกลบที่ขายออกไปมาใช้ในพื้นที่แทนและนำมูลสัตว์ที่จัดการไม่ถูกต้องหรือถูกนำไปใช้ในพื้นที่อื่นมาจัดการตามกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักแล้วนำกลับไปใช้บำรุงดินในนาข้าวในพื้นที่

จากการวิเคราะห์การไหลของฟอสฟอรัสจะพบว่ามีฟอสฟอรัสที่ออกไปจากระบบในรูปผลผลิตข้าว 21% ฟอสฟอรัสที่ออกไปกับชีวมวล เช่น แกลบที่ส่งขายไปยังพื้นที่อื่นหรือมูลสัตว์ที่ถูกนำไปนอกระบบ คิดเป็น 7% คาร์บอนที่ออกไปสู่แหล่งน้ำโดยตรง คิดเป็น 4% รวมมีฟอสฟอรัสที่ออกไปจากระบบคิดเป็น 35% โดยมีฟอสฟอรัสในรูปของชีวมวลที่ถูกหมุนเวียนกลับไปสู่นาข้าว 19% ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในระบบของดินในนาข้าว คิดเป็น 68% ต่อปี โดยเทียบกับฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในระบบคือดินในนาข้าวคิดเป็นกว่า 70% ของฟอสฟอรัสที่เข้ามาในแต่ละปีโดยฟอสฟอรัส ส่วนมากจะอยู่ในดินในรูปที่พืชอาจจะยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ในปีนั้นแต่อาจจะนำไปใช้ได้ในปีถัดๆไป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเรามีการนำเข้าฟอสฟอรัสเข้ามาในพื้นที่มากเกินไปเกินความต้องการโดยเฉพาะในรูปของปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและมีราคาสูงขึ้นทุกปี ทำให้เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสมไม่ใส่มากเกินไป นอกจากนั้นถ้ามีการหมุนเวียนชีวมวลอย่างเหมาะสมเพื่อเป็นแหล่งฟอสฟอรัสจะสามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตได้มาก

2) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งทำการประเมินทางเลือก การจัดการพื้นที่การเกษตรและชีวมวลด้วยแนวทางและเทคโนโลยีแบบต่าง ๆ โดยวิธีวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง

โครงการได้จัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจในลักษณะ Web base ที่มี URL คือ www.seen.up.ac.th/cbdss ภาษาที่ใช้จัดทำระบบคือภาษา PHP: Hypertext Preprocessor PHP Version 5 และ MySQL โดยมีองค์ประกอบหลัก 2 กระบวนการได้แก่

กระบวนการที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ ผู้ใช้งานระบบสามารถดูข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยระบบจะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงให้กับผู้ใช้งานระบบ ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

กระบวนการที่ 2 วิเคราะห์สถานการณ์ ในส่วนนี้ผู้ใช้งานระบบจะทำการเลือกการวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามสถานการณ์ต่างๆ ของระบบ ระบบก็จะทำการแสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ให้แก่ผู้ใช้งานระบบในรูปแบบต่างๆ ในส่วนนี้จะเป็นการหาแนวทางเลือกต่างๆ ในการจัดการทางการเกษตรเพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการลดก๊าซที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงค่า factor ต่างๆซึ่งใช้ในการคำนวณ เช่น ปริมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำ (ton/year), อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่อพื้นที่ ($\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$), Transfer Coefficient ของการ Pyrolysis ฟางข้าวเป็น Biochar เมื่อได้ทำการเลือกทางเลือกต่างๆแล้ว ผู้ใช้งานสามารถดูกราฟสรุปผลเปรียบเทียบได้ โดยโครงการได้วิเคราะห์ทางเลือก 7 ทางเลือกในการจัดการการเกษตรและชีวมวลแล้วทำการวิเคราะห์สถานการณ์ตามทางเลือกต่างๆ

เมื่อนำผลของการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองทั้ง 7 มาเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาในส่วนของการลดก๊าซเรือนกระจกพบว่า ทางเลือกที่ 3 คือนำฟางข้าวออกจากนาข้าว 80% (โดยเหลือ 20% ไว้ในพื้นที่เพื่อการอนุรักษ์ดิน) จะสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามก็มีค่าการเพิ่มของอัตราการสะสมคาร์บอนในดินและอัตราการสะสมของฟอสฟอรัสในดินน้อยที่สุด เนื่องจากมีการหมุนเวียนชีวมวลกลับมาน้อยที่สุด ดังนั้นถึงแม้ว่าจะลดก๊าซเรือนกระจกได้มากแต่อาจมีความสมบูรณ์ของดินน้อย เมื่อพิจารณาทางเลือกที่ 5 นำฟางข้าว 50% จากนาข้าวมาทำปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับมูลสัตว์ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทางเลือกนี้จะมีการหมุนเวียนคาร์บอนและฟอสฟอรัสกลับมามากที่สุดทำให้มีอัตราการเพิ่มสต็อกของคาร์บอนและฟอสฟอรัสในดินมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวได้น้อยกว่าทางเลือกที่ 3 มาก

เมื่อพิจารณาทางเลือกที่ 6 นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ดีรองจากทางเลือกที่ 3 และมีการหมุนเวียนคาร์บอนและฟอสฟอรัสกลับมาและทำให้มีอัตราการเพิ่มการกักเก็บของคาร์บอนและฟอสฟอรัสในดินมากกว่ารองจากทางเลือกที่ 5 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าทางเลือกนี้อาจสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ถึง 14% และ ลด ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือ N_2O ได้ถึง 28% ดังนั้นทางเลือกนี้อาจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมถึงผลกระทบจากการปฏิบัติจริงในระยะยาว ทางเลือกต่างๆได้กล่าวถึงนี้สามารถใช้ร่วมกับทางเลือกที่ 1 คือการใช้ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนที่ปุ๋ยยูเรีย 15 กก./ไร่ ได้อีกด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจก

3) แนวทางและเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ในการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืช

แนวทางและเทคโนโลยีที่เหมาะสม ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ได้เสนอแนะแบ่งเป็นแผนเร่งด่วน แผนระยะกลางและแผนระยะยาวดังนี้

แผนเร่งด่วนคือ การส่งเสริมให้เกษตรกรไถกลบตอซังก่อนขึ้นน้ำอย่างน้อย 1-2 เดือน เพื่อปล่อยให้ย่อยสลายก่อนจะขึ้นน้ำ จะช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนที่ง่ายที่สุดและไม่ได้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับเกษตรกร เพียงแต่ต้องอาศัยการปรับตัวพฤติกรรมเท่านั้น นอกจากนี้แนวทางการลดการเกิดก๊าซมีเทนนั้น การลดคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินโดยการส่งเสริมให้มีการใช้ที่ดินปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อไม่ให้เกิดช่วงที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่าสามารถทำให้เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน ทำให้ดินมีคุณภาพดีขึ้น

แผนระยะกลางคือ การส่งเสริมให้เกษตรกรนำฟางข้าวไปทำปุ๋ยหมักแล้วใส่กลับไปที่นาข้าว ร่วมกับ ทำการไถกลบตอซังก่อนขึ้นน้ำอย่างน้อย 1 เดือน ร่วมกับการใช้ปุ๋ยคอกเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนปุ๋ยยูเรีย เนื่องจากมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและได้ผลดีต่อสิ่งแวดล้อมสูงทั้งในเรื่องของการลดก๊าซมีเทน เพิ่มการสะสมของคาร์บอนในดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน อย่างไรก็ตามการจะทำให้เกษตรกรเปลี่ยนพฤติกรรมเก็บเกี่ยวฟางข้าวมาทำปุ๋ยหมักใส่ในนาข้าวของตัวเองและไถกลบตอซังให้เร็วขึ้นต้องใช้เวลาพอสมควร เพื่อให้เกิดกลไกในการดำเนินการตามแผนนี้ได้จำเป็นต้องมีการจ่ายเงินจูงใจเกษตรกรเป็นค่า C credit จากการลด CH_4 (บาท/ตัน $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ที่ลดลง) และ C credit จากการเพิ่ม การสะสมของคาร์บอน (C stock) ในดิน (บาท/ตัน C stock ในดิน ที่เพิ่มขึ้น) โดยอาจมีการผนวกเข้ากับระบบ Voluntary Emission Reduction (VER) ก็ได้ ซึ่งกลไกนี้สามารถใช้ในการส่งเสริมเกษตรกรให้ทำการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นอีกโดยการลดคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินโดยการส่งเสริมให้มีการใช้ที่ดินปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อไม่ให้เกิดช่วงที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่าลดการเผาตอซัง และอาจเพิ่มการหมุนเวียนคาร์บอนโดยนำแกลบที่ขายออกไปมาใช้ในพื้นที่แทนและนำมูลสัตว์ที่จัดการไม่ถูกต้องหรือถูกนำไปใช้ในพื้นที่อื่นมาจัดการตามกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักแล้วนำกลับไปใช้บำรุงดินในนาข้าวในพื้นที่

แผนระยะยาวคือ การส่งเสริมให้ผู้ประกอบการสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลระบบ Gasification หรือ Pyrolysis และให้เกษตรกรนำฟางข้าวไม่เกิน 80% จากนาข้าวมาเข้าเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว เพราะ Biochar ซึ่งเป็นคาร์บอนที่เสถียรที่สุดสามารถเก็บกักได้ระยะยาวและสามารถทำให้ดินมีคุณสมบัติดีขึ้นและมีผลผลิตที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล เป็นเรื่องที่มีรายละเอียดมาก ต้องมีการศึกษาวิเคราะห์อย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง และเนื่องจากลงทุนสูงมากอาจต้องกระจายแบ่งเป็นโรงไฟฟ้าขนาดเล็กหลายๆแห่งกระจายตามพื้นที่ต่างๆ เพื่อง่ายต่อการรวบรวมและเก็บขนโดยเกษตรกรต้องร่วมมือในการรวบรวมและขายชีวมวลด้วย เพื่อให้เกิดกลไกในการดำเนินการตามแผนนี้ได้จำเป็นต้องมีการจ่ายเงินจูงใจเกษตรกรเป็นค่า C credit จากการลด CH_4 (บาท/ตัน $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ที่ลดลง) และ C credit จากการเพิ่ม การสะสมของคาร์บอน (C stock) ในดิน (บาท/ตัน C stock ในดิน ที่เพิ่มขึ้น) โดยอาจมีการผนวกเข้ากับ

ระบบ Voluntary Emission Reduction (VER) ก็ได้ ซึ่งกลไกนี้สามารถใช้ในการส่งเสริมเกษตรกรให้ทำการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นอีก โดยการลดคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินโดยการส่งเสริมให้มีการใช้ที่ดินปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อไม่ให้เกิดช่วงที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่า ลดการเผาตอซัง และอาจเพิ่มการหมุนเวียนคาร์บอนโดยนำ Biochar ไปใช้บำรุงดินในนาข้าวในพื้นที่ นอกจากนั้นในส่วนของผู้ประกอบการนั้นควรมีกลไกในการส่งเสริมด้านเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติมเช่นกัน

เช่น เช่น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกหรือกระทรวงพลังงานควรมีค่า C credit จาก CO₂ avoidance จากการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล (Thai grid mix 2009) เช่นเดียวกับประเทศอื่น เช่น อเมริกาและออสเตรเลีย ที่มีค่า REC (Renewable Energy Credit) เพื่อส่งเสริมโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน เพิ่มขึ้นมาจากค่า Adder โดยอาจมีการผนวกเข้ากับระบบ Voluntary Emission Reduction (VER) ก็ได้ ซึ่งกลไกนี้สามารถใช้ในการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการตัดสินใจลงทุนได้ง่ายขึ้นและเป็นผลดีต่อภาคการเกษตรของประเทศไทยทั้งในด้านคุณสมบัติของดินและผลผลิตที่อาจเพิ่มขึ้นและรายได้ของเกษตรกรที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นภาครัฐควรเริ่มต้นศึกษาและทำโครงการนำร่องในทางเลือกนี้โดยต้องมีการบูรณาการกันระหว่างหน่วยงานหลายกระทรวงเช่น กระทรวงเกษตร กระทรวงพลังงาน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงคนในชุมชนด้วย

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การจัดการพื้นที่และเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแบบปัจจุบัน เช่นการเผาตอซัง เศษพืชเหลือใช้หลังจากการเก็บเกี่ยว ทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาของดินและเร่งให้เกิดการปล่อยคาร์บอนออกจากดิน (Soil Carbon Loss) การเกษตรแบบไม่ยั่งยืนดังที่กล่าวมาก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความเสื่อมโทรมของดินในปริมาณมากสูญเสียธาตุอาหารพืชนอกจาก นั้นยังสูญเสียโอกาสในการหมุนเวียนธาตุอาหารพืชจากชีวมวล การผลิตปุ๋ยเคมีต้องใช้พลังงานมหาศาลก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน นอกจากนั้นปุ๋ยเคมียังมีราคาสูงขึ้นหลายเท่าตัวภายในสามปีที่ผ่านมา สร้างความเดือดร้อนให้แก่เกษตรกรเป็นอย่างมาก ยิ่งไปกว่านั้นมีการประมาณการว่าแหล่งแร่ฟอสเฟตที่มีอยู่ในโลกเพียงพอสำหรับการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตเพียงแค่นึ่งร้อยปีเท่านั้น (Cordell and white, 2008)

การลดก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรและการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืช เป็นประเด็นซึ่งมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกันและสามารถจัดการอย่างยั่งยืนแบบบูรณาการได้โดยการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลอย่างเหมาะสมและคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ แต่ที่ผ่านมาประเด็นข้างต้นถูกพิจารณา วางแผนและจัดการโดยหน่วยงานที่แตกต่างกันเช่น กระทรวงพลังงาน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยขาดการบูรณาการในการวางแผนจัดการ อาจทำให้เกิดปัญหาการแย่งชิงทรัพยากร ทรัพยากรมีราคาสูงขึ้นและมีการจัดการทรัพยากรอย่างไม่เหมาะสม

การศึกษาการจัดการทรัพยากรชีวมวลที่ผ่านมาของประเทศไทยเป็นการศึกษาในระดับมหภาคขาดข้อมูลการศึกษาในรายละเอียดเชิงลึกในระดับภูมิภาค ขาดการปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบันขาดรายละเอียดการประเมินศักยภาพทรัพยากรที่แท้จริงที่เหลือการจัดการและการใช้ประโยชน์ในปัจจุบันและการแย่งชิงทรัพยากร ขาดการวิเคราะห์และประเมินก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรและการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืช และยังขาดการพัฒนาฐานข้อมูลที่มีอยู่ให้เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

การวิจัยในครั้งนี้ซึ่งการศึกษาในรายละเอียดเชิงลึกในระดับภูมิภาค สํารวจข้อมูลและศึกษารายละเอียดการประเมินศักยภาพทรัพยากรที่แท้จริงที่เหลือการจัดการและการใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน รวมถึงพัฒนาข้อมูลให้เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจแบบบูรณาการ เพื่อการวิเคราะห์สมดุลมวลสารและก๊าซเรือนกระจกแบบบูรณาการซึ่งเป็นระบบสนับสนุนลักษณะที่ยังไม่มีการพัฒนาอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในประเทศไทย ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถใช้ในการจำลองสถานการณ์ (Scenario analysis) ที่ใช้เทคโนโลยีหรือแนวทางการจัดการในรูปแบบต่างๆหรือการเปลี่ยนนโยบายสนับสนุนของรัฐบาลในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1) ทราบสภาพปัญหาในการจัดการพื้นที่การเกษตร ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลในปัจจุบัน ศักยภาพพลังงานและธาตุอาหารในชีวมวลเหลือใช้ ประสิทธิภาพการหมุนเวียนพลังงานมวลสาร คาร์บอนและฟอสฟอรัสในเชิงพื้นที่ และ ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

2) ได้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งทำการประเมินทางเลือก การจัดการพื้นที่การเกษตรและชีวมวลด้วยแนวทางและเทคโนโลยีแบบต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงนโยบายสนับสนุนของรัฐในรูปแบบต่างๆ โดยวิธีวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง (Scenario Analysis) ซึ่งสามารถแสดงออกด้วยแผนภาพ และแผนที่สารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งง่ายต่อการเข้าใจของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการตัดสินใจ จึงสนับสนุนการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการตัดสินใจ

3) ได้แนวทางและเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนสำหรับการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืชอย่างยั่งยืน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การสร้างแบบจำลองแบบ Static คือใช้วัดผลฟลักซ์ของสสาร (Substance Flux) ใน 1 ปี
2. ขอบเขตพื้นที่การศึกษาคือเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบนโดยเน้นการจัดการพื้นที่นาข้าว
3. ทรัพยากรชีวมวลที่ศึกษาในครั้งนี้เน้นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากการผลิตข้าว
4. ก๊าซเรือนกระจกที่ศึกษาในโครงการนี้จำกัดเฉพาะก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมการเกษตรและการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยเน้นเฉพาะ CO_2 และ CH_4 เท่านั้น
5. ฟลักซ์ของคาร์บอนที่ศึกษาในโครงการจำกัดเฉพาะคาร์บอนที่เกี่ยวข้องกับชีวมวลและกระบวนการที่เกี่ยวข้องเท่านั้น
6. ธาตุอาหารพืชในโครงการนี้วิเคราะห์เฉพาะฟอสฟอรัสเท่านั้น
7. เป็นการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์เท่านั้น ไม่รวมการวิเคราะห์ด้านสังคม

1.4 แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.1 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการ ก๊าซเรือนกระจก และการจัดการชีวมวลเพื่อการนำกลับคืนและหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืช

ในด้านการประเมินวัฏจักรของคาร์บอนและก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่การเกษตร แบบจำลอง DNDC เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก DNDC เป็นแบบจำลอง ทางชีวธรณีเคมีวิทยา (Biogeochemical) ใช้ในการพยากรณ์การเก็บกักคาร์บอน (Carbon sequestration) และการปลดปล่อยของก๊าซจากพื้นที่การเกษตร DNDC ประกอบไปด้วยโมเดลย่อยๆ หกตัวได้แก่ โมเดล soil climate simulation, plant growth, decomposition, nitrification, denitrification และ fermentation DNDC ได้ถูกทดสอบและใช้สำหรับประเมินสมดุลมวลของคาร์บอนและไนโตรเจนใน

หลายประเทศทั่วโลก เช่น อเมริกา ยุโรป เอเชียและโอเชียเนีย ตลอดระยะเวลา 15 ปี ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า DNDC สามารถใช้ในการประเมินคาร์บอนอินทรีย์ในดินและการปลดปล่อยของก๊าซเรือนกระจกได้ในแทบทุกสภาวะอากาศและทุกชนิดดินและการจัดการดิน (Brown et al., 2002; Butterbach-Bahl et al., 2001; Cai et al., 2003; Grant et al., 2004; Kiese et al., 2004; Li et al., 1994; Zhang et al., 2006) โดย DNDC สามารถใช้เป็นแบบจำลองเพื่อหาข้อมูลเพื่อไปใช้ต่อใน Material Flow Model ได้

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการจัดการทรัพยากรชีวมวลและผลิตพลังงานชีวมวลได้ถูกพัฒนามาอย่างมากมายในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เครื่องมือที่ถูกใช้มากที่สุดคือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System (GIS)) เนื่องจากเครื่องมือชนิดนี้สามารถใช้ในการตอบปัญหาที่สำคัญที่จำเป็นในการจัดการทรัพยากรได้อย่างดี เช่น การประมาณปริมาณชีวมวลที่มีอยู่ในพื้นที่การวางตำแหน่งโรงไฟฟ้าชีวมวลที่เหมาะสม การวางแผนการขนส่งและจัดเก็บชีวมวล และการประเมินค่าใช้จ่าย (Noon and Daly, 1996; Mitchell, 2000; Voivontas et al., 2001) อย่างไรก็ตามการใช้ GIS เพื่อการประเมินการเคลื่อนย้าย การสะสม และสมดุลมวลของสสาร ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ GIS ของโครงการวิจัยนี้ ยังไม่ได้ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในประเทศไทย (Noon and Daly, 1996; Mitchell, 2000; Voivontas et al., 2001)

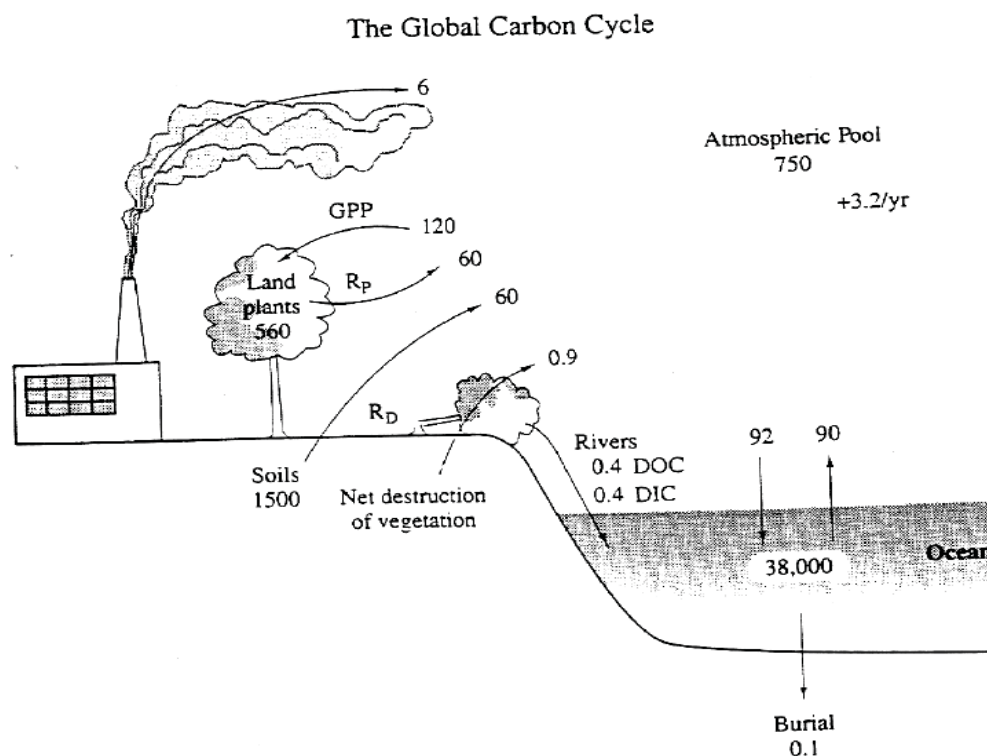
ในส่วนของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เน้นการการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆในการจัดการชีวมวลและการเกษตรและเปรียบเทียบหาแนวทางที่ดีที่สุด เครื่องมือที่นิยมใช้คือ Life Cycle Assessment (LCA) และ Material Flow Analysis (MFA) โมเดลด้านการจัดการของเสียชีวมวลที่มีนิยามกันอย่างแพร่หลายที่พัฒนาโดยใช้พื้นฐานของ LCA คือ ORWARE ซึ่งพัฒนามาจากประเทศสวีเดน (Sonesson et al., 2000; Eriksson et al., 2002) LCA สามารถประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้อย่างกว้างและครอบคลุมตั้งแต่ต้นจนจบโครงการ แต่มีข้อเสียคือค่อนข้างซับซ้อน ใช้เวลานานในการทำ ยากต่อคนทั่วไปจะเข้าใจและมีข้อจำกัดในการรวมเอาสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้นเข้ามาประเมินด้วย (Wrisberg and Haes, 2002; Birkeland and Schooneveldt, 2003) ในขณะที่ MFA สามารถนำมาใช้โดยการเลือกเฉพาะสสารและประเด็นที่สำคัญที่เป็นปัญหาในท้องถิ่นนั้น ทำให้ลดความซับซ้อนในการดำเนินการ และสามารถเห็นความเชื่อมโยงของสสารในแต่ละกระบวนการในพื้นที่ทำให้ง่ายต่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เป็นประเด็นสำคัญในพื้นที่นั้นพร้อมทั้งง่ายต่อการสืบค้นสาเหตุปัญหาเพื่อการปรับปรุงการจัดการ (Wrisberg and Haes, 2002; Birkeland and Schooneveldt, 2003) แบบจำลองด้าน MFA ส่วนมากไม่ได้มีการบูรณาการรวมในการวิเคราะห์ พลังงาน ธาตุอาหารและก๊าซเรือนกระจกไว้แบบจำลองเดียวกัน (Korhonen, 2002) งานวิจัยด้าน MFA บางชิ้นได้รวมเอาประเด็นข้างต้นมารวมกันแบบบูรณาการแต่ทำขึ้นเพื่อประเมินผลกระทบของโรงไฟฟ้าชีวมวลหลังจากสร้างเสร็จแล้วมากกว่าการใช้เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อประเมินทางเลือกในการจัดการ (Korhonen et al., 2001; Antikainen et al., 2004)

ในการประเมินทางเลือกในการจัดการทรัพยากรชีวมวลนั้น นอกจากทางด้านสิ่งแวดล้อมและการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ก็เป็นสิ่งสำคัญ เพื่อวัตถุประสงค์นี้ Cost-Benefit Analysis (CBA) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ทางด้านการนำกลับคืนพลังงานจากชีวมวลนั้น CBA มักจะวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของสิ่งแวดล้อม (externality) ที่เกี่ยวกับมลพิษทางอากาศเท่านั้น แต่ไม่ได้รวมถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่นการหมุนเวียนของฟอสฟอรัส และความสามารถในการเก็บกักและการปลดปล่อยของคาร์บอน (Carbon Sequestration and Emission) systems (European Commission 1995; European Commission 2005; Groscurth et al. 2000; Borjesson 1999; Diakoulaki and Karangelis 2007) ซึ่งแบบจำลองที่จะพัฒนาในโครงการวิจัยนี้จะเติมเต็มส่วนที่ขาดนี้เข้าไปด้วย นอกจากนั้นระบบสนับสนุนการตัดสินใจส่วนมากที่พัฒนาขึ้นในประเทศนั้นเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากรดินและน้ำเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร (เบญจพรหมและคณะ, 2548; เมธีและคณะ, 2548; อรรถชัยและคณะ 2547) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการจัดการทรัพยากรชีวมวลเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืชแบบบูรณาการไม่ปรากฏพบในการสืบค้นข้อมูลในประเทศไทย

1.4.2 วัฏจักรการหมุนเวียนของคาร์บอน คาร์บอนอินทรีย์ในดิน และการกักเก็บคาร์บอนในดิน

Carbon Cycle, Soil Organic Carbon and Carbon Sequestration

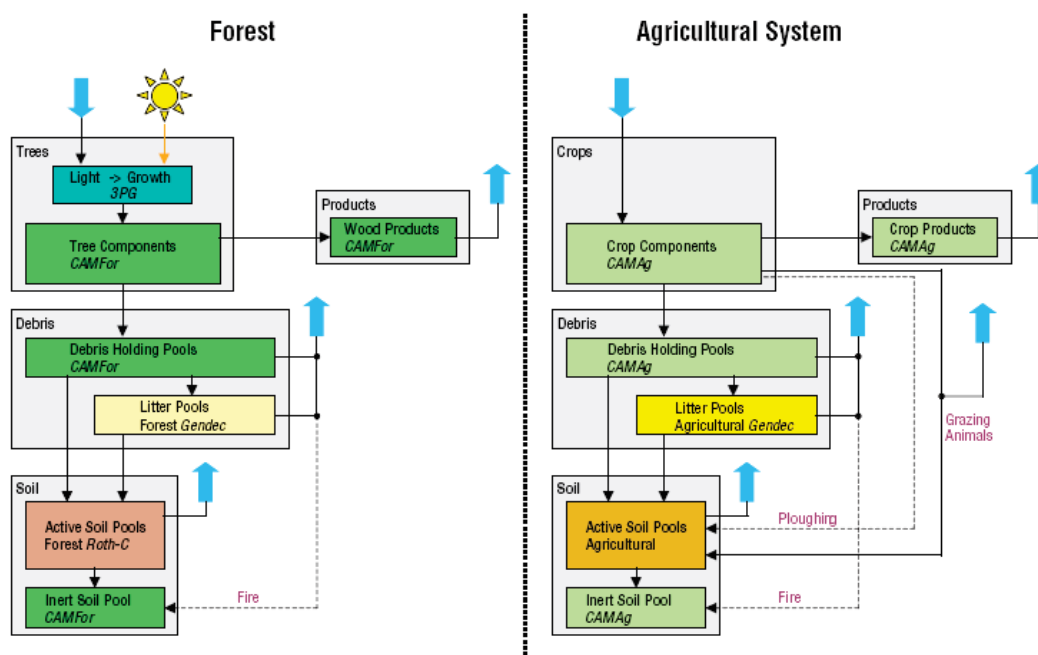
วัฏจักรของคาร์บอนเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและเป็นพลวัต (Dynamic) พืชนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 จากอากาศและแสงไปสร้างเนื้อเยื่อของพืชผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) พืชปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปสู่บรรยากาศผ่านกระบวนการหายใจ (Respiration (R_p)) เมื่อพืชหรือสัตว์ตายลงและซากพืชและสัตว์กลับคืนไปสู่ดิน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 หรือมีเทน CH_4 ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเหล่านี้ก็กลับคืนไปสู่ชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการหายใจของดิน (Soil respiration (R_d)) นอกจากนั้นคาร์บอนบางส่วนในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 หรือมีเทน CH_4 ก็กลับคืนไปสู่ชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการหายใจของสัตว์นั่นเอง (Schlesinger, 1996; Steinfeld et al., 2006) คาร์บอนสามารถเคลื่อนที่จากดินไปสู่แหล่งน้ำโดยกระบวนการไหลของน้ำท่าและการเคลื่อนที่ของตะกอนในมหาสมุทรนั้น แพลงตอนน้ำสามารถรับและปลดปล่อยคาร์บอน ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจและกระบวนการหายใจเช่นเดียวกัน (Schlesinger, 1996; Steinfeld et al., 2006)



รูปที่ 1.1 วัฏจักรการหมุนเวียนคาร์บอนของโลก ปริมาณที่แสดงทั้งหมดในรูปแสดงอยู่ในหน่วยของ 10^5 gC (Schlesinger, 1996)

ก่อนการแทรกแซงของมนุษย์การดูดซับและการปลดปล่อยของคาร์บอนโดยดินและพืชยังมีความสมดุลกันอยู่ (Schlesinger and Andrews, 2000) แต่การเปลี่ยนแปลงจากระบบธรรมชาติไปสู่เกษตรกรรมแผนปัจจุบันหรือแม้แต่การใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆของมนุษย์ส่งผลให้เกิดการสูญเสียของคาร์บอนจากดินถึง 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ไปสู่ชั้นบรรยากาศ (Kroodsma and Field, 2006) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งปลดปล่อยหลักของคาร์บอนไปสู่ชั้นบรรยากาศ (Gibson *et al.*, 2002) กิจกรรมของมนุษย์เหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดการไม่สมดุลของวัฏจักรคาร์บอนในปัจจุบันที่ผ่านมามีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศถึง 0.5% โดยประมาณตั้งแต่ปฏิวัติอุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (Gibson *et al.*, 2002) แบบจำลองการเคลื่อนที่และสมดุลมวลของคาร์บอนซึ่งพัฒนาโดย The National Carbon Accounting System (NCAS) ประเทศออสเตรเลีย แสดงอยู่ในรูป 1.2 (Australian Greenhouse Office, 2005b)

ปริมาณคาร์บอนในดินของโลกถูกประมาณการว่ามีปริมาณถึง 2 เท่าของปริมาณคาร์บอนในชั้นบรรยากาศและมีปริมาณถึง 3 เท่าของคาร์บอนในพืชและสัตว์ (Lal, 1997) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนอินทรีย์ในดิน Soil organic carbon (SOC) เพียงเล็กน้อยก็สามารถก่อให้เกิดผลกระทบอย่างมากต่อวัฏจักรคาร์บอนในโลก (Lal, 1997)



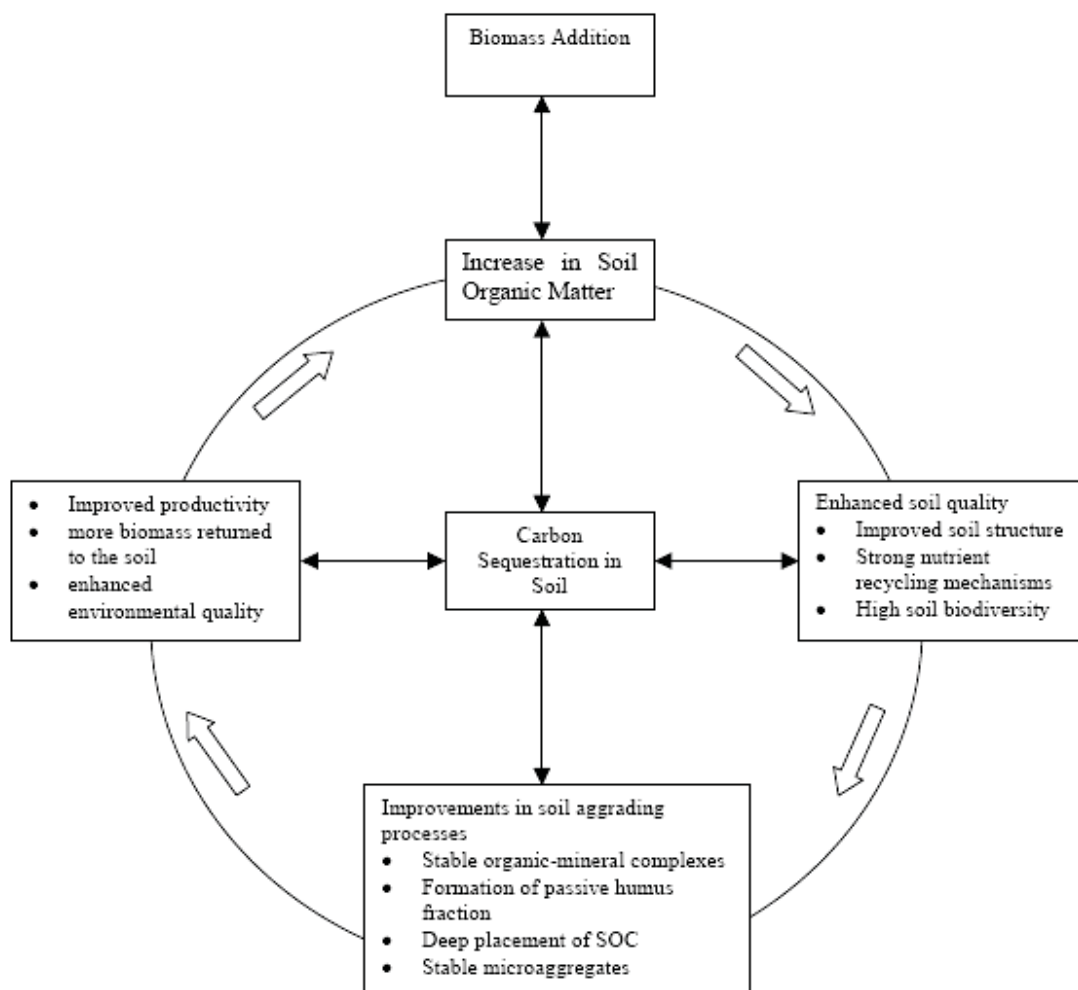
รูปที่ 1.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่และสมดุลมวลของคาร์บอน Full Carbon Accounting Model (FullCAM) (Australian Greenhouse Office, 2005b)

คาร์บอนอินทรีย์ในดิน Soil organic carbon (SOC) เป็นทรัพยากรที่มีค่าในดินเพราะเป็นส่วนสำคัญต่อองค์ประกอบทางกายภาพเคมีและชีวภาพในดิน ซึ่งช่วยในการรักษาความอุดมสมบูรณ์และคุณภาพในดินไว้ (Gibson *et al.*, 2002) การใช้ที่ดินและการจัดการที่ดินมีผลกระทบเป็นอย่างมากต่อระดับของ SOC การจัดการดินและพืชแบบดั้งเดิม เช่น การเผาตอซัง และการไถกลบหลาย ๆ ครั้งส่งผลให้เกิดการย่อยสลายในดินอย่างรวดเร็วและเกิดการเร่งปฏิกิริยาการปลดปล่อยสารอินทรีย์ในดินได้เร็วขึ้น ทำให้ดินสูญเสียคาร์บอนและความสมดุลตามธรรมชาติ

เทคนิคการจัดการชีวมวลและดินแบบซึ่งสามารถเพิ่มสารอินทรีย์คาร์บอนในดิน(Chan, 2008) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.1 การจัดการดินและชีวมวลเหลือทิ้งอย่างเหมาะสมซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มสารชีวมวลในดินการรีไซเคิลสารชีวมวลไปสู่ดิน เป็นการเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ในดินไม่เพียงแต่เป็นการแก้ไขปัญหาสภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงแต่เป็นการรักษาไว้ซึ่งประสิทธิภาพและความสมบูรณ์ของดินอีกด้วย กระบวนการเหล่านี้เป็นการส่งเสริมให้เกิดกระบวนการกักเก็บคาร์บอนในดิน (Carbon Sequestration) ซึ่งหมายถึงกระบวนการนำคาร์บอนออกจากชั้นบรรยากาศและเก็บกักไว้เป็นเวลานานหรือเป็นการ (ROU, 2007, p.87) ความสัมพันธ์ระหว่าง การเก็บกักคาร์บอนและคุณภาพดินแสดงอยู่ในรูปที่ 1.3 นอกจากนั้นเทคโนโลยีบางอย่างเช่น ไพโรไลซิส (Pyrolysis) และแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ซึ่งสามารถเปลี่ยนคาร์บอนอินทรีย์ในชีวมวลไปเป็นถ่านอินทรีย์ที่สามารถเก็บกักคาร์บอนไว้ได้อย่างค่อนข้างถาวร ดังนั้นกระบวนการนี้จึงมีศักยภาพสูงที่จะช่วยบรรเทาหรือแก้ไขปัญหาสภาวะอากาศเปลี่ยนแปลง (Climate change) (Lehmann *et al.*, 2006; Fowles, 2007)

ตารางที่ 1.1 การจัดการเพื่อเพิ่มระดับคาร์บอนอินทรีย์ในดินในภาคเกษตรกรรม,
(Chan, 2008)

Management category	Management practices to increase soil carbon
Crop management	Soil fertility enhancement Better rotation Erosion control Irrigation
Conservation tillage	Stubble retention Reduced tillage No-tillage
Organic amendments	Animal manure Green manure Recycled organics Organic char



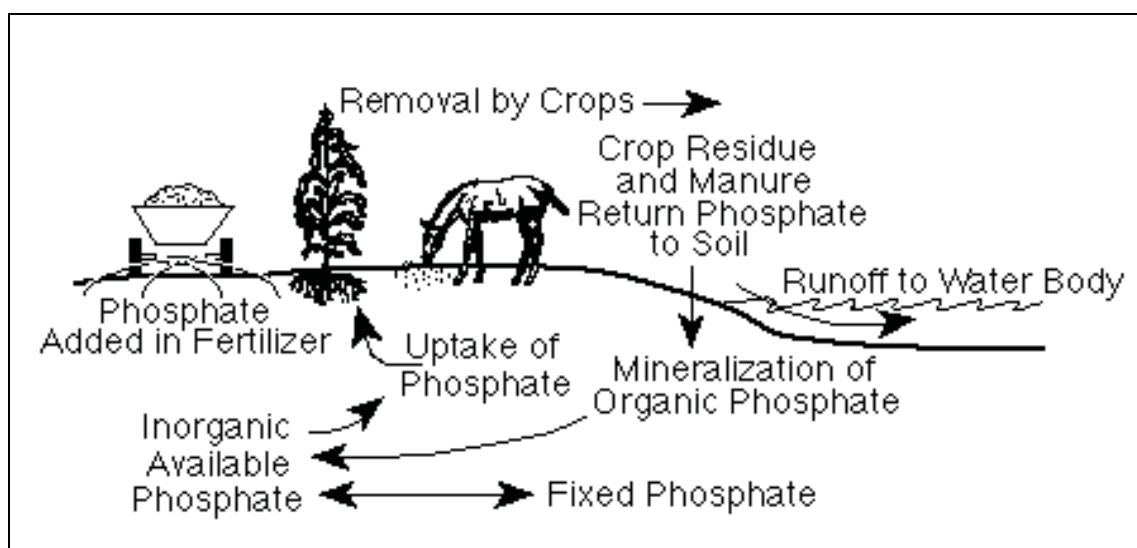
รูปที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ในดินในภาคเกษตรกรรมและคุณภาพของดิน (Lal, 1997)

การเก็บกักคาร์บอนในดิน (Soil carbon sequestration) ยังไม่ถูกรวมไว้ในระบบการวัดและการซื้อขายคาร์บอนในระดับนานาชาติ เนื่องจากความไม่แน่นอนในการวัด (Measurement uncertainties) เป็นเหตุผลหลัก อย่างไรก็ตามการนำประเด็นดังกล่าวมารวมไว้ในระบบการวัดและการซื้อขายคาร์บอนในระดับนานาชาติมีความเป็นไปได้ ขึ้นอยู่กับการเจรจาในการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศครั้งต่อไปว่าจะนำมารวมไว้ หลังจาก second commitment period (หลังจากปี 2012) อย่างไรก็ตาม การเก็บกักคาร์บอนในดินเป็นหนึ่งในแนวทางที่มีศักยภาพที่สุดในการบรรเทาปัญหาสภาวะอากาศเปลี่ยนแปลงและควรจะถูกรับรู้โดยผู้มีอำนาจตัดสินใจว่าเป็นแนวทางที่ควรจะนำไปเป็นกลยุทธ์ในการแก้ปัญหาดังกล่าว (Smith *et al.*, 2007).

1.4.3 วัฏจักรการหมุนเวียนของฟอสฟอรัสและการจัดการ

Phosphorus (P) Cycle and Management

ฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ และมนุษย์ (Johnston and Steen, 2000; Cordell and White, 2008) แม้ว่าฟอสฟอรัสจะเป็นธาตุที่มีปริมาณเป็นอันดับสิบเอ็ดในโลกแต่ในดินและน้ำก็พบความเข้มข้นเล็กน้อยในรูปของฟอสเฟตในดินและน้ำ (Johnston and Steen, 2000; Busman *et al.*, 2002) วัฏจักรของฟอสฟอรัสในระบบเกษตรกรรมและดินแสดงอยู่ในรูปที่ 1.4 พืชดูดซับฟอสเฟตจากดิน ฟอสฟอรัสถูกนำออกจากแปลงเกษตรเมื่อพืชถูกเก็บเกี่ยวไปจากพื้นที่การเกษตรหรือจากการกินของสัตว์ ฟอสเฟตกลับมาสู่ดินผ่านมูลสัตว์และเศษพืชที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว จุลินทรีย์ในดินก็ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์และฟอสเฟตก็ถูกปลดปล่อยอย่างช้าให้รากพืชดูดซับอีกครั้งหนึ่ง แต่ฟอสเฟตส่วนใหญ่ก็ถูกเปลี่ยนรูปไปในลักษณะที่ไม่สามารถถูกดูดซับด้วยพืชได้ และค่อยๆ แปลงกลับไปสู่รูปแบบที่พืชดูดซับได้เพียงปีละเล็กน้อย (Busman *et al.*, 2002)



รูปที่ 1.4: วัฏจักรของฟอสฟอรัสในระบบเกษตรกรรมและดิน

(Busman *et al.*, 2002)

วัฏจักรการหมุนเวียนฟอสฟอรัสตามธรรมชาติไม่เพียงพอสำหรับการเพาะปลูกในปริมาณมากแบบปัจจุบัน ดังนั้นปุ๋ยเคมีจึงเป็นแหล่งฟอสฟอรัสที่สำคัญในปัจจุบัน (Johnston and Steen, 2000) แต่เนื่องจากในปุ๋ยเคมีที่ใส่เข้าไปในดิน มีเพียงส่วนเดียวเท่านั้นซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ ในขณะที่แต่ฟอสเฟตส่วนใหญ่ก็ถูกเปลี่ยนรูปไปในลักษณะที่ไม่สามารถถูกดูดซับด้วยพืชได้ และค่อยๆ แปลงกลับไปสู่รูปแบบที่พืชดูดซับได้เพียงปีละเล็กน้อย (Price, 2006) ดังนั้นเกษตรกรจึงใส่ปุ๋ยในปริมาณมากกว่าหนึ่งเท่าของที่พืชต้องการเพื่อเร่งให้พืชดูดซับฟอสเฟตไปใช้มากๆ ส่งผลให้ มี

ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่รั่วไหลจากแปลงเกษตรไปสู่ลำน้ำผิวดิน ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

หินฟอสเฟตซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมีฟอสเฟตเป็นทรัพยากรที่ไม่มีหมุนเวียน ใช้แล้วสามารถหมดได้โดยไม่มีทดแทน ในโลกนี้มีหินฟอสเฟตซึ่งสามารถสกัดไปใช้ผลิตปุ๋ยเคมีได้เพียงไม่กี่ที่เท่านั้น (Seyhan, 2006) (Johnston and Steen, 2000). การเพิ่มขึ้นของประชากรโลก และการบริโภคเนื้อ นม ทำให้ต้องการอาหารสัตว์มากขึ้น รวมไปถึงการปลูกพืชพลังงาน ทำให้ปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากและอาจส่งผลให้หินฟอสเฟตสำรองที่มีในโลกหมดภายใน 50 ถึง 100 ปี (Cordell and White, 2008)

เพื่อจะอนุรักษ์ฟอสฟอรัส การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดหรืออีกทางเลือกหนึ่งคือการหาทางเลือกแหล่งฟอสฟอรัสจากแหล่งอื่น เช่นจากของเสียชีวมวลเช่นมูลสัตว์ มูลคน ปัสสาวะ ขยะอินทรีย์ ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่ง ฟอสเฟตได้ทันที (Cordell and White, 2008) ปัสสาวะเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชที่สะอาดและมีปริมาณมากที่สุดแหล่งหนึ่งซึ่งสามารถจัดเก็บได้จาก ห้องน้ำซึ่งมีระบบแยกปัสสาวะออกจากน้ำเสียอื่นๆ (Vinneras, 2002) ระบบซึ่งมีการแยกปัสสาวะ อูจาระ มีระบบทำความสะอาด (Sanitising) และนำกลับคืนไปใช้เป็นปุ๋ยในดินสามารถเป็นแหล่งฟอสฟอรัสที่สำคัญ และยังเป็นการลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากเมือง และลดอัตราการเกิดยูโทรฟิเคชัน (Vinneras, 2002).

การสูญเสียฟอสฟอรัสจากภาคการเกษตร ไปสู่แหล่งน้ำเกิดได้ทั้งจากมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่แน่นอน (Point source pollution) เช่นน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ และมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่ไม่แน่นอน (Non-point source pollution) เช่นน้ำไหลบ่าและตะกอนดิน (Johnston and Steen, 2000) Wortman *et al.* (2005) ได้แนะนำวิธีการจัดการเพื่อลดการสูญเสียฟอสฟอรัสจากพื้นที่เกษตรกรรม ดังต่อไปนี้

1. หลีกเลี่ยงการใส่ปุ๋ยมากเกินไปจนเกินปริมาณที่เหมาะสม
2. กำหนดโซนในการใช้ปุ๋ยเคมีและมูลสัตว์กรณีที่แปลงแต่ละแปลงมีความเสี่ยงในการสูญเสียฟอสฟอรัสต่างกัน
3. การใช้เอนไซม์ที่สามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้
4. ใส่ปุ๋ยหลังจากช่วงที่มีน้ำท่าไหลบ่ามากอย่างน้อยสามอาทิตย์
5. หลีกเลี่ยงการเล็มหญ้าของสัตว์และการไถกลบมากเกินไปก่อนการใส่ปุ๋ย
6. รักษาการคลุมดินด้วยหญ้าหรือเศษพืชที่เหลืออยู่ในแปลงเกษตรก่อนการใส่ปุ๋ย ซึ่งอาจทำได้โดยการไถกลบแบบอนุรักษ์ (Conservation tillage) หรือไม่ไถกลบเลย (No till practice)
7. การใช้พืชเป็นตัวกันหรือรับการไหลของน้ำท่าและชะลอการกัดกร่อนของหน้าดิน

1.4.4 ศักยภาพทรัพยากรชีวมวลในภาคเกษตรในประเทศไทยและเทคโนโลยีเพื่อการนำกลับมาใช้พลังงานและธาตุอาหาร

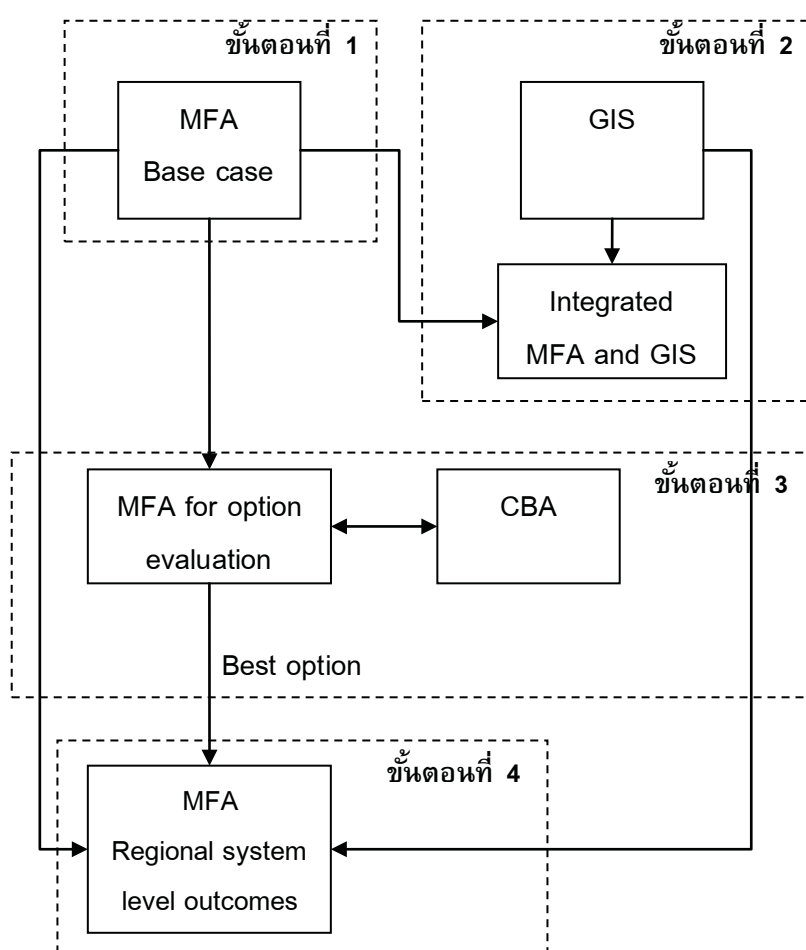
วัสดุชีวมวลเหลือใช้จากการเกษตรหลักๆ ในประเทศไทยประกอบด้วย ส่วนเหลือทิ้งจาก อ้อย (ส่วนยอด, ชานอ้อย), ข้าว (แกลบ, ฟางข้าว), ข้าวโพด (ต้นและใบ, ชังข้าวโพด), มันสำปะหลัง (ต้นและใบ, เหง้า), มะพร้าว (กะลา, เปลือก, ต้นและทะลาย), สับปะรด (ยอดสับปะรด), ปาล์ม (ใบปาล์ม, ทะลายปาล์ม, ทางปาล์ม, กะลาปาล์ม), ยางพารา (ไม้พิน, ขี้เลื่อย) (ชเนศ และคณะ, 2550) รัฐบาลไทยโดยกระทรวงพลังงานได้มีนโยบายที่จะใช้พลังงานจากชีวมวลให้ได้ร้อยละ 8 จากความต้องการพลังงานทั้งหมดภายในปี 2554 คิดเป็นจำนวน 6.5 เมกะตันน้ำมันดิบต่อปี แต่จากการศึกษาโดยชเนศและคณะ (2550) พบว่าแหล่งพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ชีวมวลในประเทศไทยมีศักยภาพที่จะผลิตพลังงานได้ถึง 17.1 เมกะตันน้ำมันดิบต่อปี ซึ่งมีศักยภาพเกือบสามเท่าจากที่รัฐบาลได้กำหนดนโยบายไว้

เทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์คือ การหมัก (Composting) ส่วนเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงานขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชีวมวล สำหรับชีวมวลที่มีความชื้นสูงเช่น มูลสุกร การหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเป็นวิธีที่เหมาะสม สำหรับชีวมวลที่มีความชื้นต่ำเช่น แกลบ สามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานโดยวิธีการเผาไหม้โดยตรง (Combustion), แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) และไพโรไลซิส (Pyrolysis) นอกจากนั้นแล้วผลผลิตทางอ้อม (By-products) จากกระบวนการเหล่านี้ ได้แก่ ปากตะกอนจากการหมักแบบไร้อากาศ (Digestate) และถ่านชีวมวล (Bio-char) จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันและไพโรไลซิส ยังสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้อีกด้วยเนื่องจากมีธาตุอาหาร (N, P, K) อยู่ (Kuo et al., 2006; Sims, 2002; Rutovitz and Passey, 2004)

2. วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

2.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ใช้การบูรณาการเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจหลายชนิดเข้าด้วยกันเพื่อให้สามารถข้ามพ้นข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจแต่ละชนิด เครื่องมือที่ถูกเลือกมาใช้ในโครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย Material Flow Analysis (MFA), Geographic Information System (GIS) และ Cost-Benefit Analysis (CBA) โดยที่ MFA จะถูกใช้เป็นเครื่องมือหลักและ GIS และ CBA จะถูกนำมาบูรณาการในขั้นตอนกลางและท้ายของการวิจัย โครงสร้างระเบียบวิธีวิจัยและการบูรณาการเครื่องมือต่างๆแสดงอยู่ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างระเบียบวิธีวิจัยและการบูรณาการเครื่องมือต่างๆ

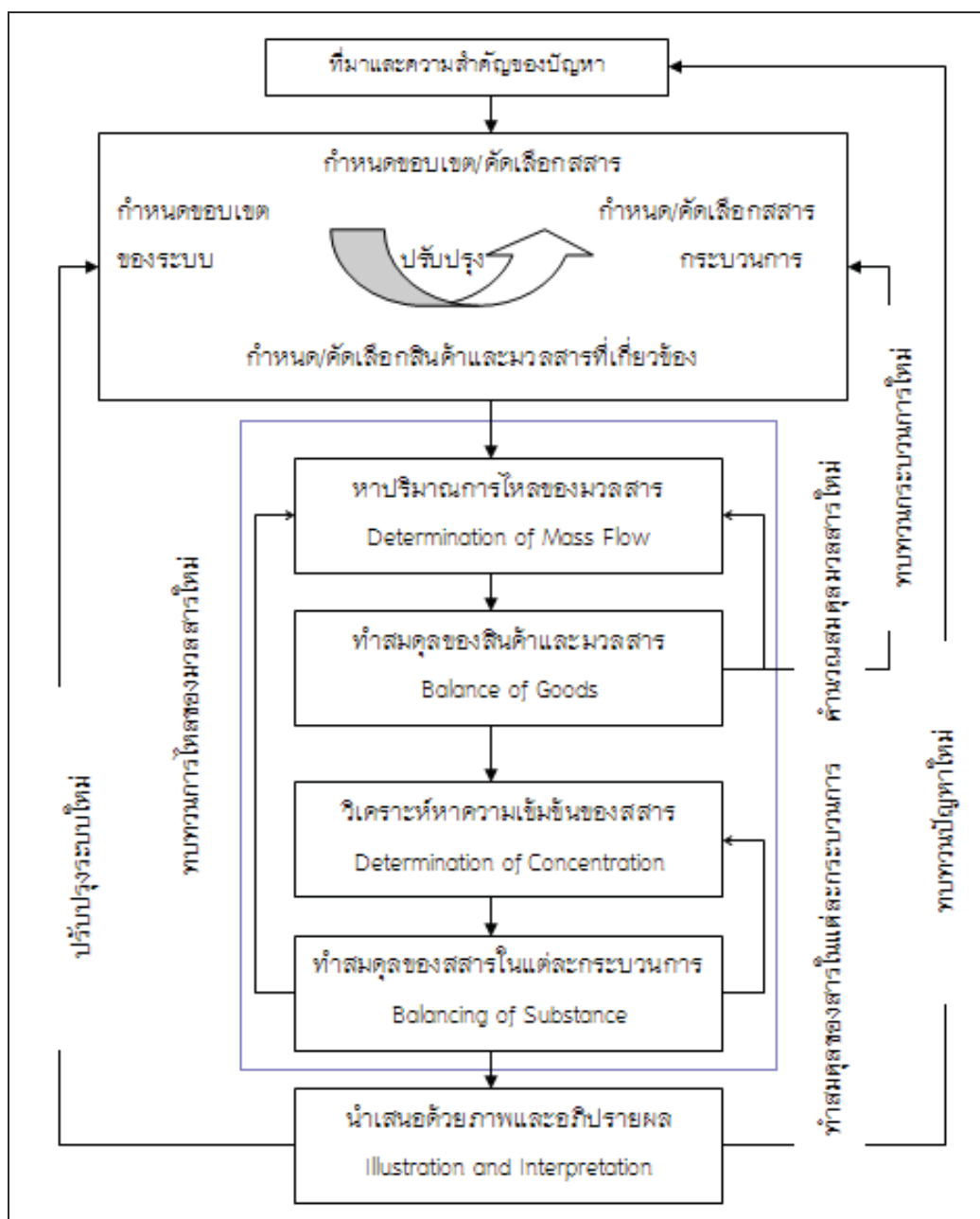
(กล่องที่เป็นเส้นทึบแสดงถึงส่วนประกอบของแบบจำลองแต่ละส่วน เส้นประแสดงขอบเขตของขั้นตอนในการวิจัยแต่ละขั้น ลูกศรแสดงถึงการเชื่อมโยงของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน)

โครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. การสำรวจข้อมูลภาคสนามและรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่มีอยู่ในประเทศไทยและจัดทำแบบจำลองการเคลื่อนที่และสมดุลพลังงานและมวลสาร (MFA) สำหรับ คาร์บอน ฟอสฟอรัส เพื่อการประเมินการหมุนเวียนสาร ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลในสถานการณ์ปัจจุบัน
2. การจัดทำฐานข้อมูลสมดุลพลังงานและมวลสาร สำหรับ คาร์บอน ฟอสฟอรัส ก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่การเกษตรและชีวมวลที่เกี่ยวข้อง ในเชิงพื้นที่ลงใน GIS เพื่อบูรณาการ MFA และ GIS เข้าด้วยกันเพื่อการประเมินและการเคลื่อนย้ายและสะสมมวลสารในเชิงพื้นที่การเกษตรที่มีการใช้ประโยชน์และการจัดการที่แตกต่างกัน
3. สำรวจและประเมินแนวทางและเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนสำหรับการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลเพื่อปรับปรุงการจัดการการเกษตร ดินและทรัพยากรชีวมวลในปัจจุบัน และวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง (Scenario Analysis) การจัดการทรัพยากรด้วยแนวทางและเทคโนโลยีแบบต่างๆ รวมทั้งวิเคราะห์สถานการณ์จำลองสำหรับการเปลี่ยนแปลงนโยบายสนับสนุนของรัฐในรูปแบบต่างๆ และคัดเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนโดยใช้การบูรณาการ MFA และ CBA
4. จัดทำแบบจำลองการเคลื่อนที่และสมดุลพลังงานและมวลสารสำหรับ คาร์บอน ฟอสฟอรัส ในเชิงพื้นที่โดยการบูรณาการ MFA และ GIS เพื่อการประเมินการหมุนเวียนสาร ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลในสถานการณ์ทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวล
5. จัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจในรูปแบบ Web base

2.2 การวิเคราะห์การไหลของสาร (Material Flow Analysis : MFA)

งานวิจัยนี้ใช้หลักการวิเคราะห์การไหลของสาร (Material Flow Analysis : MFA) เป็นหลักการสมดุลมวลสารซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนหลาย ๆ ขั้นตอน โดยมีขั้นตอนดังแสดงตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานโดยใช้หลักการวิเคราะห์การไหลของสาร
ที่มา: ดัดแปลงจาก Brunner and Rechberger

การวิเคราะห์การไหลของสาร สามารถใช้อธิบายถึงเส้นทางผ่านเข้า-ออกของสาร จากจุดที่สารนั้นเริ่มต้น ผ่านขั้นตอนทั้งหมดของกระบวนการผลิต นำไปใช้เป็นส่วนผสม หรือส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ สินค้าและบริการต่าง ๆ เพื่ออุปโภคบริโภค จนถึงขั้นตอนการจัด รวมถึง การปล่อยสารนั้นออกสู่สิ่งแวดล้อม ในรูปของมลพิษทางอากาศ ทางน้ำ และขยะ ของเสีย หลักในการวิเคราะห์ จะใช้หลักการทำ สมดุลมวลสาร (Mass balance) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐาน ของกฎการอนุรักษ์มวลว่า มวลสารไม่สูญหาย หรือถูกทำลายไป ถ้าพิจารณาระบบที่มีมวลสารไหลผ่านเข้า-ออก สมการทั่วไปของสมดุลมวลสาร ในแต่กระบวนการ (หน่วย) ย่อย และระบบรวมคือ

$$\text{สารที่สะสมในระบบ} = \text{สารที่เข้าสู่ระบบ} - \text{สารที่ออกจากระบบ}$$

การไหลของสารมีการคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้ (Brunner and Rechberger, 2004)

$$X_{ij} = M_{ij} \times C_{ij}$$

เมื่อ X = การไหลของสาร (ตัน/ปี หรือ กิโลกรัม/ปี)

M = การไหลของมวลสินค้า

C = ความเข้มข้นของสารในสินค้า

$i = 1, \dots, k$ บอกชนิดสินค้า

$j = 1, \dots, k$ บอกชนิดของสาร

การไหลของสารออกจากระบวนการที่มีความซับซ้อน และมีค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของกระบวนการมาเกี่ยวข้อง สามารถคำนวณได้โดยสมการดังต่อไปนี้ (Brunner and Rechberger, 2004)

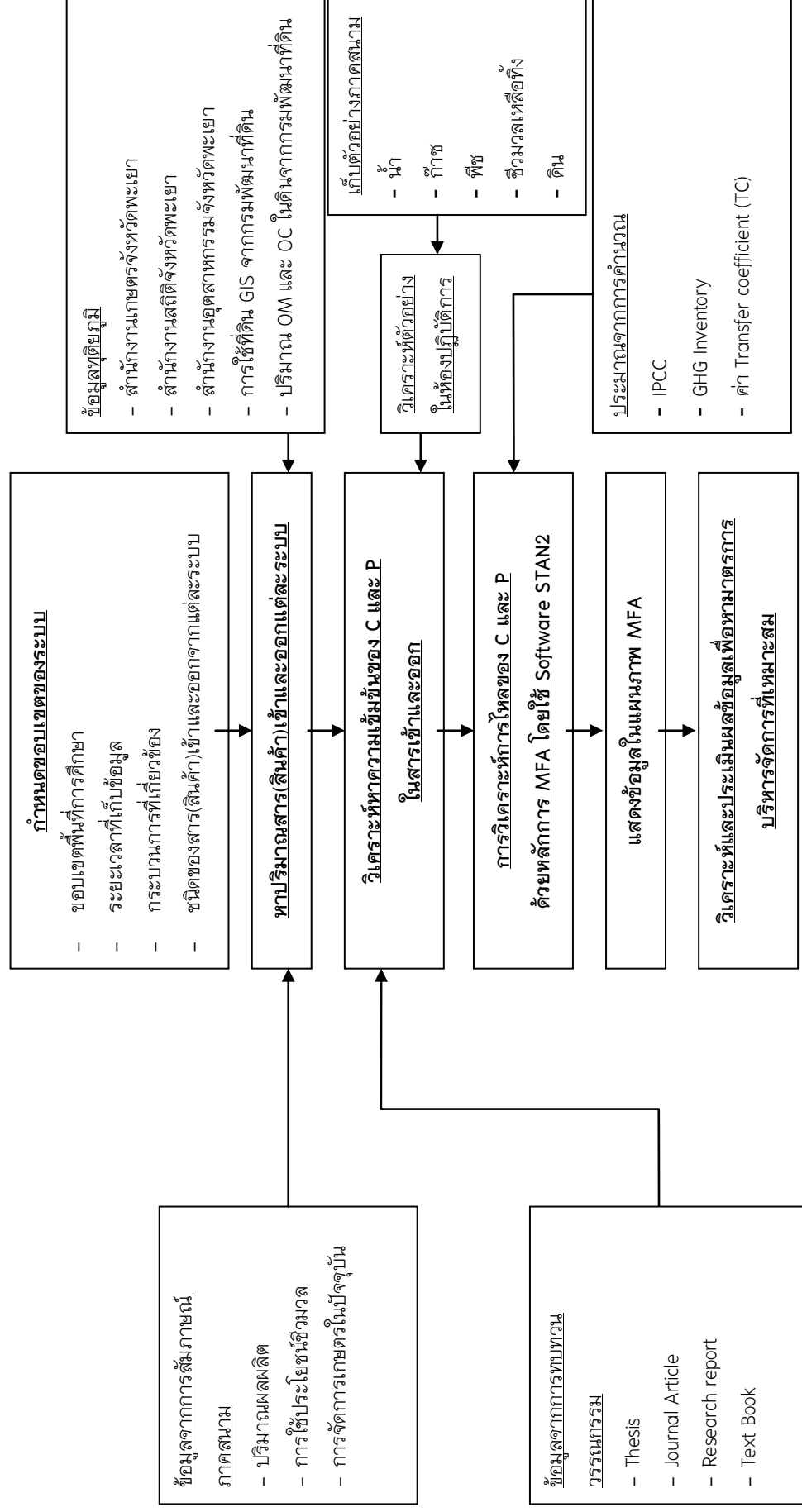
$$X_{\text{output}} = X_{\text{input}} \times TC$$

เมื่อ X_{output} = การไหลของสารที่ออกจากระบวนการ

X_{input} = การไหลของสารที่เข้าสู่กระบวนการ

TC = ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการของ MFA มาใช้ในการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงตามแผนผัง ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังขั้นตอนการทำแบบจำลอง MFA

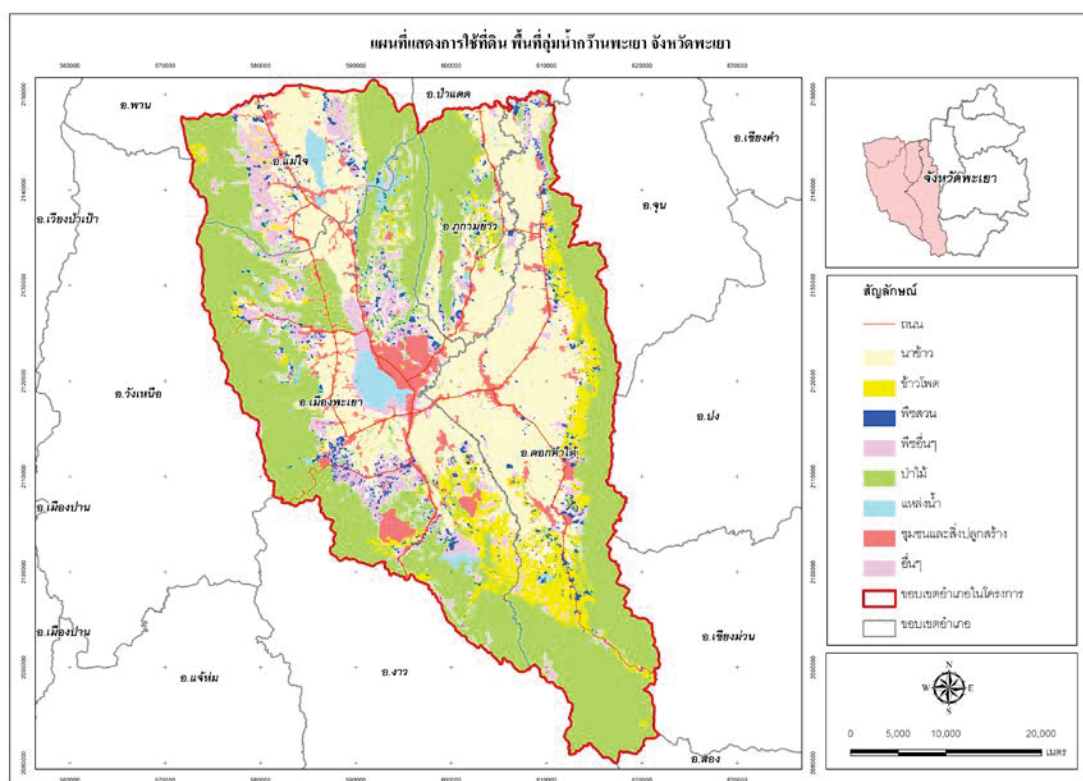
การกำหนดขอบเขตของระบบ

ในการวิเคราะห์การไหลของสารในระบบผลิตข้าวลุ่มน้ำกว๊านพะเยา มีการกำหนดขอบเขตดังนี้

ขอบเขตของระบบและพื้นที่ศึกษา

พื้นที่การศึกษานี้คือพื้นที่ในลุ่มน้ำกว๊านพะเยา ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมือง อำเภอแม่ใจ อำเภอภูกามยาว และอำเภอดอกคำใต้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 พื้นที่ดังกล่าวมีพื้นที่ประมาณ 475,450 ไร่ คิดเป็น 76,072 เฮกตาร์ มีประชากรอาศัยอยู่ทั้งสิ้น 255,623 คน คิดเป็น 91,871 ครัวเรือน ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมอาชีพหลัก คือ การปลูกข้าว และปลูก ข้าวโพด ถั่วลิสง และลำไย แต่ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของการปลูกข้าว

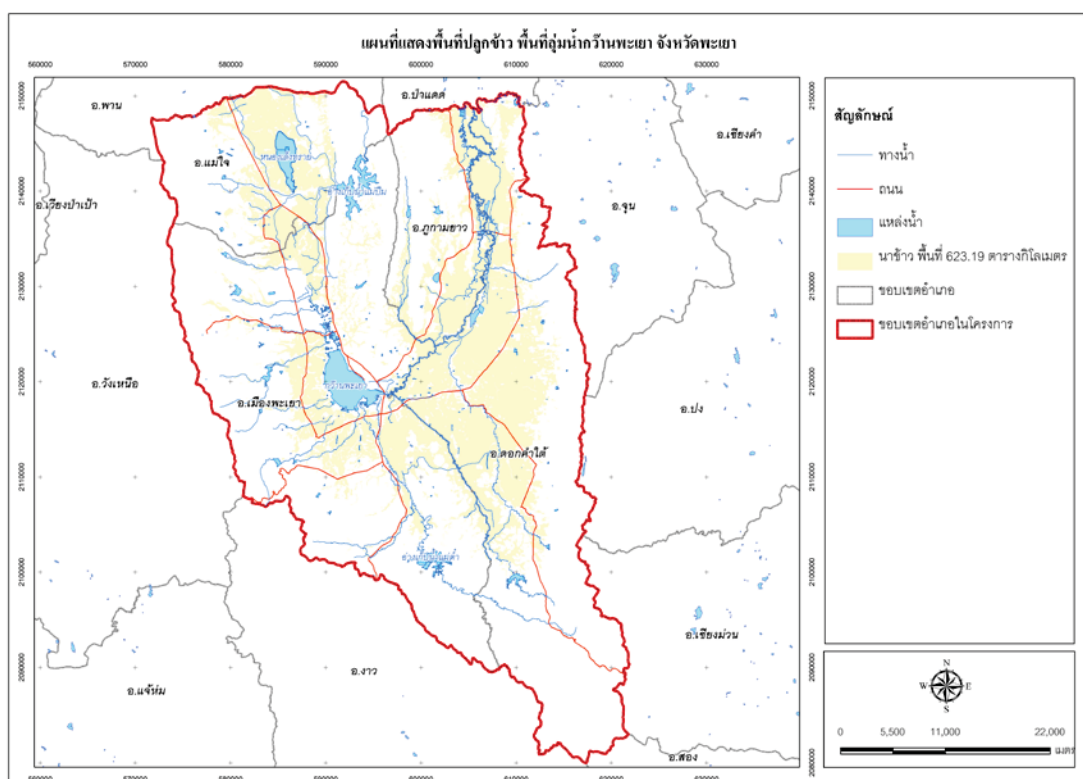
โดยพื้นที่จะมีลักษณะเป็นที่ราบอยู่ตอนกลางและล้อมรอบไปด้วยภูเขา ดินมีสภาพความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง จะเห็นได้ว่าพื้นที่ ที่เหมาะสำหรับการปลูกข้าวคือพื้นที่ในส่วนของอำเภอเมือง และอำเภอดอกคำใต้เป็นส่วนใหญ่ ปริมาณฝนเฉลี่ยต่อปีประมาณ 1,100 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 25.5 องศาเซลเซียส โดยระยะเวลาการเก็บข้อมูลคือ 1 ปี คือในปี 2553 โดยมีขอบเขตพื้นที่ศึกษาและแผนที่แสดงการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 2.4 ขอบเขตของงานวิจัย

นาข้าวในพื้นที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 2.5 ส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 90 จะเป็นนาปี เกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการผลิตข้าวเจ้าหอมมะลิเพื่อการจำหน่ายและข้าวเหนียวจะผลิตเพื่อการบริโภคในครัวเรือนเป็นส่วนใหญ่และจำหน่ายหากเหลือจากการบริโภค ข้าวหอมมะลิของจังหวัดพะเยา จัดว่า

เป็นข้าวหอมมะลิที่มีคุณภาพดี พันธุ์ข้าวหอมมะลิที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข 15 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6

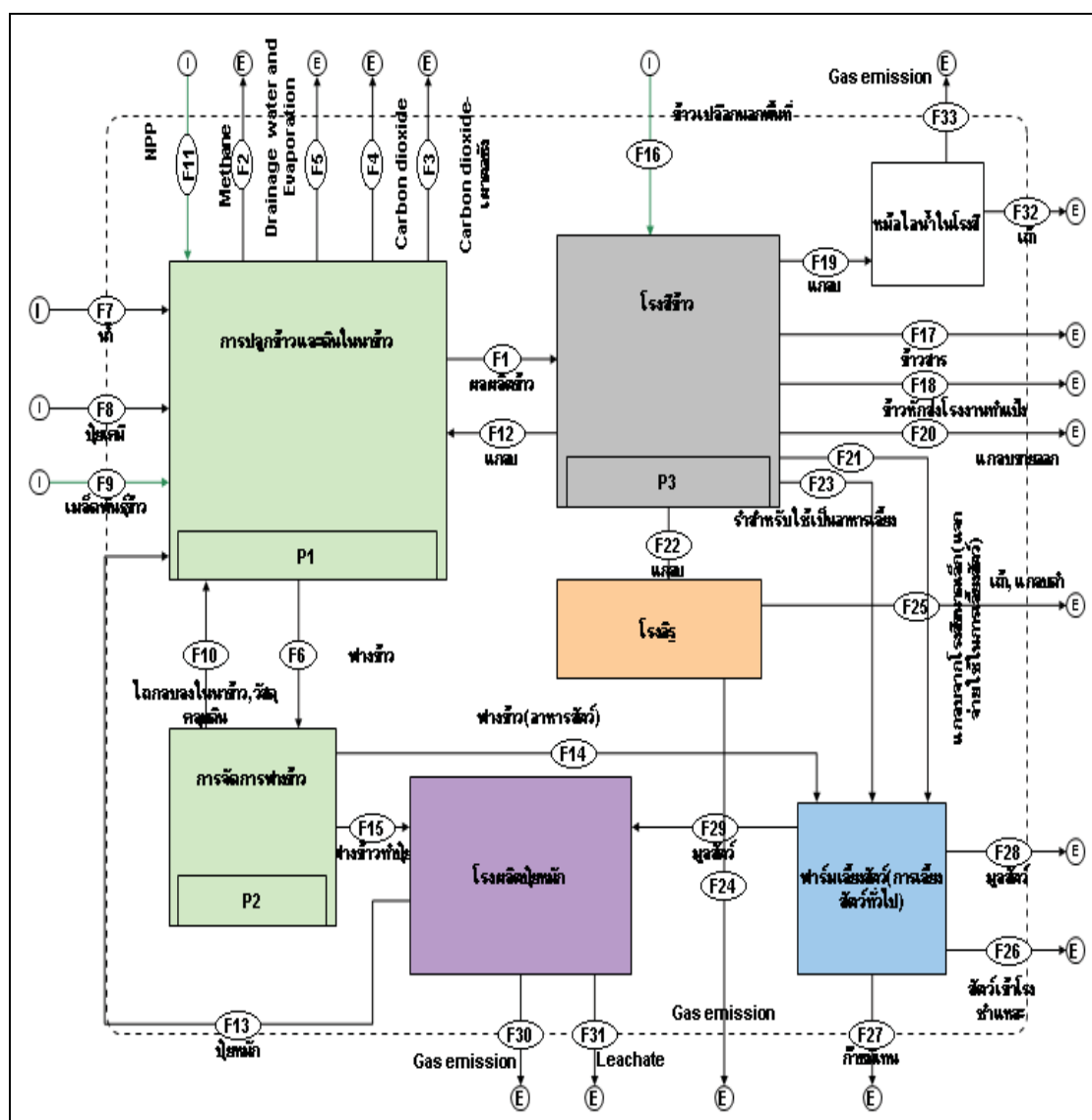


รูปที่ 2.5 พื้นที่การศึกษาของงานวิจัย

ลักษณะการใช้ที่ดินตลอดทั้งปีในพื้นที่การศึกษา ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน เป็นช่วงพักนา ช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายน เป็นช่วงการปลูกข้าวนาปี และช่วงเดือนธันวาคมเป็นช่วงพักนา

กระบวนการที่เกี่ยวข้องและชนิดของสารเข้าและออกจากแต่ละระบบ

กระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ในพื้นที่การศึกษาของงานวิจัยนี้ จะประกอบไปด้วยกระบวนการ และกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบการปลูกข้าว ดิน การแปรรูปผลผลิตข้าว ได้แก่ การสีข้าว รวมถึงกระบวนการที่นำวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวไปใช้ เช่น การผลิตปุ๋ยหมักและการผลิตอาหารสัตว์ การเลี้ยงสัตว์ โดยกระบวนการต่าง ๆ นี้ มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.6 และในตาราง 2.1



รูปที่ 2.6 ขอบเขตการไหลของสารในระบบผลิตข้าวลุ่มน้ำกว๊าน

ตาราง 2.1 แสดงกระบวนการของระบบและสารเข้าและสารออกที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการ	ลักษณะของกิจกรรม สารเข้าและสารออก
การปลูกข้าวและดินในพื้นที่นาข้าว	เกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการผลิตข้าวเจ้าหอมมะลิเพื่อการจำหน่ายและข้าวเหนียวจะผลิตเพื่อการบริโภคในครัวเรือนเป็นส่วนใหญ่ และจำหน่ายหากเหลือจากการบริโภค ข้าวหอมมะลิของจังหวัดพะเยา จัดว่าเป็น ข้าวหอมมะลิที่มีคุณภาพดี พันธุ์ข้าวหอมมะลิที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข 15 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 โดย การทำนาปลูกข้าวส่วนใหญ่เป็นนาปี จะมีบางพื้นที่ ที่ทำนาปรังได้เนื่องจากอยู่ใกล้แหล่งน้ำ กระบวนการปลูกข้าว มีสารที่เข้าสู่ระบบประกอบไปด้วย เมล็ดพันธุ์ข้าว และปุ๋ย สารที่ออกจากระบบได้แก่ ผลผลิตข้าวเปลือก (ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังโรงสีในพื้นที่) ฟางข้าว คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาตอซังข้าว ซึ่งคิดเป็นส่วนน้อยจากพื้นที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่ในพื้นที่จะใช้วิธีไถกลบในพื้นที่นาข้าว เนื่องจากมีการรณรงค์ลดการเผาตอซังอย่างต่อเนื่อง สารที่ออกจากระบบอีกส่วนหนึ่งคือการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว จากการย่อยสลายแบบไร้อากาศของตอซังหรือเศษหญ้าที่ถูกไถกลบในนาข้าว ดินในพื้นที่ศึกษาเป็นดินที่มีชุดดินหลากหลายในแต่ละพื้นที่ อย่างไรก็ตาม มี 3 ชุดดินที่ครองพื้นที่ส่วนใหญ่ในพื้นที่นาข้าวในพื้นที่ศึกษาซึ่งได้แก่ ชุดดินพาน ชุดดินหางดง และชุดดินเชียงราย
การจัดการฟางข้าว	ฟางข้าว คือส่วนที่เกี่ยวข้องออกมาพร้อมกับผลผลิตข้าว ในพื้นที่ศึกษามีการเกี่ยวออกมาทั้งสองแบบคือใช้แรงงานคนและใช้รถเกี่ยวข้าว ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้รถเกี่ยวข้าว การเกี่ยวด้วยแรงงานคนฟางจะถูกนำไปมัดรวมกันไว้เป็นกองเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป แต่การเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวข้าว ฟางข้าวจะถูกฟ่นออกมาที่ท้ายเครื่องและกระจายอยู่ทั่วนา และส่วนมากจะถูกไถกลบลงดิน ฟางในพื้นที่นี้ส่วนใหญ่จะไม่ถูกเผาแต่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ได้แก่ เป็นวัสดุคลุมดินเพื่อปลูกพืชอื่น เช่น หอม กระเทียม, การนำไปเป็นอาหารสัตว์ ทำปุ๋ยอินทรีย์ และบางส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ก็จะปล่อยทิ้งไว้ในนาข้าว หรือไถกลบในนาข้าว

ตาราง 2.1 (ต่อ)

กระบวนการ	ลักษณะของกิจกรรม สารเข้าและสารออก
การสีข้าว	จากการสำรวจโรงสีข้าวในพื้นที่ศึกษาพบว่า ในการสีข้าวเปลือกจะได้ข้าวสาร ปลายข้าว รำข้าว และแกลบ ส่วนมากข้าวสารและปลายข้าวจะนำไปขาย ส่วนรำข้าวก็จะขายเป็นอาหารของสัตว์ในราคา 8-10 บาท ส่วนแกลบที่มีสัดส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการสีข้าวจำนวน 21 % ซึ่งในปัจจุบันการใช้ประโยชน์การแกลบมีจำนวนมากและยังมีราคา 0.80 – 1.20 บาท/กิโลกรัม แต่ยังมีโรงสีข้าวที่มีขนาดเล็กจะไม่นำไปขายแต่จะแจกให้ชาวบ้านบริเวณชุมชนนำไปใช้ประโยชน์ทั้งหมด จากการสำรวจแกลบจากโรงสีข้าว จะนำไปใช้ประโยชน์หลัก ๆ คือ โรงสีข้าวที่มีขนาดใหญ่ - ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงสีข้าวเอง โดยนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำของโรงสีมีจำนวน 15 แห่ง - โรงสีข้าวแม่โจระโฮติ นำไปขายเป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงงานปูนซีเมนต์ ในจังหวัดลำปาง - โรงสีสหกรณ์ต่าง ๆ นำไปขายให้กับโรงงานอุตสาหกรรม ในจังหวัดเชียงราย และโรงอบลำไยในจังหวัด โรงสีขนาดกลาง - ขายให้กับโรงงานอิฐในจังหวัด - ขายให้กับโรงเผาถ่านในจังหวัด โรงสีขนาดเล็ก - นำไปปรับสภาพดิน - ผสมอาหารสัตว์
การเลี้ยงสัตว์	การเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดพะเยา ส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยงเพื่อการบริโภคในครัวเรือนและเพื่อใช้แรงงาน การทำฟาร์มขนาดใหญ่เพื่อการค้ามีไม่มากนัก ส่วนใหญ่จะเป็นกิจการขนาดเล็ก และเป็นการเลี้ยงแบบรายย่อยกระจายอยู่ในทุกพื้นที่ทั่วไป สัตว์ที่นิยมเลี้ยงกันมาก ได้แก่ โคเนื้อ กระบือ สุกร ไก่พื้นเมือง ไก่เนื้อ ไก่ไข่ เป็ดเนื้อ เป็ดไข่ และเป็ดเทศ อาหารสัตว์คือสารขาเข้าหลักที่เข้ามาในระบบ โดยส่วนมากจะมาจากชีวมวลเหลือทิ้งจากห่วงโซ่การผลิตข้าว ได้แก่ ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบสำหรับโคและกระบือ รำและปลายข้าว เป็นอาหารสำหรับสุกร ข้าวเปลือกและแกลบเป็นอาหารสำหรับเป็ดและไก่ นอกจากนั้น แกลบยังใช้เป็นวัสดุรองพื้นคอกของสัตว์ต่าง ๆ ในพื้นที่อีกด้วย

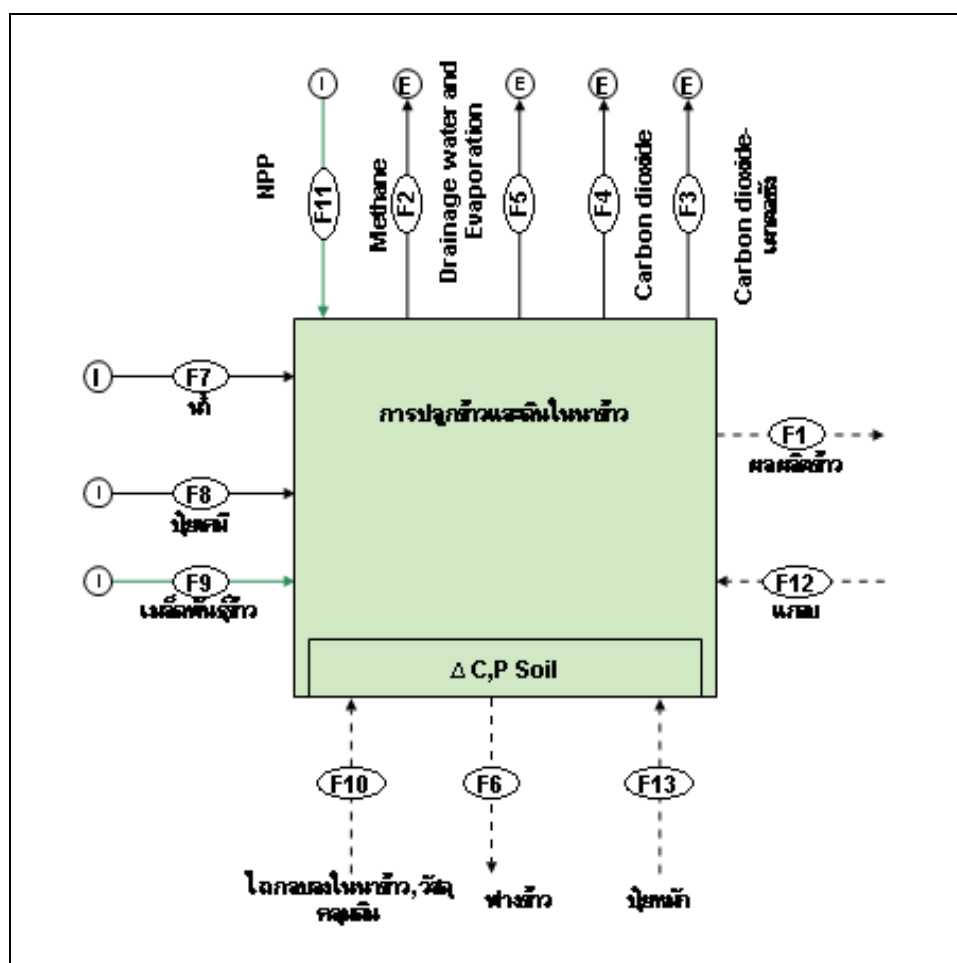
ตาราง 2.1 (ต่อ)

กระบวนการ	ลักษณะของกิจกรรม สารเข้าและสารออก
การผลิตอิฐ ดินเผา	ในพื้นที่ศึกษามีโรงอิฐขนาดใหญ่อยู่ 3 โรง ที่บ้านแม่ใส ตำบลแม่นาเรื่อ 2 โรง และที่บ้านจำปาหวาย ตำบลจำปาหวาย อำเภอเมือง โดยมีกำลังการผลิต ประมาณ 11 ก้อนต่อปี ใช้วัตถุดิบที่เป็นดินดำ และมีสารขาเข้าคือแกลบที่ได้จาก โรงสีข้าวขนาดกลาง
การผลิตปุ๋ย หมัก (โดยใช้ ฟางข้าวเป็น วัตถุดิบ)	ในพื้นที่ศึกษามีโรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์ขนาดใหญ่อยู่ 1 โรง ที่อำเภอ ดอก หมัก (โดยใช้ ฟางข้าวเป็น วัตถุดิบ) คำใต้ โดยมีกำลังการผลิตประมาณ 500 ตันต่อปี ใช้วัตถุดิบที่เป็นสารขาเข้าคือ ฟางข้าวและมูลโคกระบือบริเวณใกล้เคียง ผลผลิตที่ได้ส่วนมากจะถูกใช้ภายใน พื้นที่ใกล้เคียง ในส่วนของการผลิตปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักใช้เองในพื้นที่นาของ ตัวเองมีค่อนข้างน้อยมาก

การหาปริมาณสารขาเข้า-ออกจากแต่ละระบบ และวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ C และ P
ในสารเข้าและออก

กระบวนการปลูกข้าวและดินในนาข้าว

การหาข้อมูลของการไหลของมวลของสินค้าและความเข้มข้นของสารในกระบวนการนา
ข้าวและดินในนาข้าว งานวิจัยฉบับนี้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสารทาง
วิชาการและรายงานต่าง ๆ มากมาย อย่างไรก็ตามเพื่อความถูกต้องและลดความไม่แน่นอนของ
ข้อมูล จึงได้ทำการลงพื้นที่สอบถามเกษตรกรโดยตรง ในกรณีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่ง
อื่นๆ ได้นำเสนอในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สารขาเข้าและออกของกระบวนการปลูกข้าว

สมการคำนวณสารขาออก (Equation for output flows)

F_{C_1} = การไหลของคาร์บอนในรูปผลผลิตข้าวเปลือกเข้าไปที่โรงสีข้าวในพื้นที่ (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_1} = \text{Rice} \times C_{\text{paddy}}$$

โดย Rice คือ ปริมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำ (ton/year)

C_{paddy} คือ สัดส่วนของคาร์บอนในข้าวเปลือก

F_{P_1} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปผลผลิตข้าวเปลือกเข้าไปที่โรงสีข้าวในพื้นที่ (ตัน P/ ปี)

$$F_{P_1} = \text{Rice} \times P_{\text{paddy}}$$

โดย P_{paddy} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสในข้าวเปลือก

F_{C_2} = การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากนาข้าว (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_2} = \text{Empa} \times A_{\text{paddy}} \times 12/16 \times \text{Factor adjust}$$

โดย Empa คือ Emission of methane per area (ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน)
($\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$)

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

12/16 คือ อัตราส่วนปริมาณ C ในก๊าซมีเทน

Factor adjust = 606/974 เป็นค่าใช้ปรับค่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากแปลงนาในพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่าง เป็นค่าการปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยต่อทั้งพื้นที่ศึกษา (ค่าผลผลิตในแปลงนาที่เก็บตัวอย่าง = 947 กก./ไร่, ค่าผลผลิตของทั้งพื้นที่ศึกษา = 606 กก./ไร่)

Fc_4 = การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดิน (ตัน C/ ปี)

$$Fc_4 = Fc_{4_paddy} + Fc_{4_fallow}$$

โดยที่ Fc_{4_paddy} คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินในช่วงการปลูกข้าว

Fc_{4_fallow} คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินในช่วงพักนา

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินในช่วงการปลูกข้าว

$$Fc_{4_paddy} = Ecpa_{\text{paddy}} \times A_{\text{paddy}} \times 12/44 \times \text{Factor adjust}$$

โดย $Ecpa_{\text{paddy}}$ คือ Emission of carbon dioxide per area during rice cultivation (ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ในช่วงทำนา) ($\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$)

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

12/44 คือ อัตราส่วนปริมาณ C ในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Factor adjust = 606/974 เป็นค่าใช้ปรับค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแปลงนาในพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่าง เป็นค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยต่อทั้งพื้นที่ศึกษา (ค่าผลผลิตในแปลงนาที่เก็บตัวอย่าง = 947 กก./ไร่, ค่าผลผลิตของทั้งพื้นที่ศึกษา = 606 กก./ไร่)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินในช่วงพักนา

$$Fc_{4_fallow} = Ecpt_{\text{fallow}} \times A_{\text{paddy}} \times 12/44 \times \text{Factor adjust}$$

โดย $Ecpt_{\text{fallow}}$ คือ Emission of carbon dioxide per square meter (ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรในช่วงพักนา)

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

12/44 คือ อัตราส่วนปริมาณ C ในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Factor adjust = 606/974

เป็นค่าใช้ปรับค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแปลงนาในพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่าง เป็นค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยต่อทั้งพื้นที่ศึกษา (ค่าผลผลิตในแปลงนาที่เก็บตัวอย่าง = 947 กก./ไร่, ค่าผลผลิตของทั้งพื้นที่ศึกษา = 606 กก./ไร่)

F_{c_3} = การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการเผาตอซังและฟางข้าว (ตัน C/ปี)

$$F_{c_3} = \text{Straw} \times C_{\text{straw}} \times R_{\text{stubble}} \times TC_{\text{op}} \times P_{\text{sb}}$$

โดย Straw คือ ปริมาณฟางข้าวทั้งหมด = $F_{c_1} \times R_{s/s}$

$R_{s/s}$ คือ สัดส่วนฟางข้าวต่อผลผลิตข้าว

C_{straw} คือ สัดส่วนคาร์บอนในฟางข้าว

R_{stubble} คือ สัดส่วนตอซังข้าวต่อฟางข้าว

TC_{op} คือ สัดส่วนการปล่อยสู่บรรยากาศ

P_{sb} คือ เปอร์เซนต์ตอซังข้าวที่ถูกเผา

F_{c_5} = การไหลของคาร์บอนในรูป Drainage water (ตัน C/ ปี)

$$F_{c_5} = (W_d \times C_{\text{water}}) / 10^6$$

โดย W_d คือ ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากริชาในพื้นที่ลุ่มน้ำ (ลิตร/ปี)

C_{water} คือ Concentration of TOC ใน Drainage water

F_{p_5} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูป Drainage water (ตัน P/ ปี)

$$F_{p_5} = (W_d \times P_{\text{water}}) / 10^6$$

โดย W_d คือ ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากริชาในพื้นที่ลุ่มน้ำ (ลิตร/ปี)

P_{water} คือ Concentration of phosphorus ใน Drainage water

สมการคำนวณสารขาเข้า (Equation for input flows)

F_{c_7} = การไหลของคาร์บอนในรูปน้ำใช้สำหรับนาข้าวทั้งหมด (ตัน C/ ปี)

$$F_{c_7} = W_u \times A_{\text{paddy}} \times C_{\text{uw}}$$

โดย W_u คือ ปริมาณที่ใช้ต่อไร่ของนาข้าว (ลบ.ม./ไร่/ปี)

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

C_{uw} คือ สัดส่วนของคาร์บอนในน้ำใช้

F_{p_7} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปน้ำใช้สำหรับนาข้าวทั้งหมด (ตัน P/ ปี)

$$F_{p_7} = W_u \times A_{\text{paddy}} \times P_{\text{uw}}$$

โดย W_u คือ ปริมาณที่ใช้ต่อไร่ของนาข้าว (ลบ.ม./ไร่/ปี)

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

p_{uw} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสในน้ำใช้

F_{C_8} = การไหลของคาร์บอนในรูปปุ๋ยที่ใช้ในนาข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_8} = Fer \times A_{paddy} \times C_{fer}$$

โดย $F_{C_{urea}}$ คือ ปริมาณปุ๋ยเคมี(ปุ๋ยยูเรีย($CO(NH_2)_2$)) ที่ใช้เฉลี่ยต่อไร่ (ตัน/ไร่)

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

C_{fer} คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในปุ๋ยยูเรีย

F_{P_8} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปปุ๋ยที่ใช้ในนาข้าวพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตัน P/ ปี)

$$F_{P_8} = Fer \times A_{paddy} \times P_{uw}$$

โดย F_{P_8} คือ ปริมาณปุ๋ยเคมี(สูตร 16-20-0) ที่ใช้เฉลี่ยต่อไร่ (ตัน/ไร่)

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

P_{fer} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในปุ๋ยเคมี

F_{C_9} = การไหลของคาร์บอนในรูปเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_9} = Seed \times A_{paddy} \times C_{seed}$$

โดย $Seed$ คือ ปริมาณเมล็ดพันธุ์ที่ใช้เฉลี่ยต่อไร่ (ตัน/ไร่)

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

C_{seed} คือ สัดส่วนของคาร์บอนในเมล็ดพันธุ์ (dry weight)

$C_{seed.wet}$ คือ สัดส่วนของคาร์บอนในเมล็ดพันธุ์

F_{P_9} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตัน P/ ปี)

$$F_{P_9} = Seed \times A_{paddy} \times P_{seed}$$

โดย $Seed$ คือ ปริมาณเมล็ดพันธุ์ที่ใช้เฉลี่ยต่อไร่ (ตัน/ไร่)

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

P_{seed} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในเมล็ดพันธุ์ (dry weight)

$P_{seed.wet}$ คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสในเมล็ดพันธุ์

$F_{C_{10}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปฟางข้าวที่ทิ้งไว้ในแปลงนา (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_{10}} = F_{C_6} - F_{C_{14}} - F_{C_{15}}$$

โดย F_{C_6} คือ ปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวทั้งหมด (หักส่วนที่ถูกเผาแล้ว)

$$F_{C_6} = (Straw \times C_{straw}) - F_{C_3}$$

$F_{C_{14}}$ คือ ปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวที่ใช้เป็นอาหารสัตว์

$F_{C_{15}}$ คือ ปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย

Fp_{10} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปฟางข้าวที่ทิ้งไว้ในแปลงนา (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{10} = Fp_6 - Fp_{14} - Fp_{15}$$

โดย Fp_6 คือ ปริมาณฟอสฟอรัสในฟางข้าวทั้งหมด (หักส่วนที่ถูกเผาแล้ว)

$$= P_{\text{Straw}} - P_{\text{Straw.burn}}$$

Fp_{14} คือ ปริมาณฟอสฟอรัสในฟางข้าวที่ใช้เป็นอาหารสัตว์

Fp_{15} คือ ปริมาณฟอสฟอรัสในฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย

Fc_{11} = การไหลของคาร์บอนในรูปมวลชีวภาพ (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{11} = NPP_{\text{grain}} + NPP_{\text{stem+root}}$$

โดย NPP_{grain} คือ มวลชีวภาพส่วนของผลผลิต

$NPP_{\text{stem+root}}$ คือ มวลชีวภาพส่วนของต้นข้าวและรากข้าว

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

$$NPP_{\text{grain}} = y_{\text{ave}} \times C_{\text{grain}} \times A_{\text{paddy}}$$

โดย y_{ave} คือ ผลผลิตข้าวเฉลี่ยต่อไร่

C_{grain} คือ สัดส่วนคาร์บอนในเมล็ดข้าว

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

$$NPP_{\text{stem+root}} = y_{\text{ave}} \times R_{\text{sr/s}} \times C_{\text{stem+root}} \times A_{\text{paddy}}$$

โดย $R_{\text{sr/s}}$ คือ สัดส่วนต้นข้าวกับรากข้าวต่อผลผลิตข้าว

$C_{\text{stem+root}}$ คือ สัดส่วนคาร์บอนในต้นข้าวและรากข้าว

A_{paddy} คือ พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด (ไร่)

Fc_{12} = การไหลของคาร์บอนในรูปแกลบที่เข้าสู่นาข้าว (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{12} = H_{\text{paddy}} \times C_{\text{husk}}$$

โดย H_{paddy} คือ ปริมาณแกลบที่ลงสู่นาข้าว

C_{husk} คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในแกลบ (dry weight)

$C_{\text{husk.wet}}$ คือ สัดส่วนของคาร์บอนในแกลบ

Fp_{12} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปแกลบที่เข้าสู่นาข้าว (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{12} = H_{\text{paddy}} \times P_{\text{husk}}$$

โดย H_{paddy} คือ ปริมาณแกลบที่ลงสู่นาข้าว (ไร่)

P_{husk} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในแกลบ (dry weight)

$P_{\text{husk.wet}}$ คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสในแกลบ

F_{C14} = การไหลของคาร์บอนในรูปฟางข้าวที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ (ตัน C/ ปี)

$$F_{C14} = \text{Straw}_{\text{animals}} \times C_{\text{straw}}$$

โดย $\text{Straw}_{\text{animals}}$ คือ ปริมาณฟางข้าวใช้เป็นอาหารสัตว์

C_{straw} คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในฟางข้าว (dry weight)

$C_{\text{straw.wet}}$ คือ สัดส่วนของคาร์บอนในฟางข้าว

F_{P14} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปฟางข้าวที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ (ตัน P/ ปี)

$$F_{P14} = \text{Straw}_{\text{animals}} \times P_{\text{straw}}$$

โดย $\text{Straw}_{\text{animals}}$ คือ ปริมาณฟางข้าวใช้เป็นอาหารสัตว์

P_{straw} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในฟางข้าว (dry weight)

$P_{\text{straw.wet}}$ คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสในฟางข้าว

F_{C15} = การไหลของคาร์บอนในรูปฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย (ตัน C/ ปี)

$$F_{C15} = \text{Straw}_{\text{compost}} \times C_{\text{straw}}$$

โดย $\text{Straw}_{\text{compost}}$ คือ ปริมาณฟางข้าวใช้ทำปุ๋ย

C_{straw} คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในฟางข้าว (dry weight)

$C_{\text{straw.wet}}$ คือ สัดส่วนของคาร์บอนในฟางข้าว

F_{P15} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย (ตัน P/ ปี)

$$F_{P15} = \text{Straw}_{\text{compost}} \times P_{\text{straw}}$$

โดย $\text{Straw}_{\text{compost}}$ คือ ปริมาณฟางข้าวใช้ทำปุ๋ย

P_{straw} คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในฟางข้าว (dry weight)

$P_{\text{straw.wet}}$ คือ สัดส่วนของคาร์บอนในฟางข้าว

จากนั้นนำมาคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอน และฟอสฟอรัสในสต็อก

โดย ΔC_{Soil} = Rate of C Stock in Paddy Soil

= อัตราการเปลี่ยนแปลงสต็อกของคาร์บอนในดินที่ปลูกข้าวต่อปี

$$\begin{aligned} \Delta C_{\text{Soil}} &= \sum C_{\text{input}} - \sum C_{\text{output}} \\ &= (F_{C7} + F_{C8} + F_{C9} + F_{C10} + F_{C11} + F_{C12}) - (F_{C1} + F_{C2} + F_{C3} + F_{C4} + F_{C5} + F_{C6}) \end{aligned}$$

และ ΔP_{Soil} = Rate of P Stock in Paddy Soil

= อัตราการเปลี่ยนแปลงสต็อกของฟอสฟอรัสในดินที่ปลูกข้าวต่อปี

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{Soil}} &= \sum P_{\text{input}} - \sum P_{\text{output}} \\ &= (F_{P7} + F_{P8} + F_{P9} + F_{P10} + F_{P11} + F_{P12}) - (F_{P1} + F_{P2} + F_{P3} + F_{P4} + F_{P5} + F_{P6}) \end{aligned}$$

ตาราง 2.2 แสดงแหล่งข้อมูลสารเข้าและสารขาออกในกระบวนการนาข้าวและดินในนาข้าว

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
ส่วนของมวลสาร					
Rice _{wet}	ปริมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำ (ton/year)	282,329	-	-	สำนักงานสถิติจังหวัดพะเยา
Ms _{rice}	ความชื้นในผลผลิตข้าว	0.069	0.0656	0.0725	จากการสำรวจภาคสนาม
Ms _{seed}	ความชื้นในเมล็ดพันธุ์	0.12	0.11	0.15	จากการสำรวจภาคสนาม
R _{s/s}	สัดส่วนฟางข้าวต่อผลผลิตข้าว	2.3	2.22	2.37	จากการสำรวจภาคสนาม
A _{paddy}	พื้นที่ปลูกข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด	475,456	-	-	สำนักงานสถิติจังหวัดพะเยา
H _{paddy}	ปริมาณแกลบที่ลงสู่นาข้าว	963.14	590.40	1,115.92	สำนักงานสถิติจังหวัดพะเยา
W _u	ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อไร่ของนาข้าว	480	432	528	จากการสำรวจภาคสนาม
W _d	ปริมาณน้ำทิ้งจากนาข้าว	228,218,880	193,986,048	262,451,712	จากการสำรวจภาคสนาม
Fer _{urea}	ปริมาณปุ๋ยเคมี(ปุ๋ยยูเรีย(CO(NH ₂) ₂)) ที่ใช้ต่อไร่	7.5	5	10	กรมวิชาการเกษตร
Fer	ปริมาณปุ๋ยเคมี (สูตร 16-20-0) ที่ใช้ต่อไร่	22.5	20	25	กรมวิชาการเกษตร
y _{ave}	ผลผลิตข้าวเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา	0.6065	0.585	0.753	สำนักงานสถิติจังหวัดพะเยา
R _{stubble}	สัดส่วนตอซังข้าวต่อฟางข้าว	0.2	0.15	0.25	จากการสำรวจภาคสนาม

ตาราง 2.2 (ต่อ)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
$R_{sr/s}$	สัดส่วนต้นข้าวกับรากข้าวต่อผลผลิตข้าว	2.82	2.71	2.94	จากการสำรวจภาคสนาม
P_{sb}	เปอร์เซ็นต์ฟางข้าวที่ถูกเผา	20%	15%	25%	จากการสำรวจภาคสนาม
Seed	ปริมาณเมล็ดพันธุ์ที่ใช้เฉลี่ยต่อไร่ (ตัน/ไร่)	0.015	0.0125	0.0175	จากการสำรวจภาคสนาม
Ms_{husk}	ความชื้นในแกลบ	0.12	0.10	0.15	จากการสำรวจภาคสนาม
Ms_{straw}	ความชื้นในฟางข้าว	0.10	0.07	0.15	จากการสำรวจภาคสนาม
Straw animals	ปริมาณฟางข้าวใช้เป็นอาหารสัตว์	37,628	31,984	43,272	จากการสำรวจภาคสนาม
ส่วนของคาร์บอน					
C_{paddy}	สัดส่วนของคาร์บอนในข้าวเปลือก	0.475	0.404	0.499	จากการสำรวจภาคสนาม
$C_{seed-wet}$	สัดส่วนของคาร์บอนในเมล็ดพันธุ์	0.475	0.404	0.499	จากการสำรวจภาคสนาม
TC_{op}	สัดส่วนการปล่อยคาร์บอนจากการเผาในที่โล่งสู่บรรยากาศ	95%	90%	95%	Nguyen et al., 1994
$Ecpa_{paddy}$	Emission of carbon dioxide per area during rice cultivation (ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ในช่วงทำนา) ($g\ CO_2\ m^{-2}\ crop^{-1}$)	480	384	576	จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในพื้นที่

ตาราง 2.2 (ต่อ)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
$E_{cpa_{fallow}}$	Emission of carbon dioxide per area during rice cultivation (ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพื้นที่ในช่วงพักนา) ($g\ CO_2\ m^{-2}\ crop^{-1}$)	885	708	1,062	จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในพื้นที่
E_{mpa}	Emission of methane per area (ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมีเทน) ($g\ CH_4\ m^{-2}\ crop^{-1}$)	182	145.6	218.4	จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในพื้นที่
C_{water}	Concentration of TOC ใน Drainage water	30.00 mg/L	28.50 mg/L	31.50 mg/L	จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในพื้นที่
C_{uw}	สัดส่วนของคาร์บอนในน้ำใช้ทำนา	4.72 ppm	4.484 ppm	4.956 ppm	วัชรินทร์ เวชเตง, 2548
C_{fer}	สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในปุ๋ยยูเรีย	0.092	-	-	จากการคำนวณโดยใช้แฟลคเตอร์จากกรมวิชาการเกษตร, 2553
C_{straw}	สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในฟางข้าว	0.3817	0.3626	0.4008	จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในพื้นที่

ตาราง 2.2 (ต่อ)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
C_{seed}	สัดส่วนของคาร์บอน ที่อยู่ในเมล็ดพันธุ์	0.475	0.4513	0.4998	จากการ วิเคราะห์ ตัวอย่างใน พื้นที่
C_{grain}	สัดส่วนของคาร์บอน ที่อยู่ในเมล็ดข้าว	0.475	0.4513	0.4998	จากการ วิเคราะห์ ตัวอย่างใน พื้นที่
$C_{stem+root}$	สัดส่วนคาร์บอนใน ต้นข้าวและรากข้าว	0.3817	0.3626	0.4008	ศูนย์ส่งเสริม พลังงานชีว มวล มูลนิธิ พลังงานเพื่อ สิ่งแวดล้อม, 2553
C_{husk}	สัดส่วนของคาร์บอน ที่อยู่ในแกลบ	0.475	0.4513	0.4998	จากการ วิเคราะห์ ตัวอย่างใน พื้นที่
$C_{husk.wet}$	สัดส่วนของคาร์บอน ในแกลบ	0.3748	0.3561	0.3935	จากการสำรวจ ภาคสนาม
$C_{straw.wet}$	สัดส่วนของคาร์บอน ในฟางข้าว	0.3817	0.3626	0.4008	จากการสำรวจ ภาคสนาม
ส่วนของฟอสฟอรัส					
P_{paddy}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสใน ข้าวเปลือก	0.1432	0.1360	0.1504	จากการสำรวจ ภาคสนาม
$P_{seed.wet}$	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสในเมล็ด พันธุ์	0.1432	0.1360	0.1504	จากการสำรวจ ภาคสนาม

ตาราง 2.2 (ต่อ)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
P_{water}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัส ใน Drainage water	0.4094 g/m^3	0.3889 g/m^3	0.4299 g/m^3	จากการ วิเคราะห์ ตัวอย่างใน พื้นที่
P_{uw}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัส ในน้ำใช้ ทำนา	0.2812 g/m^3	0.2390 g/m^3	0.3234 g/m^3	วัชรินทร์ เวช เตง, 2548
P_{fer}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสที่อยู่ใน ปุ๋ยสูตร 16-20-0	20%	-	-	จากการ คำนวณโดยใช้ แฟกเตอร์จาก กรมวิชาการ เกษตร, 2553
P_{straw}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัส ที่อยู่ใน ฟางข้าว	0.08	0.076	0.084	จากการ วิเคราะห์ ตัวอย่างใน พื้นที่
P_{seed}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสที่อยู่ใน เมล็ดพันธุ์	0.1432	0.1360	0.1504	จากการ วิเคราะห์ ตัวอย่างใน พื้นที่
P_{grain}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสที่อยู่ใน เมล็ดข้าว	0.1432	0.1360	0.1504	จากการ วิเคราะห์ ตัวอย่างใน พื้นที่
$P_{\text{stem+root}}$	สัดส่วนฟอสฟอรัส ในต้นข้าวและราก ข้าว	0.08	0.076	0.084	ศูนย์ส่งเสริม พลังงานชีว มวล มูลนิธิ พลังงานเพื่อ สิ่งแวดล้อม, 2553

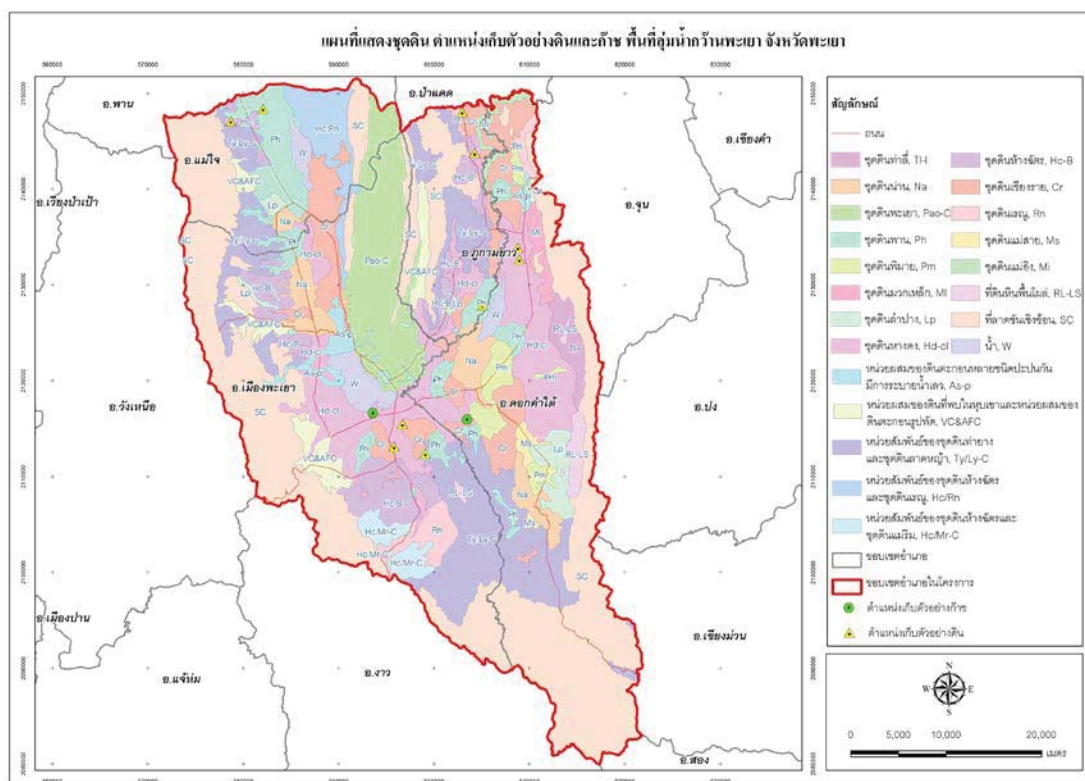
ตาราง 2.2 (ต่อ)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
P_{husk}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสที่อยู่ใน แกลบ	0.0095	0.0090	0.01	จากการ วิเคราะห์ ตัวอย่างใน พื้นที่
$P_{\text{husk} \cdot \text{wet}}$	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสในแกลบ	0.0095	0.0090	0.01	จากการสำรวจ ภาคสนาม
$P_{\text{straw} \cdot \text{wet}}$	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสในฟาง ข้าว	0.08	0.076	0.084	จากการสำรวจ ภาคสนาม

การเก็บตัวอย่างภาคสนาม และวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

การเลือกพื้นที่ตัวแทนการปลูกข้าวและดินในนาข้าว

เนื่องจากงบประมาณและเวลาที่จำกัด ในงานวิจัยนี้ทำการเลือกพื้นที่ซึ่งเป็นตัวแทนพื้นที่ปลูกข้าวโดยเลือกจากพื้นที่ ที่มีชุดดินเป็นชุดดินหลัก ในพื้นที่การศึกษาทั้งหมด และเลือกพื้นที่ ที่มีกระบวนการปลูกข้าวที่มีวิธีการเตรียมดินปลูก การใส่ปุ๋ย การขังน้ำ และการระบายน้ำแบบที่ทำกันส่วนใหญ่ในพื้นที่ ดินในพื้นที่ศึกษาเป็นดินที่มีชุดดินหลากหลายในแต่ละพื้นที่ (25 ชุดดิน) ดังแสดงในภาพ 25 อย่างไรก็ตาม มีสามชุดดินที่ครองพื้นที่ส่วนใหญ่ในพื้นที่นาข้าวในพื้นที่ศึกษาซึ่งได้แก่ ชุดดินเชิงทราย และชุดดินหางดง โดยชุดดินที่อยู่ในพื้นที่นาข้าว ในพื้นที่ศึกษา ที่ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด คือ ชุดดินหางดง (มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด)



รูปที่ 2.8 ชุดดินในพื้นที่การศึกษาวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ทำการเก็บข้อมูลในนาข้าวแห่งหนึ่งซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแทน นาข้าวในพื้นที่ศึกษา เนื่องจากมีดินที่อยู่ในชุดดินทางดง ซึ่งเป็นชุดดินที่มีพื้นที่มากที่สุดดังที่กล่าวไปข้างต้น โดยมีลักษณะคุณสมบัติของดิน แสดงตามตาราง 2.3 และมีการปลูกข้าวแบบนาปี รวมถึงมีวิธีการเตรียมดินปลูก การใส่ปุ๋ย การขังน้ำ และการระบายน้ำแบบที่ทำกันส่วนใหญ่ในพื้นที่ โดยพื้นที่ตัวแทนมีขนาด 1 ไร่ อยู่ในตำบลบุญเกิด อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา เพื่อหาอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดิน และใช้ค่านี้เป็นตัวแทนค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซมีเทน ($Empa$) และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากนาข้าว ($Ecpa_{paddy}$, $Ecpa_{fallow}$) ในพื้นที่ศึกษา เพื่อนำมาใช้คำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากนาข้าวทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา

ตาราง 2.3 แสดงคุณลักษณะดินของนาข้าวในพื้นที่ตัวแทน ขนาด 1 ไร่ ในตำบลบุญเกิด อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา

พารามิเตอร์ดิน	ค่าและลักษณะต่าง ๆ
ชุดดิน	หางดง
หน่วยดิน	5, 7
เนื้อดิน	ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam)
pH	5.99
อินทรีย์วัตถุในดิน (ร้อยละ)	2.58
คาร์บอนอินทรีย์ในดิน (ร้อยละ)	1.5
ไนโตรเจน (ร้อยละ)	0.129
ฟอสฟอรัส (ppm)	24.20
โพแทสเซียม (ppm)	95.19
ความหนาแน่นดิน (กรัมต่อ ลบ.ซม.)	1.41

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการปลูกข้าวนาปีในรอบ 1 ปี โดยมีรอบการเพาะปลูกข้าว พันธุ์หอมมะลิ 105 อยู่ระหว่าง วันที่ 1 กรกฎาคม 2554 จนถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน โดยมีระยะเวลาการปลูกข้าว ดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 แสดงวันเวลาตามขั้นตอนต่าง ๆ ในการปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา

กิจกรรม	อำเภอดอกคำใต้
การเตรียมดิน	
- ทำคันนา ไถนา	11 กรกฎาคม 2554
- ไถหมักฟาง	
- ไถคราด	
การเพาะปลูก	
- ปักดำโดยใช้ต้นกล้าอายุไม่เกิน 35 วัน มีระยะปักดำระหว่างต้นและแถวประมาณ 20-30 ซม.	12 กรกฎาคม 2554

ตาราง 2.4 (ต่อ)

การใส่ปุ๋ย

- ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 เมื่ออยู่ในช่วงระยะการแตกกอ (หลังปลูก 2 สัปดาห์) ด้วยปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 22.5 กก. ต่อไร่ 1 สิงหาคม 2554
- ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่อต้นข้าวอยู่ในช่วงสร้างรวงอ่อน (ช่วงตั้งท้อง) หลังดำนา 40-45 วัน ด้วยปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 7.5 กก. ต่อไร่ 31 สิงหาคม 2554

การจัดการน้ำ

- ชักน้ำตลอดฤดูกาลปลูก 30 ตุลาคม 2554
- ปล่อยให้แห้งก่อนเก็บเกี่ยว 15 วัน

การเก็บเกี่ยว

- การเก็บเกี่ยวจะทำการเก็บเกี่ยวโดยใช้รถเกี่ยวข้าวใน การเกี่ยวนาดข้าว 17 พฤศจิกายน 2554

ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากนาข้าว

1. การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างก๊าซในนาข้าวในพื้นที่ตัวแทน ข้านาปี ที่ตำบลบุญเกิด อำเภอดำรงวิทยะเพรา เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ที่เกิดขึ้น ซึ่งการวัดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน สามารถวัดได้โดยใช้ Static box technique ซึ่งเป็นวิธีการเก็บแบบ Close chamber โดยใช้ Gas chamber มี 3 ส่วนที่ซ้อนกันได้สนิทเวลาใช้งาน แต่เวลาเก็บและขนย้ายสามารถครอบกันได้ ซึ่งทำด้วยแผ่น Acrylic สีดำหนา 6 มิลลิเมตร รูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 30 x 30 x 120 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) หุ้มด้วยโฟมสีขาวเพื่อป้องกันความร้อน โดยส่วนฐานและส่วนกลางมีขอบบนเป็นรางน้ำ ส่วนบนมีที่เสียบเทอร์โมมิเตอร์สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซในแต่ละแปลงติดตั้งด้วยฐาน chamber 6 จุด สำหรับเก็บตัวอย่างจากดินและต้นข้าวอย่างละ 3 ซ้ำ ใช้ syringe เก็บก๊าซปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทุก 5 นาที ที่เวลา 0 5 10 และ 15 นาที (ส่วนในช่วงหลังฤดูเก็บเกี่ยวจะเก็บที่เวลา 0 10 20 และ 30 นาที) แล้วฉีดตัวอย่างเข้าไปในขวดเก็บตัวอย่างก๊าซ ซึ่งทำเป็นระบบสุญญากาศไว้แล้ว ขณะเดียวกันก็จะวัดอุณหภูมิใน chamber อุณหภูมิของดินในนา อุณหภูมิอากาศภายนอก วัดความสูงของ chamber และวัดความสูงของน้ำขังในนา (IRRI, 1996) ดังแสดงตามภาพ 26 27 28 และ 29

2. การวิเคราะห์ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

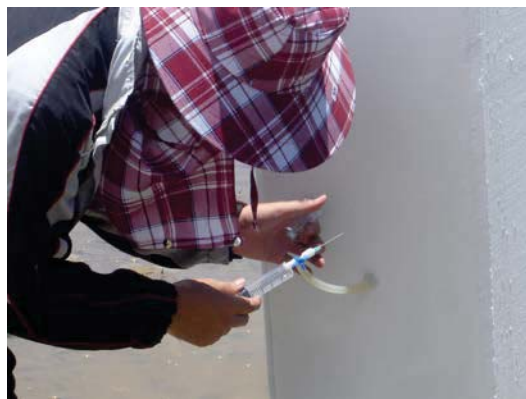
วิเคราะห์ก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง Gas chromatography ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC 2010 plus ที่ติดตั้งด้วย detector แบบ Flame ionization Detector (FID) จุดด้วยก๊าซ H_2 กับ Air zero ใช้ He เป็น Carrier gas อุณหภูมิ FID 250 องศาเซลเซียส และ injection port 245 องศาเซลเซียส และปรับการไหลของก๊าซเพิ่มเติมด้วย N_2 ส่วนอุณหภูมิ Column ซึ่งเป็นคอลัมน์ชนิด Chin carbon (ชื่อทางการค้า) เป็น 200 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งทำการกราฟมาตรฐานด้วย Standard Methane ที่ 0 125 250 375 และ 500 ppm

วิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่อง Gas chromatography ที่ติดตั้งด้วย detector แบบ Thermal Conductivity Detector (TCD) ตรวจวัดด้วยวงจรรีเลย์ทรอนิค ให้กระแสไฟฟ้า 70 mA ใช้ He เป็น Carrier gas อุณหภูมิ TCD 270 องศาเซลเซียส และ injection port 190 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิ Column ซึ่งเป็นคอลัมน์ชนิด Chin carbon เป็น 145 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งทำการกราฟมาตรฐานด้วย Standard Methane ที่ 0 375 750 1,125 และ 1,500 ppm

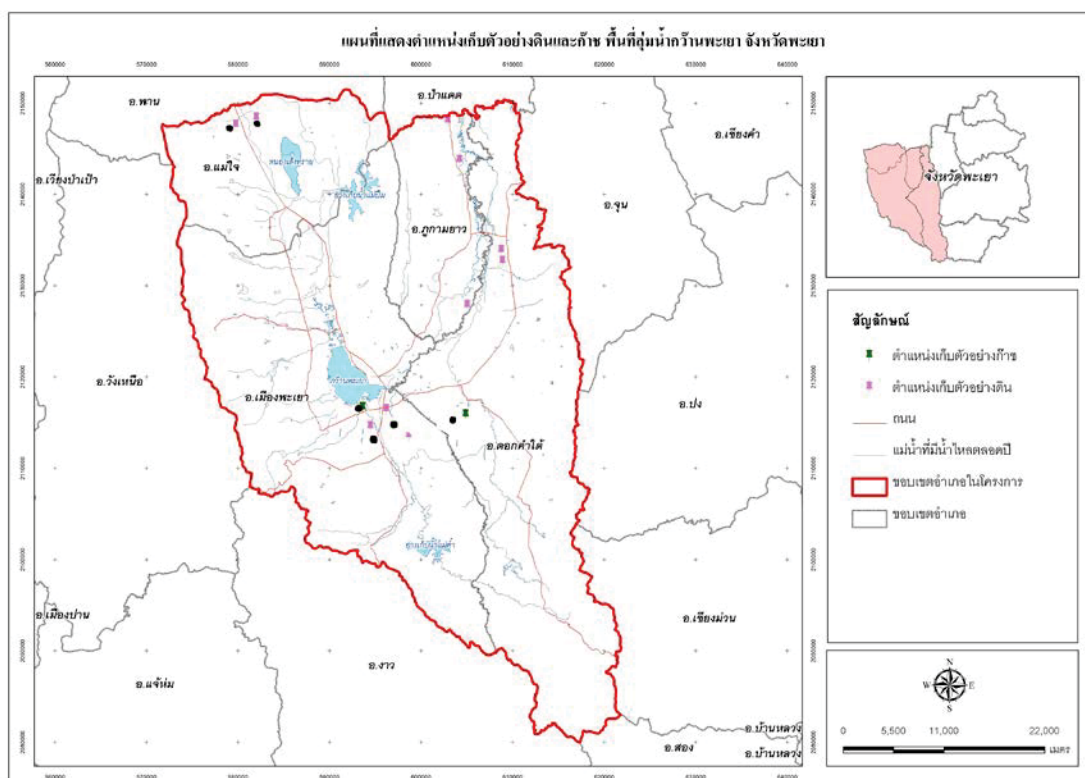
โดยให้ค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.99 และตัวอย่างที่เก็บมาจากแปลงนา จะฉีดด้วย Gas tight syringe ขนาด 1 มิลลิลิตร โดยคำนวณค่า slope ของความเข้มข้นมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ จากตัวอย่างที่เก็บทุก 5 นาทีกับเวลา (dc/dt) และคำนวณค่า R^2 ด้วยทุกครั้ง ควรได้ค่า R^2 ใกล้ 0.99 ทุกครั้ง จากนั้นคำนวณหาค่า CH_4 Emission rate และ CO_2 Emission rate ในหน่วยของ $mg\ CH_4\ m^{-2}\ h^{-1}$ และหน่วยของ $mg\ CO_2\ m^{-2}\ h^{-1}$ จะได้ 3 ค่า แล้วใช้ค่าเฉลี่ย



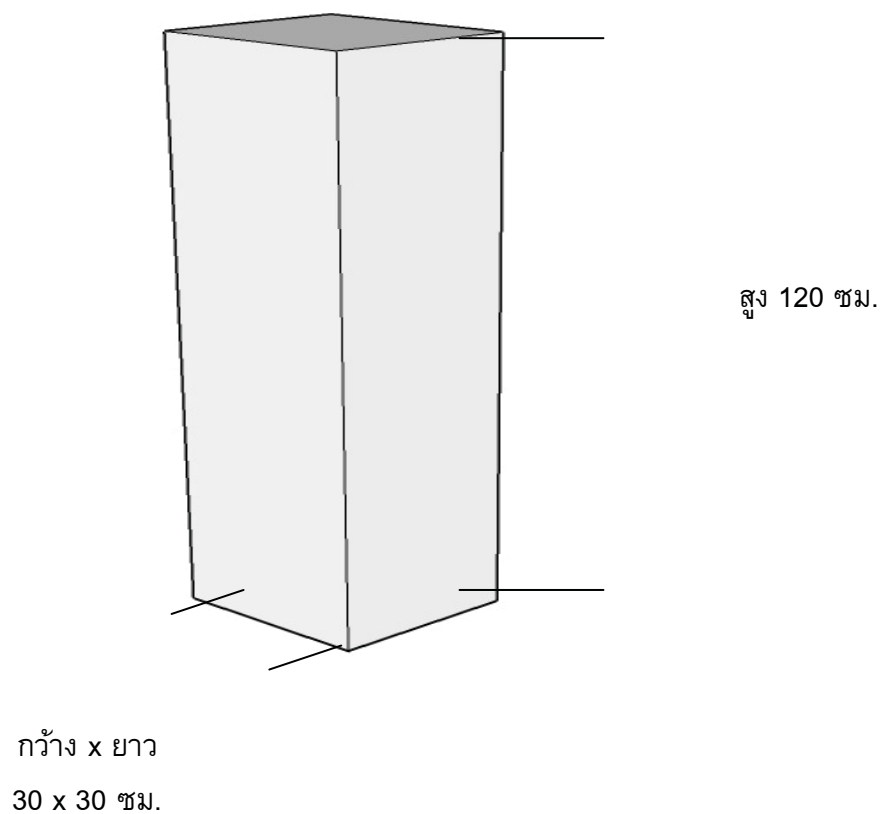
รูปที่ 2.9 การวางอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างก๊าซในระบบผลิตข้าวลุ่มน้ำกว๊านพะเยา



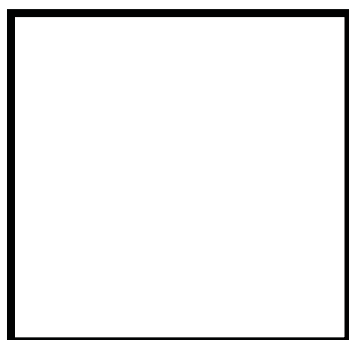
รูปที่ 2.10 ปกรณการเก็บตัวอย่างก๊าซ



รูปที่ 2.11 แผนที่ตำแหน่งเก็บตัวอย่างก๊าซ



ภาพ Chamber ด้านข้าง



กว้าง x ยาว
30 x 30 ซม.

ภาพ Chamber ด้านบน

รูปที่ 2.12 แบบอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างก๊าซ

การคำนวณ

ทำการหาค่า Slope จากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซต่อเวลาที่ติดตั้งกล่องเก็บตัวอย่าง โดยใช้สมการเส้นตรง $Y=aX+b$ ค่า Slope ของสมการ (ค่า a) คือสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นหารด้วยเวลาที่เปลี่ยนไป หรือ dc/dt

นำค่า Slope ที่ได้จากการคำนวณขั้นต้นมาคำนวณต่อเพื่อหาอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยสมการ (Nishimura et al., 2008)

$$F = \frac{dc_i}{dt} \times \frac{1}{A} \times \frac{M_i PV}{RT} \times t_i$$

โดย	F	คือ	อัตราการปล่อย CO ₂ หรือ CH ₄ (mg m ⁻² h ⁻¹)
	dCi/dt	คือ	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ CO ₂ (ppm m ⁻¹)
	M _i	คือ	มวลโมเลกุลของ CO ₂ (44x 10 ³) หรือ CH ₄ (16x 10 ³)
	A	คือ	พื้นที่กล่องเก็บตัวอย่าง (กว้าง x ยาว) (m ²)
	P	คือ	ความดันบรรยากาศ (1 atm)
	V	คือ	ปริมาตรกล่องเก็บตัวอย่าง (กว้าง x ยาว x สูง) (m ³)
	R	คือ	ค่าคงที่ของก๊าซ (0.082058 x 10 ⁻³ m ³ atm mol ⁻¹ K ⁻¹)
	T	คือ	อุณหภูมิภายในกล่องเก็บตัวอย่างก๊าซ (K)
	t _i	คือ	เวลาที่ใช้เทียบเป็น 1 ชั่วโมง (= 60 min hr ⁻¹)

จากนั้นคำนวณหาค่า CH₄ Emission rate และ CO₂ Emission rate โดยนำค่าการปล่อยในแต่ละวัน มาพลอตกราฟ แล้วหาพื้นที่ใต้กราฟ

NPP มวลชีวภาพ

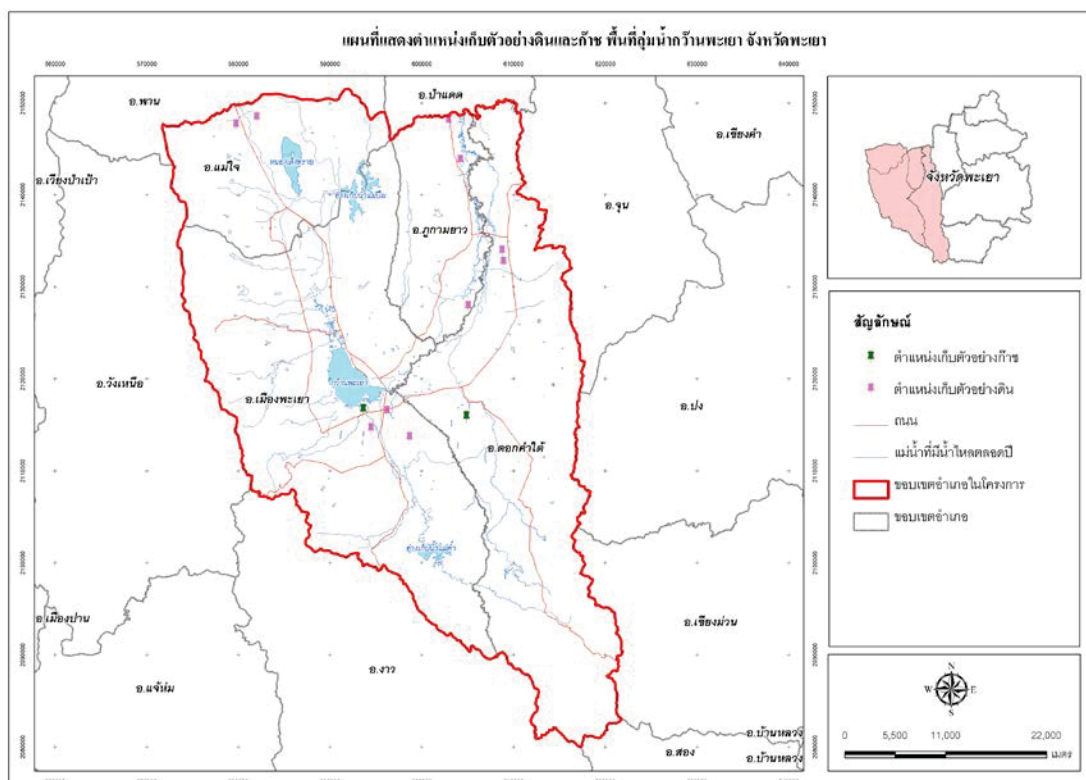
สารอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงเป็นผลผลิตขั้นปฐมภูมิของระบบนิเวศ เรียกว่า ผลผลิตรวม (gross primary production, GPP) เมื่อพืชใช้สารอาหารที่สร้างได้ส่วนหนึ่งในการหายใจและกิจกรรมของพืชแล้ว สารอาหารและพลังงานที่เหลือจากการหายใจแล้วเรียกว่าผลผลิตสุทธิ (net primary production, NPP) เป็นสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบภายในพืชหรือต้นไม้ ซึ่งก็คือมวลชีวภาพ นั่นเอง (ชวลีพร, 2547)

การถ่ายเทพลังงานในส่วนของผู้ผลิต (Primary producer) พืชใบเขียวทุกชนิดสามารถตรึงพลังงานจากแสงโดยการสังเคราะห์แสงและเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานทางชีวเคมี โดยมีคาร์บอนไดออกไซด์ กับน้ำเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แป้งและน้ำตาล แล้วปล่อยออกซิเจนออกมา ผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงนี้เรียกว่า ผลผลิตรวมขั้นปฐมภูมิ (Gross primary production) พลังงานที่พืชสะสมไว้ในรูปของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน หรือไขมัน ที่สุดท้ายจะถูกปล่อยออกมาจากการเผาผลาญโดยกระบวนการหายใจ และพลังงานที่ปล่อยออกมานี้เอง ที่พืชนำมาใช้ใน

กิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิต พลังงานที่เหลือจากการหายใจ จะถูกนำไปใช้ในการสร้างผลผลิตในพืชที่เรียกว่าผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิ (Net primary production) ซึ่งได้แก่ ใบ ดอก ผล และส่วนอื่น ๆ ของพืช (มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2555) ดังนั้นสามารถหา NPP จากการหาน้ำหนักแห้งของต้นข้าวได้จากวิธีวิเคราะห์ ดังนี้

1. การเก็บตัวอย่าง

มวลชีวภาพรวมคือมวลรวมของข้าว และชีวมวลที่เกิดขึ้น (ฟางข้าว ราก และตอซัง) การศึกษาจะเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวและชีวมวลที่เกิดขึ้น (ฟางข้าว รากและตอซัง) จากการสุ่มเก็บวิเคราะห์ตัวอย่างจากแปลงนาข้าว 2 แปลงคือในแปลงอำเภอดอกคำใต้ และแปลงในอำเภอเมือง เพื่อนำมาชั่งน้ำหนักหามวลแต่ละส่วนและมวลทั้งหมดต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร (น้ำหนักแห้ง) วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน โดยในการเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวจำนวน 3 ซ้ำต่อแปลง (3 ตัวอย่างต่อแปลง) นำมาตากในที่ร่มให้แห้งเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นจะนำมาบดด้วยเครื่องบดเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 2.13 จุดเก็บข้อมูลภาคสนาม

2. การวิเคราะห์คาร์บอน

วิเคราะห์คาร์บอนจะวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์(Organic carbon) โดยใช้วิธีของ Walkley-Black method (Walkley and Black, 1934) โดยเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุก่อน จึงแปลงค่าเป็นปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

การคำนวณ

$$\% \text{Organic carbon} = \frac{(B-T)N}{B} \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{10^3} \times \frac{10}{W}$$

$$\% \text{Organic Matter} = \% \text{organic carbon} \times 1.724$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมตเป็นนอร์มอล

B = ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ไตเตรทกับ blank (มล.)

T = ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ไตเตรทกับสารตัวอย่างดิน

(มล.)

W = น้ำหนัก (กรัม)

3. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส

การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสนั้น จะใช้วิธีการ Vanadomolybdate method (กรรณการ์ สิริสิงค์, 2544) วิธีนี้วิเคราะห์โดยนำสารละลายที่สกัดได้ไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย Ammonium molybdate และ Ammonium metavanadate หากมีฟอสฟอรัสอยู่จะได้สารประกอบเชิงซ้อนสีเหลือง ซึ่งสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 400-490 นาโนเมตร ซึ่งวิธีนี้มีความไวน้อยกว่า molybdenum blue ประมาณ 1 ใน 10 แต่มีเสถียรภาพของสีที่เกิดขึ้นดีกว่า และมีการรบกวนจากไอออนอื่นน้อยกว่า

น้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำในนาข้าว เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนและฟอสฟอรัส

1. การเก็บตัวอย่าง

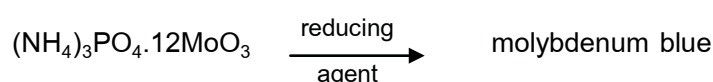
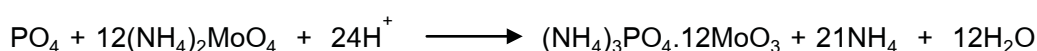
เก็บตัวอย่างน้ำจากการสุ่มเก็บวิเคราะห์ตัวอย่างจากแปลงนาข้าว 2 แหล่ง คือในแปลงอำเภอดอกคำใต้ และแปลงในอำเภอมือง ในส่วนของน้ำเข้า น้ำออก ของแต่ละช่วงที่มีการเติม-ปล่อยน้ำ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนและฟอสฟอรัส โดยในการเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดที่เข้า และจุดที่ปล่อยทิ้ง เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2. การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (Total Organic Carbon) ในน้ำ

การวิเคราะห์หาปริมาณ Total organic carbon ในตัวอย่างน้ำด้วยวิธีตามการวิเคราะห์ The measurement is performed according to Differential Method (TOC=TC-TIC), ISO 8245 โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง multiN/C2100S-AnalytikJena, Combustion system, with catalyst, Autosampler with stirrer function ของคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

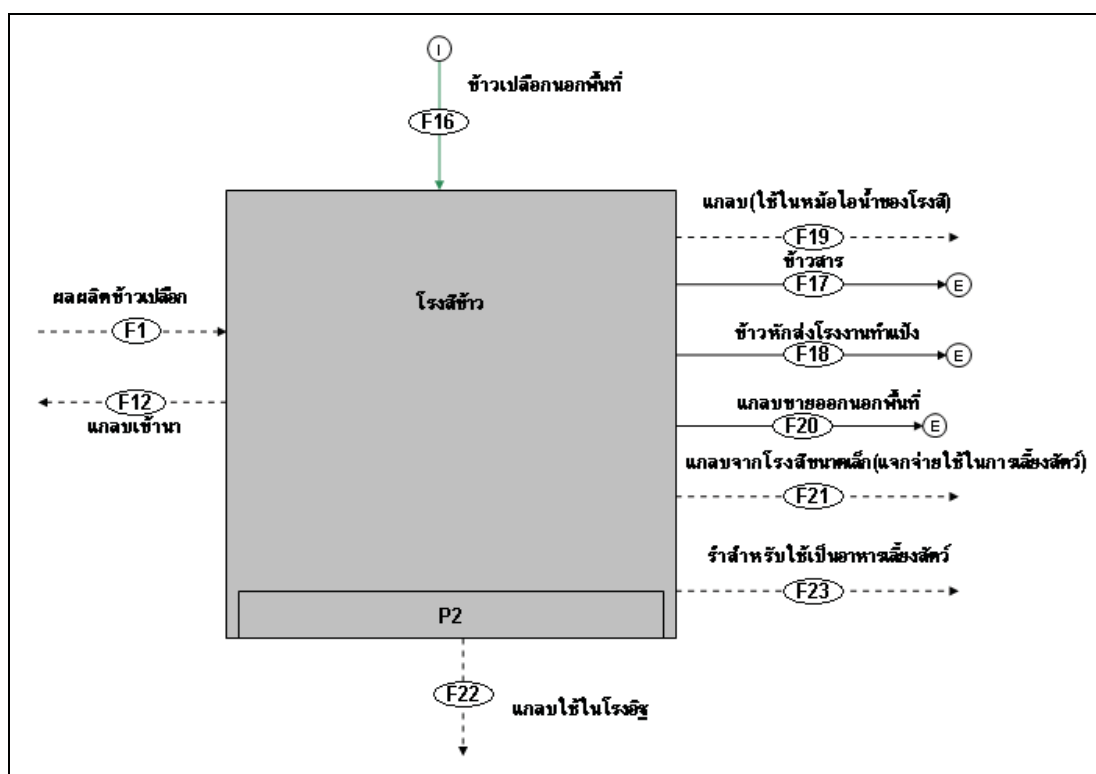
3. การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus) ในน้ำ

การวิเคราะห์หาปริมาณ Total phosphate ในตัวอย่างน้ำ วิเคราะห์ได้โดยการย่อยสลายด้วยกรดไนตริกและกรดซัลฟุริก จากนั้นทำให้เกิดสีด้วยวิธี Vanado molybdophosphoric acid ซึ่งมีหลักการดังนี้ สารละลาย Orthophosphate เมื่อทำปฏิกิริยากับ Ammonium molybdate ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเกิดเป็นสารเชิงซ้อน Ammonium phosphomolybdate สารนี้จะถูกรีดิวส์เป็นสารประกอบสีน้ำเงิน (Molybdenum blue) และเมื่อตัวรีดิวส์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาเป็น Sn^{2+} หรือ Ascorbic acid (ตามสมควร) แต่จะให้สีเหลืองของ Vanado molybdophosphoric acid เมื่อใช้ Vanadium เป็นตัวรีดิวส์ในปฏิกิริยา ความเข้มข้นของสีที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณฟอสเฟตที่มีอยู่



กระบวนการโรงสีข้าว

การไหลของสารขาเข้าและออกระบบได้แสดงในรูปที่ 2.14 การหาข้อมูลของการไหลของมวลของสินค้าและความเข้มข้นของสารในกระบวนการโรงสีข้าว ได้นำเสนอในตาราง 2.5



รูปที่ 2.14 สารขาเข้าและออกของกระบวนการโรงสีข้าว

สมการคำนวณสารขาออก (Equation for output flows)

$F_{C_{17}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปผลผลิตข้าวสาร (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_{17}} = (F_{C_1} + F_{C_{16}}) \times TC_{rice} \times C_{rice}$$

โดย TC_{rice} คือ สัดส่วนข้าวสารต่อผลผลิตข้าวเปลือก

C_{rice} คือ สัดส่วนของคาร์บอนในข้าวสาร

$F_{C_{16}}$ คือ การไหลของคาร์บอนจากข้าวเปลือกนอกพื้นที่

$F_{P_{17}}$ = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปผลผลิตข้าวสาร (ตัน P/ ปี)

$$F_{P_{17}} = (F_{P_1} + F_{P_{16}}) \times TC_{rice} \times P_{rice}$$

โดย TC_{rice} คือ สัดส่วนข้าวสารที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก

P_{rice} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสในข้าวสาร

$F_{P_{16}}$ คือ ฟอสฟอรัสจากข้าวเปลือกนอกพื้นที่

$F_{C_{18}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปผลผลิตข้าวหัก (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_{18}} = (F_{C_1} + F_{C_{16}}) \times TC_{br} \times C_{br}$$

โดย TC_{br} คือ สัดส่วนข้าวหักที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก

C_{br} คือ สัดส่วนของคาร์บอนในข้าวหัก

$F_{P_{18}}$ = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปผลผลิตข้าวหัก (ตัน P/ ปี)

$$F_{P_{18}} = (F_{P_1} + F_{P_{16}}) \times TC_{br} \times P_{br}$$

โดย TC_{br} คือ สัดส่วนข้าวหักที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก

P_{br} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสในข้าวหัก

$F_{C_{23}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปผลผลิตรำข้าว (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_{23}} = (F_{C_1} + F_{C_{16}}) \times TC_{rb} \times C_{rb}$$

โดย TC_{rb} คือ สัดส่วนรำข้าวที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก

C_{rb} คือ สัดส่วนของคาร์บอนในรำข้าว

$F_{P_{23}}$ = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปผลผลิตรำข้าว (ตัน P/ ปี)

$$F_{P_{23}} = (F_{P_1} + F_{P_{16}}) \times TC_{rb} \times P_{rb}$$

โดย TC_{rb} คือ สัดส่วนรำข้าวที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก

P_{rb} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสในรำข้าว

RC_{husk} = ปริมาณคาร์บอนในแกลบทั้งหมด (ตัน C/ ปี)

$$RC_{husk} = (Fc_1 + Fc_{16}) \times TC_{husk} \times C_{husk}$$

โดย TC_{husk} คือ สัดส่วนของแกลบที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก

C_{husk} คือ สัดส่วนคาร์บอนในแกลบ

RP_{husk} = ปริมาณฟอสฟอรัสในแกลบทั้งหมด (ตัน P/ ปี)

$$RP_{husk} = (Fp_1 + Fp_{16}) \times TC_{husk} \times P_{husk}$$

โดย TC_{husk} คือ สัดส่วนของแกลบที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก

P_{husk} คือ สัดส่วนฟอสฟอรัสในแกลบ

Fc_{19} = การไหลของคาร์บอนในรูปแกลบใช้ในหม้อไอน้ำของโรงสี (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{19} = RC_{husk} \times R_{boiler}$$

โดย R_{boiler} คือ สัดส่วนเปอร์เซ็นต์แกลบที่ใช้กับหม้อไอน้ำของโรงสี

Fp_{19} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปแกลบใช้ในหม้อไอน้ำของโรงสี (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{19} = RP_{husk} \times R_{boiler}$$

โดย R_{boiler} คือ สัดส่วนเปอร์เซ็นต์แกลบที่ใช้กับหม้อไอน้ำของโรงสี

Fc_{20} = การไหลของคาร์บอนในรูปแกลบขายออกนอกพื้นที่ (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{20} = H_{sell} \times C_{husk}$$

โดย H_{sell} คือ ปริมาณแกลบขายออกนอกพื้นที่

C_{husk} คือ สัดส่วนคาร์บอนในแกลบ

Fp_{20} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปแกลบขายออกนอกพื้นที่ (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{20} = H_{sell} \times P_{husk}$$

โดย H_{sell} คือ ปริมาณแกลบขายออกนอกพื้นที่

P_{husk} คือ สัดส่วนฟอสฟอรัสในแกลบ

Fc_{21} = การไหลของคาร์บอนในรูปแกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{21} = H_{animals} \times C_{husk}$$

โดย $H_{animals}$ คือ ปริมาณแกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์

C_{husk} คือ สัดส่วนคาร์บอนในแกลบ

Fp_{21} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปแกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{21} = H_{animals} \times P_{husk}$$

โดย $H_{animals}$ คือ ปริมาณแกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์

P_{husk} คือ สัดส่วนฟอสฟอรัสในแกลบ

Fc_{22} = การไหลของคาร์บอนในรูปแกลบที่ใช้ในโรงอิฐ (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{22} = H_{brick} \times C_{husk}$$

โดย H_{brick} คือ ปริมาณแกลบที่ใช้ในโรงอิฐ

C_{husk} คือ สัดส่วนคาร์บอนในแกลบ

Fp_{22} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปแกลบที่ใช้ในโรงอิฐ (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{22} = H_{brick} \times P_{husk}$$

โดย H_{brick} คือ ปริมาณแกลบที่ใช้ในโรงอิฐ

P_{husk} คือ สัดส่วนฟอสฟอรัสในแกลบ

Fc_{23} = การไหลของคาร์บอนในรูปแกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{23} = H_{animals} \times C_{husk}$$

โดย $H_{animals}$ คือ ปริมาณแกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์

C_{husk} คือ สัดส่วนคาร์บอนในแกลบ

Fp_{23} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปแกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{23} = H_{animals} \times P_{husk}$$

โดย $H_{animals}$ คือ ปริมาณแกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์

P_{husk} คือ สัดส่วนฟอสฟอรัสในแกลบ

สมการคำนวณสารขาเข้า (Equation for input flows)

Fc_{16} = การไหลของคาร์บอนในผลผลิตข้าวเปลือกนอกพื้นที่ (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{16} = Fc_{output} - Fc_{input}$$

$$= (Fc_{12} + Fc_{17} + Fc_{18} + Fc_{19} + Fc_{20} + Fc_{21} + Fc_{22} + Fc_{23}) - Fc_1$$

โดย Fc_{output} คือ การไหลของคาร์บอนที่ออกจากโรงสีทั้งหมด

Fc_{input} คือ การไหลของคาร์บอนที่เข้าโรงสี

Fp_{16} = การไหลของฟอสฟอรัสในผลผลิตข้าวเปลือกนอกพื้นที่ (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{16} = Fp_{output} - Fp_{input}$$

$$= (Fp_{12}+Fp_{17}+Fp_{18}+Fp_{19}+Fp_{20}+Fp_{21}+Fp_{22}+Fp_{23}) - Fp_1$$

โดย Fp_{output} คือ การไหลของฟอสฟอรัสที่ออกจากโรงสีทั้งหมด

Fp_{input} คือ การไหลของฟอสฟอรัสที่เข้าโรงสี

ตาราง 2.6 แหล่งข้อมูลสารเข้าและสารขาออก ในกระบวนการโรงสีข้าว

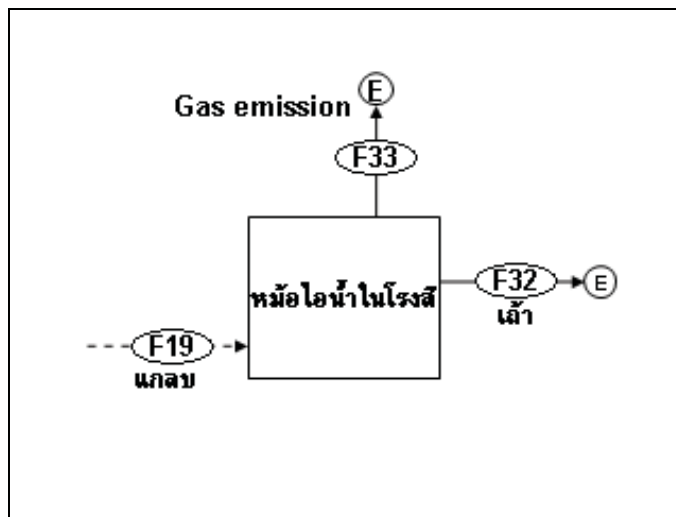
ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
ส่วนของมวลสาร					
$Rice_{inside}$	ปริมาณข้าวที่เข้าสู่โรงสี จากในพื้นที่	282,329	-	-	สำนักงานสถิติจังหวัดพะเยา
$Rice_{outside}$	ปริมาณข้าวที่เข้าสู่โรงสี จากนอกพื้นที่การศึกษา	232,479	-	-	จากการสำรวจภาคสนาม
TC_{rice}	สัดส่วนข้าวสารต่อข้าวเปลือก	0.6	-	-	กรมวิชาการเกษตร, 2547
TC_{br}	สัดส่วนข้าวหักที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก	0.09	-	-	กรมวิชาการเกษตร, 2547
TC_{rb}	สัดส่วนรำข้าวที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก	0.1	-	-	กรมวิชาการเกษตร, 2547
TC_{husk}	สัดส่วนแกลบที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก	0.21	-	-	กรมวิชาการเกษตร, 2547
R_{boiler}	สัดส่วนเปอร์เซ็นต์แกลบที่ใช้กับหม้อไอน้ำของโรงสี	0.16243	-	-	จากการสำรวจภาคสนาม
R_{sell}	สัดส่วนเปอร์เซ็นต์แกลบที่ขายออกนอกพื้นที่	0.60713	-	-	จากการสำรวจภาคสนาม
$R_{animals}$	สัดส่วนของคาร์บอนในรำข้าว	0.00223	-	-	จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในพื้นที่
R_{brick}	สัดส่วนเปอร์เซ็นต์แกลบที่ใช้ในโรงอิฐ	0.2193	-	-	จากการสำรวจภาคสนาม

ตาราง 2.6 (ต่อ)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
Ms_{rb}	สัดส่วนของความชื้น ในรำข้าว	0.095	-	-	กรมวิชาการ เกษตร, 2547
Ms_{husk}	สัดส่วนของความชื้น ในแกลบ	0.12	-	-	กรมวิชาการ เกษตร, 2547
ส่วนของคาร์บอน					
C_{rice}	สัดส่วนของคาร์บอน ในข้าวสาร	0.47713	-	-	จากการวิเคราะห์ ตัวอย่างในพื้นที่
C_{br}	สัดส่วนของคาร์บอน ในข้าวหัก	0.47713	-	-	จากการวิเคราะห์ ตัวอย่างในพื้นที่
$C_{rb.wet}$	สัดส่วนของคาร์บอน ในรำข้าว	0.483	-	-	จากการวิเคราะห์ ตัวอย่างในพื้นที่
C_{husk}	สัดส่วนของคาร์บอนที่ อยู่ในแกลบ	0.3748	-	-	จากการวิเคราะห์ ตัวอย่างในพื้นที่
ส่วนของฟอสฟอรัส					
P_{rice}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสในข้าวสาร	0.1432	-	-	จากการวิเคราะห์ ตัวอย่างในพื้นที่
P_{br}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสในข้าวหัก	0.1432	-	-	จากการวิเคราะห์ ตัวอย่างในพื้นที่
$P_{rb.wet}$	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสในรำข้าว	0.3617	-	-	จากการวิเคราะห์ ตัวอย่างในพื้นที่
P_{husk}	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสที่อยู่ใน แกลบ	0.0095	-	-	จากการวิเคราะห์ ตัวอย่างในพื้นที่

กระบวนการหมักไอน้ำในโรงสี

การหาข้อมูลของการไหลของมวลของสินค้าและความเข้มข้นของสารในกระบวนการหมักไอน้ำในโรงสี ได้นำเสนอในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 สารขาเข้าและออกของกระบวนการหมักไอน้ำในโรงสี

สมการคำนวณสารขาออก (Equation for output flows)

$F_{c_{32}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปเถ้าจากหมักไอน้ำ (ตัน C/ ปี)

$$F_{c_{32}} = F_{c_{19}} \times TC_{b,ash}$$

โดย $TC_{b,ash}$ คือ Transfer-coefficient of biomass to ash

$F_{p_{32}}$ = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปเถ้าจากหมักไอน้ำ (ตัน P/ ปี)

$$F_{p_{32}} = F_{p_{19}} \times R_{ash/husk}$$

โดย $R_{ash/husk}$ คือ อัตราส่วนปริมาณเถ้าต่อปริมาณแกลบ

$F_{c_{33}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ตัน C/ ปี)

$$F_{c_{33}} = F_{c_{19}} \times TC_{b,gas}$$

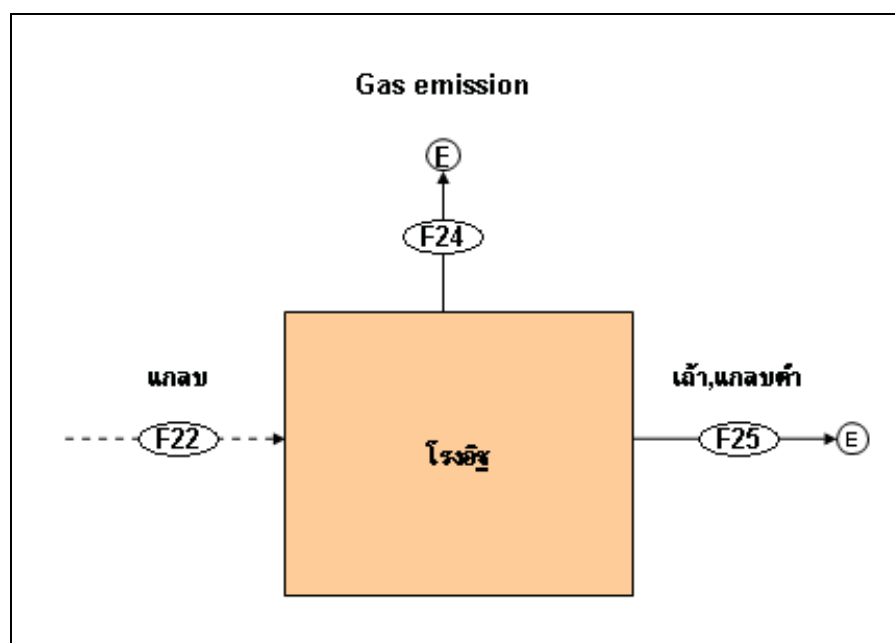
โดย $TC_{b,gas}$ คือ Transfer-coefficient of biomass to gas

ตาราง 2.7 แสดงแหล่งข้อมูลสารเข้าและสารขาออก ในกระบวนการหมักไอน้ำในโรงสี

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
ส่วนของมวลสาร					
TC _{b.ash}	Transfer-coefficient of biomass to gas	0.01	-	-	Jakrawatana, 2009
TC _{b.gas}	Transfer-coefficient of biomass to gas	0.99	-	-	Jakrawatana, 2009

กระบวนการโรงอิฐ

การหาข้อมูลของการไหลของมวลของสินค้าและความเข้มข้นของสารในกระบวนการโรงอิฐได้นำเสนอในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 สารขาเข้าและออกของกระบวนการโรงอิฐ

สมการคำนวณสารขาออก (Equation for output flows)

F_{c22} = การไหลของคาร์บอนในรูปแกลบที่ใช้ในโรงอิฐ (ตัน C/ ปี)

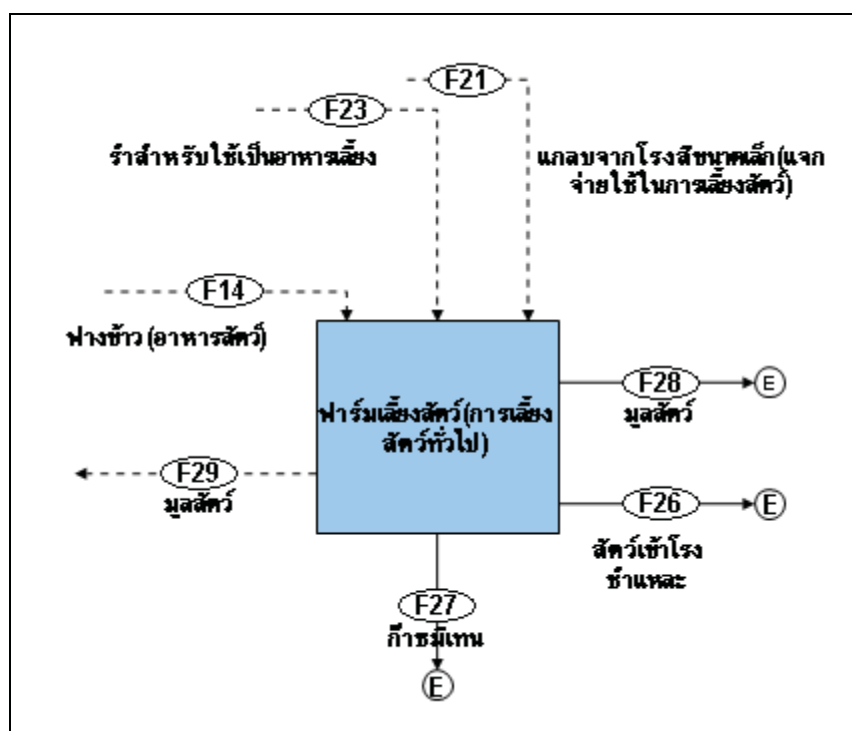
$$F_{c22} = RC_{husk} \times R_{brick}$$

โดย R_{brick} คือ สัดส่วนเปอร์เซ็นต์แกลบที่ใช้ในโรงอิฐ

F_{p22} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปแกลบที่ใช้ในโรงอิฐ (ตัน P/ ปี)

$$F_{p22} = Rp_{husk} \times R_{brick}$$

โดย R_{brick} คือ สัดส่วนเปอร์เซ็นต์แกลบที่ใช้ในโรงอิฐ



รูปที่ 2.17 สารขาเข้าและออกของกระบวนการฟาร์มเลี้ยงสัตว์ (การเลี้ยงสัตว์ทั่วไป)

สมการคำนวณสารขาออก (Equation for output flows)

FC_{26} = การไหลของคาร์บอนในรูปสัตว์เข้าโรงชำแหละ (ตัน C/ ปี)

$$FC_{26} = \sum (N_{\text{animal},i} \times W_{\text{animal},i} \times C_{\text{animal},i}) \text{ เมื่อ } (i = 1.....n)$$

โดย $N_{\text{animal},i}$ คือ จำนวนสัตว์ที่เข้าโรงชำแหละ

$W_{\text{animal},i}$ คือ น้ำหนักสัตว์ที่เข้าโรงชำแหละ (กก./ตัว)

$C_{\text{animal},i}$ คือ สัดส่วนคาร์บอนในสัตว์แต่ละชนิด

FC_{manure} = การไหลของคาร์บอนในรูปมูลสัตว์ทั้งหมด (ตัน C/ ปี)

$$FC_{\text{manure}} = \sum (N_{\text{animal},i} \times M_{\text{animal},i} \times 365 \times C_{\text{animal},i})$$

โดย C_{manure} = สัดส่วนคาร์บอนในมูลสัตว์แต่ละชนิด

Fp_{26} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปสัตว์เข้าโรงชำแหละ (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{26} = \sum (N_{\text{animal},i} \times W_{\text{animal},i} \times P_{\text{animal},i}) \text{ เมื่อ } (i = 1.....n)$$

โดย N_{animal} คือ จำนวนสัตว์ที่เข้าโรงชำแหละ

W_{animal} คือ น้ำหนักสัตว์ที่เข้าโรงชำแหละ (กก./ตัว)

P_{animal} คือ สัดส่วนฟอสฟอรัสในสัตว์แต่ละชนิด

FP_{manure} = การไหลของฟอสฟอรัสในมูลสัตว์ทั้งหมด (ตัน C/ ปี)

$$FP_{\text{manure}} = \sum (N_{\text{animal},i} \times M_{\text{animal},i} \times 365 \times P_{\text{animal},i})$$

โดย P_{manure} = สัดส่วนฟอสฟอรัสในมูลสัตว์แต่ละชนิด

FC_{27} = การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ทั้งหมด (ตัน C/ ปี)

$$FC_{27} = FC_{\text{enteric}} + FC_{\text{mm}}$$

โดย FC_{enteric} คือ การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากสัตว์ (Enteric Fermentation) (ตัน C/ ปี)

$$FC_{\text{enteric}} = \sum (N_{\text{animal}} \times EF_{\text{enteric}})$$

โดย EF_{enteric} คือ Emission factor Enteric fermentation (Kg/head/year) ของสัตว์แต่ละชนิด

FC_{mm} คือ การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากการจัดการมูลสัตว์ (Manure management) (ตัน C/ ปี)

$$FC_{\text{mm}} = \sum (N_{\text{animal}} \times EF_{\text{mm}}) \text{ เมื่อ } (i = 1 \dots n)$$

โดย EF_{mm} คือ Emission factor Manure Management (Kg/head/year) ของสัตว์แต่ละชนิด

FC_{29} = การไหลของคาร์บอนในรูปมูลสัตว์ที่ใช้ทำปุ๋ย (ตัน C/ ปี)

$$FC_{29} = \text{Manure}_{\text{compost}} \times C_{\text{manure-cow}}$$

โดย $\text{Manure}_{\text{compost}}$ คือ น้ำหนักมูลวัวที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก (กก./ตัว/วัน)

$C_{\text{manure-cow}}$ คือ สัดส่วนคาร์บอนในมูลวัว

Fp_{29} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปมูลสัตว์ที่ใช้ทำปุ๋ย (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{29} = \text{Manure}_{\text{compost}} \times P_{\text{manure-cow}}$$

โดย $\text{Manure}_{\text{compost}}$ คือ น้ำหนักมูลวัวที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก (กก./ตัว/วัน)

$P_{\text{manure-cow}}$ คือ สัดส่วนฟอสฟอรัสในมูลวัว

FC_{28} = การไหลของคาร์บอนในรูปมูลสัตว์ที่ออกนอกระบบ (ตัน C/ ปี)

$$FC_{28} = FC_{\text{manure}} - FC_{29}$$

โดย FC_{manure} คือ การไหลของคาร์บอนในรูปมูลสัตว์ทั้งหมด (ตัน C/ ปี)

$$FC_{\text{manure}} = \sum (N_{\text{animal},i} \times M_{\text{animal},i} \times 365 \times C_{\text{animal},i}) \text{ เมื่อ } (i = 1 \dots n)$$

โดยที่

$N_{\text{animal},i}$ คือ จำนวนสัตว์ที่เข้าโรงฆ่าและ

$M_{\text{animal},i}$ คือ น้ำหนักมูลสัตว์แต่ละชนิด (กก./ตัว/วัน)

Fp_{28} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปมูลสัตว์ที่ขายออกนอกพื้นที่ (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{28} = FP_{\text{manure}} - FP_{29}$$

โดย FP_{manure} คือ การไหลของฟอสฟอรัสในรูปมูลสัตว์ทั้งหมด (ตัน P/ ปี)

$$FP_{\text{manure}} = \sum (N_{\text{animal},i} \times M_{\text{animal},i} \times 365 \times P_{\text{animal},i}) \text{ เมื่อ } (i = 1 \dots n)$$

โดยที่

$N_{\text{animal},i}$ คือ จำนวนสัตว์ที่เข้าโรงฆ่าแหละ

$M_{\text{animal},i}$ คือ น้ำหนักมูลสัตว์แต่ละชนิด (กก./ตัว/วัน)

สมการคำนวณสารขาเข้า (Equation for input flows)

Fc_{14} = การไหลของคาร์บอนในรูปฟางข้าวสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์ (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{14} = \text{Straw}_{\text{animals}} \times C_{\text{straw}}$$

โดย $\text{Straw}_{\text{animals}}$ คือ ปริมาณฟางข้าวใช้เป็นอาหารสัตว์

C_{straw} คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในฟางข้าว = $(1 - Ms_{\text{straw}}) \times C_{\text{straw.wet}}$

Fp_{14} = การไหลของคาร์บอนในรูปฟางข้าวสำหรับใช้เลี้ยงสัตว์ (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{14} = \text{Straw}_{\text{animals}} \times P_{\text{straw}}$$

โดย P_{straw} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในฟางข้าว = $(1 - Ms_{\text{straw}}) \times P_{\text{straw.wet}}$

Fc_{21} = การไหลของคาร์บอนในรูปแกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{21} = RC_{\text{husk}} \times R_{\text{animals}}$$

โดย RC_{husk} คือ ปริมาณคาร์บอนในแกลบทั้งหมด

R_{animals} คือ สัดส่วนเปอร์เซ็นต์แกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์

Fp_{21} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปแกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{21} = RC_{\text{husk}} \times R_{\text{animals}}$$

โดย RP_{husk} คือ ปริมาณฟอสฟอรัสในแกลบทั้งหมด

R_{animals} คือ สัดส่วนเปอร์เซ็นต์แกลบที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์

Fc_{23} = การไหลของคาร์บอนในรูปผลผลิตรำข้าว (ตัน C/ ปี)

$$Fc_{23} = (\text{Rice}_{\text{inside}} + \text{Rice}_{\text{outside}}) \times TC_{\text{rb}} \times C_{\text{rb}}$$

โดย TC_{rb} คือ สัดส่วนรำข้าวที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก

C_{rb} คือ สัดส่วนของคาร์บอนในรำข้าว = $(1 - Ms_{\text{rb}}) \times C_{\text{rb.wet}}$

Ms_{rb} = สัดส่วนของความชื้นในรำข้าว

Fp_{23} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปผลผลิตข้าว (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{23} = (Rice_{inside} + Rice_{outside}) \times TP_{rb} \times P_{rb}$$

โดย TP_{rb} คือ สัดส่วนน้ำข้าวที่มาจากผลผลิตข้าวเปลือก

$$P_{rb} \text{ คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสในน้ำข้าว} = (1 - Ms_{rb}) \times P_{rb.wet}$$

$$Ms_{rb} = \text{สัดส่วนของความชื้นในน้ำข้าว}$$

ตาราง 2.9 แสดงแหล่งข้อมูลสารเข้าและสารขาออก ในกระบวนการฟาร์มเลี้ยงสัตว์ (การเลี้ยงสัตว์ทั่วไป)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
ส่วนของมวลสาร					
N_{goat}	แพะ (ตัว)	384	-	-	สำนักงานเกษตร และสหกรณ์ จังหวัดพะเยา
$N_{cow (milk)}$	โคนม (ตัว)	125	-	-	
$N_{cow (beef)}$	โคเนื้อ (ตัว)	45,273	-	-	
$N_{buffalo}$	กระบือ (ตัว)	3,450	-	-	
N_{pig}	สุกร (ตัว)	15,456	-	-	
N_{duck}	เป็ด (ตัว)	30,408	-	-	
$N_{chicken}$	ไก่ (ตัว)	750,246	-	-	กรมปศุสัตว์
W_{goat}	น้ำหนักแพะ/ตัว (กก./ตัว)	50	-	-	
W_{cow}	น้ำหนักโค/ตัว (กก./ ตัว)	300	-	-	
$W_{buffalo}$	น้ำหนักกระบือ/ตัว (กก./ตัว)	300	-	-	
W_{pig}	น้ำหนักสุกร/ตัว (กก./ตัว)	100	-	-	
W_{duck}	น้ำหนักเป็ด/ตัว (กก./ตัว)	3	-	-	
$W_{chicken}$	น้ำหนักไก่/ตัว (กก./ ตัว)	1.786	-	-	

ตาราง 2.9 (ต่อ)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
ส่วนของมูลสาร					
M _{goat}	น้ำหนักรมูลแพะ (กก./ตัว/วัน)	0.16	-	-	กรมวิชาการ เกษตร
M _{cow}	น้ำหนักรมูลโค (กก./ตัว/วัน)	3.00	-	-	
M _{buffalo}	น้ำหนักรมูลกระบือ (กก./ตัว/วัน)	3.00	-	-	
M _{pig}	น้ำหนักรมูลสุกร (กก./ตัว/วัน)	1.40	-	-	
M _{duck}	น้ำหนักรมูลเป็ด (กก./ตัว/วัน)	0.03	-	-	
M _{chicken}	น้ำหนักรมูลไก่ (กก./ตัว/วัน)	0.03	-	-	
Manure _{compost}	ปริมาณมูลโคที่ใช้ ผลิตปุ๋ย	1,250	1,187.5	1,312.5	จากการเก็บข้อมูล ภาคสนาม
ส่วนของคาร์บอน					
C _{goat}	สัดส่วนคาร์บอนใน แพะ	0.18	-	-	Ridle (1993)
C _{cow}	สัดส่วนคาร์บอนในโค	0.32	-	-	
C _{buffalo}	สัดส่วนคาร์บอนใน กระบือ	0.32	-	-	
C _{pig}	สัดส่วนคาร์บอนใน สุกร	0.18	-	-	
C _{duck}	สัดส่วนคาร์บอนใน เป็ด	0.18	-	-	
C _{chicken}	สัดส่วนคาร์บอนใน ไก่	0.18	-	-	Ridle (1993)

ตาราง 2.9 (ต่อ)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
$C_{\text{manure-goat}}$	สัดส่วนคาร์บอนใน มูลแพะ	0.15	-	-	กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการ เกษตร, 2545
$C_{\text{manure-cow}}$	สัดส่วนคาร์บอนใน มูลโค	0.47	-	-	
$C_{\text{manure-buffalo}}$	สัดส่วนคาร์บอนใน มูลกระบือ	0.47	-	-	
$C_{\text{manure-pig}}$	สัดส่วนคาร์บอนใน มูลสุกร	0.26	-	-	
$C_{\text{manure-duck}}$	สัดส่วนคาร์บอนใน มูลเป็ด	0.10	-	-	
$C_{\text{manure-chicken}}$	สัดส่วนคาร์บอนใน มูลไก่	0.10	-	-	
$EF_{\text{enteric-goat}}$	Emission factor Enteric fermentation (Kg/head/year) ของ แพะ	5.00	NA	NA	รายงานฉบับ สมบูรณ์การจัดทำ ก๊าซเรือนกระจก ในประเทศไทยใน ภาคการเกษตร
$EF_{\text{enteric-cow (milk)}}$	Emission factor Enteric fermentation (Kg/head/year) ของ โคนม	68.90	NA	NA	
$EF_{\text{enteric-cow (beef)}}$	Emission factor Enteric fermentation (Kg/head/year) ของ โคเนื้อ	56.63	NA	NA	
$EF_{\text{enteric-buffalo}}$	Emission factor Enteric fermentation (Kg/head/year) ของ กระบือ	48.06	NA	NA	

ตาราง 2.9 (ต่อ)

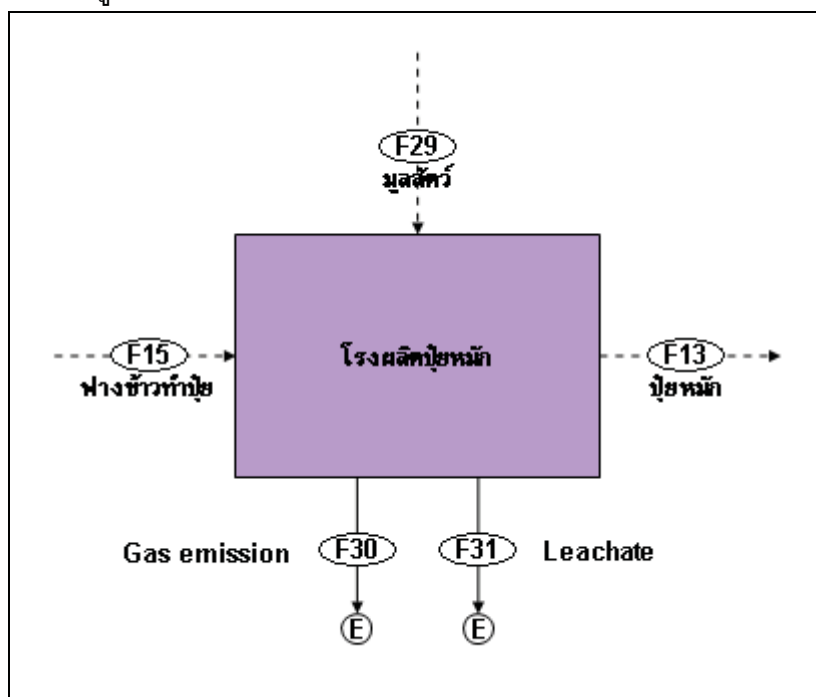
ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
EF _{enteric-pig}	Emission factor				รายงานฉบับ สมบูรณ์การจัดทำ ก๊าซเรือนกระจก ในประเทศไทยใน ภาคการเกษตร
	Enteric fermentation (Kg/head/year) ของ สุกร	1.50	NA	NA	
EF _{mm-goat}	Emission factor				รายงานฉบับ สมบูรณ์การจัดทำ ก๊าซเรือนกระจก ในประเทศไทยใน ภาคการเกษตร
	Manure Management (Kg/head/year) ของ แพะ	0.22	NA	NA	
EF _{mm-cow (milk)}	Emission factor				
	Manure Management (Kg/head/year) ของ โคนม	25.96	NA	NA	
EF _{mm-cow (Beef)}	Emission factor				รายงานฉบับ สมบูรณ์การจัดทำ ก๊าซเรือนกระจก ในประเทศไทยใน ภาคการเกษตร
	Manure Management (Kg/head/year) ของ โคเนื้อ	5.01	NA	NA	
EF _{mm-buffalo}	Emission factor				
	Manure Management (Kg/head/year) ของ กระบือ	1.62	NA	NA	
EF _{mm-pig}	Emission factor				
	Manure Management (Kg/head/year) ของ สุกร	10.53	NA	NA	

ตาราง 2.9 (ต่อ)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
ส่วนของฟอสฟอรัส					
P _{goat}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน แพะ	0.0065	-	-	Beaton et al.,2001
P _{cow}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน โค	0.0013	-	-	
P _{buffalo}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน กระบือ	0.00135	-	-	
P _{pig}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน สุกร	0.00385	-	-	
P _{duck}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน เป็ด	0.005	-	-	Beaton et al.,2001
P _{chicken}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน ไก่	0.0045	-	-	คำนวณโดยวิธี Mass Balance
P _{manure-goat}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน มูลแพะ	0.003	-	-	
P _{manure-cow}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน มูลโค	0.0014	-	-	
P _{manure-buffalo}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน มูลกระบือ	0.00195	-	-	
P _{manure-pig}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน มูลสุกร	0.00545	-	-	
P _{manure-duck}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน มูลเป็ด	0.008	-	-	
P _{manure-chicken}	สัดส่วนฟอสฟอรัสใน มูลไก่	0.00473895	-	-	

กระบวนการโรงปุ๋ยหมัก

การหาข้อมูลของการไหลของมวลของสินค้าและความเข้มข้นของสารในกระบวนการโรงปุ๋ยหมัก ได้นำเสนอในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 สารขาเข้าและออกของกระบวนการปุ๋ยหมัก

สมการคำนวณสารขาออก (Equation for output flows)

$F_{C_{30}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการผลิตปุ๋ย (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_{30}} = \text{Input}_{\text{compost}} \times TC_{\text{off-gas}}$$

โดย $TC_{\text{off-gas}}$ คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่ออกจากกระบวนการทำปุ๋ยหมักในรูปของก๊าซ

$F_{C_{31}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปน้ำชะ (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_{31}} = \text{Input}_{\text{compost}} \times TC_{\text{leachate}}$$

โดย TC_{leachate} คือ สัดส่วนของคาร์บอนในน้ำชะ

$F_{P_{31}}$ = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปน้ำชะ (ตัน P/ ปี)

$$F_{P_{31}} = \text{Input}_{\text{compost}} \times TP_{\text{leachate}}$$

โดย TP_{leachate} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสในน้ำชะ

$F_{C_{13}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปผลผลิตปุ๋ยหมัก (ตัน C/ ปี)

$$F_{C_{13}} = \text{Input}_{\text{compost}} \times TC_{\text{compost}}$$

โดย $TC_{compost}$ คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่ออกจากกระบวนการทำปุ๋ยหมักในรูปผลผลิตปุ๋ยหมัก

Fp_{13} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปผลผลิตปุ๋ยหมัก (ตัน P/ ปี)

$$Fp_{13} = Input_{compost} \times TP_{compost}$$

โดย $TP_{compost}$ คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่ออกจากกระบวนการทำปุ๋ยหมักในรูปผลผลิตปุ๋ยหมัก

สมการคำนวณสารขาเข้า (Equation for input flows)

$$\text{คาร์บอนขาเข้าที่ใช้ผลิตปุ๋ยหมัก (Input}_{compost}) = Fc_{15} + Fc_{29}$$

Fc_{15} = การไหลของคาร์บอนในรูปฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย (ตัน C/ ปี)

Fc_{29} = การไหลของคาร์บอนในรูปมูลสัตว์ที่ใช้ทำปุ๋ย (ตัน C/ ปี)

$$\text{ฟอสฟอรัสขาเข้าที่ใช้ผลิตปุ๋ยหมัก (Input}_{compost}) = Fp_{15} + Fp_{29}$$

Fp_{15} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย (ตัน P/ ปี)

Fp_{29} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปมูลสัตว์ที่ใช้ทำปุ๋ย (ตัน P/ ปี)

ตาราง 2.10 แสดงแหล่งข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออก ในกระบวนการโรงปุ๋ยหมัก

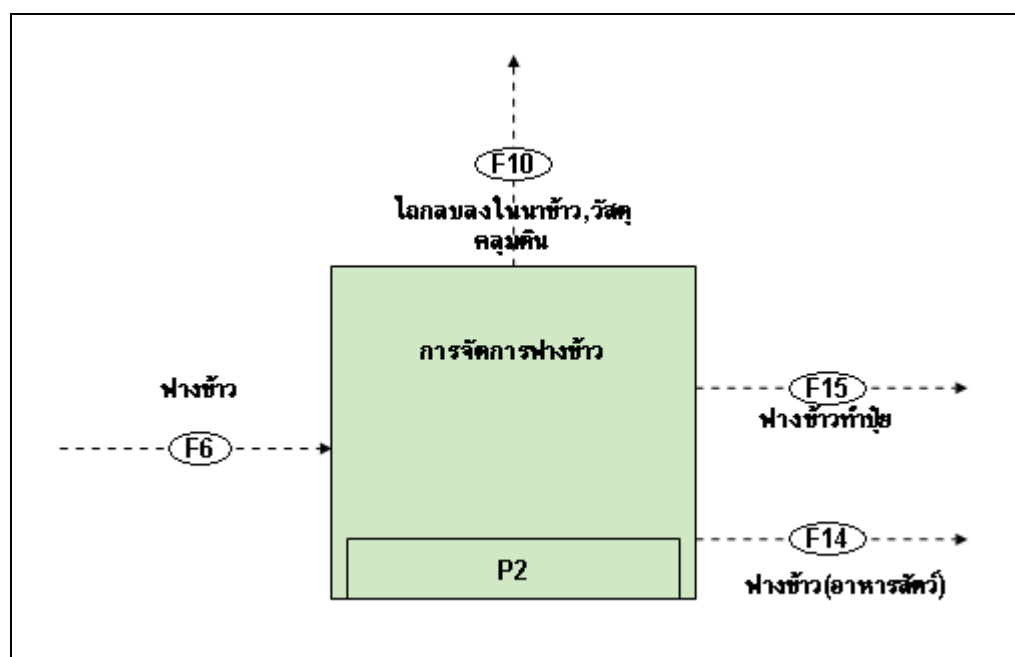
ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
ส่วนของมวลสาร					
$Input_{compost}$	มวลสารขาเข้าที่ใช้ผลิตปุ๋ยหมัก	1,730	-	-	จากการคำนวณ
ส่วนของคาร์บอน					
$TC_{compost}$	สัดส่วนของคาร์บอนที่ออกจากกระบวนการทำปุ๋ยหมักในรูปผลผลิตปุ๋ยหมัก	0.61			Belevi (2002)
$TC_{off-gas}$	สัดส่วนของคาร์บอนที่ออกจากกระบวนการทำปุ๋ยหมักในรูปของก๊าซ	0.36	-	-	Belevi (2002)
$TC_{leachate}$	สัดส่วนของคาร์บอนในน้ำชะ	0.03	-	-	Belevi (2002)
$InputC_{compost}$	คาร์บอนขาเข้าที่ใช้ผลิตปุ๋ยหมัก	748.77	-	-	จากการคำนวณ

ตาราง 2.10 (ต่อ)

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
ส่วนของฟอสฟอรัส					
$TP_{compost}$	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสที่ออกจาก กระบวนการทำปุ๋ย หมักในรูปผลผลิตปุ๋ย หมัก	0.99	-	-	Belevi (2002)
$TP_{leachate}$	สัดส่วนของ ฟอสฟอรัสในน้ำชะ	0.01	-	-	Belevi (2002)
$InputP_{compost}$	ฟอสฟอรัสเข้าที่ใช้ ผลิตปุ๋ยหมัก	5.46	-	-	จากการคำนวณ

กระบวนการการจัดการฟางข้าว

การหาข้อมูลของการไหลของมวลของสินค้าและความเข้มข้นของสารในกระบวนการจัดการฟางข้าว ได้นำเสนอในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 สารขาเข้าและออกของกระบวนการจัดการฟางข้าว

สมการคำนวณสารขาออก (Equation for output flows)

F_{C14} = การไหลของคาร์บอนในรูปฟางข้าวที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ (ตัน C/ ปี)

$$F_{C14} = \text{Straw}_{\text{animals}} \times C_{\text{straw}}$$

โดย $\text{Straw}_{\text{animals}}$ คือ ปริมาณฟางข้าวที่ใช้เป็นอาหารสัตว์

C_{straw} คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในฟางข้าว

F_{P14} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปฟางข้าวที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ (ตัน P/ ปี)

$$F_{P14} = \text{Straw}_{\text{animals}} \times P_{\text{straw}}$$

โดย $\text{Straw}_{\text{animals}}$ คือ ปริมาณฟางข้าวที่ใช้เป็นอาหารสัตว์

P_{straw} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในฟางข้าว

F_{C15} = การไหลของคาร์บอนในรูปฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย (ตัน C/ ปี)

$$F_{C15} = \text{Straw}_{\text{compost}} \times C_{\text{straw}}$$

โดย $\text{Straw}_{\text{compost}}$ คือ ปริมาณฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย

C_{straw} คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในฟางข้าว = $(1 - M_{\text{straw}}) \times C_{\text{straw.wet}}$

F_{P15} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย (ตัน P/ ปี)

$$F_{P15} = \text{Straw}_{\text{compost}} \times P_{\text{straw}}$$

โดย $\text{Straw}_{\text{compost}}$ คือ ปริมาณฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย

P_{straw} คือ สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในฟางข้าว = $(1 - M_{\text{straw}}) \times P_{\text{straw.wet}}$

F_{C10} = การไหลของคาร์บอนในรูปฟางข้าวที่ทิ้งไว้ในแปลงนา (ตัน C/ ปี)

$$F_{C10} = F_{C6} - F_{C14} - F_{C15}$$

โดย F_{C6} คือ ปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวทั้งหมด (หักส่วนที่ถูกเผาแล้ว) = $\text{Straw} -$

$\text{Straw}_{\text{burn}}$

F_{P10} = การไหลของฟอสฟอรัสในรูปฟางข้าวที่ทิ้งไว้ในแปลงนา (ตัน P/ ปี)

$$F_{P10} = F_{P6} - F_{P14} - F_{P15}$$

โดย F_{P6} คือ ปริมาณฟอสฟอรัสในฟางข้าวทั้งหมด (หักส่วนที่ถูกเผาแล้ว) = $\text{Straw} -$

$\text{Straw}_{\text{burn}}$

สมการคำนวณสารขาเข้า (Equation for input flows)

F_{C6} คือ ปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวทั้งหมด (หักส่วนที่ถูกเผาแล้ว) (ตัน C/ ปี)

$$F_{C6} = (\text{Straw} \times C_{\text{straw}}) - F_{C3}$$

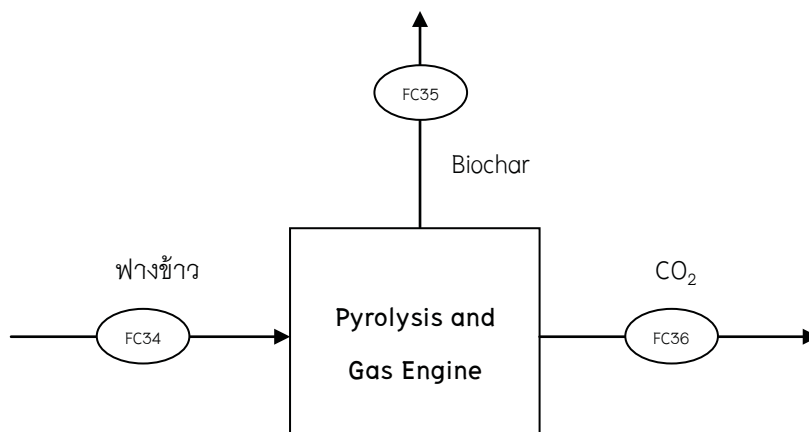
Fp_6 คือ ปริมาณฟอสฟอรัสในฟางข้าวทั้งหมด (หักส่วนที่ถูกเผาแล้ว) (ตัน P/ ปี)

$$Fp_6 = (\text{Straw} \times p_{\text{straw}}) - Fp_3$$

ตาราง 2.11 แสดงแหล่งข้อมูลสารเข้าและสารขาออก ในกระบวนการจัดการฟางข้าว

ชื่อสาร	คำอธิบาย	ค่าเฉลี่ย	Min	Max	แหล่งข้อมูล
ส่วนของมวลสาร					
$\text{Straw}_{\text{animals}}$	ปริมาณฟางข้าวใช้เป็นอาหารสัตว์	37,627.70	35,746.32	39,509.09	จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม
$\text{Straw}_{\text{compost}}$	ปริมาณฟางข้าวที่ใช้ทำปุ๋ย	480	456	504	จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม
ส่วนของคาร์บอน					
C_{straw}	สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในฟางข้าว	0.3435	0.3263	0.3607	จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในพื้นที่
ส่วนของฟอสฟอรัส					
P_{straw}	สัดส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในฟางข้าว	0.072	0.0684	0.0756	จากการวิเคราะห์ตัวอย่างในพื้นที่

กระบวนการ Pyrolysis ฟางข้าว



รูปที่ 2.20 สารขาเข้าและออกของกระบวนการ Pyrolysis and Gas Engine

$F_{C_{34}}$ = การไหลของคาร์บอนในฟางข้าวที่ไปเข้ากระบวนการ Pyrolysis and Gas Engine

$F_{C_{35}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปแบบ Biochar ที่ใส่กลับไปในนาข้าว

$$F_{C_{35}} = F_{C_{34}} \times TC_{Char_pyro}$$

$$TC_{Char_pyro} = 0.15 \text{ (ศุภวิทย์, 2556)}$$

โดย TC_{Char_pyro} คือ Transfer Coefficient ของการ Pyrolysis ฟางข้าวเป็น Biochar

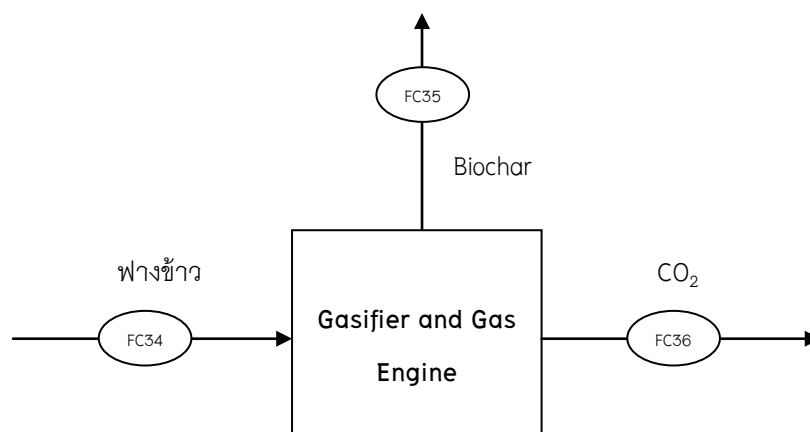
$F_{C_{36}}$ = การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการ Pyrolysis and Gas Engine

$$F_{C_{36}} = F_{C_{34}} \times TC_{off-gas \text{ Pyrolysis}}$$

$$TC_{off-gas \text{ Pyrolysis}} = 0.85 \text{ (ศุภวิทย์, 2556)}$$

โดย $TC_{off-gas \text{ Pyrolysis}}$ คือ Transfer Coefficient ของ off-gas ที่ออกมาจากกระบวนการ Pyrolysis and gas engine

กระบวนการ Gasification ฟางข้าว



รูปที่ 2.21 สารขาเข้าและออกของกระบวนการ Gasification and Gas Engine

F_{c34} = การไหลของคาร์บอนในฟางข้าวที่ไปเข้ากระบวนการ Pyrolysis and Gas Engine

F_{c35} = การไหลของคาร์บอนในรูปแบบ Biochar ที่ใส่กลับไปในนาข้าว

$$F_{c35} = F_{c34} \times TC_{Char_Gasi}$$

$$TC_{Char_Gasi} = 0.05 \text{ (ศุภวิทย์ ,2556)}$$

โดย TC_{Char_Gasi} คือ Transfer Coefficient ของการ Gasify ฟางข้าวเป็น Biochar

F_{c36} = การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการ Pyrolysis and Gas Engine

$$F_{c36} = F_{c34} \times TC_{off-gas_Gasi}$$

$$TC_{off-gas_Gasi} = 0.95 \text{ (ศุภวิทย์ ,2556)}$$

โดย $TC_{off-gas_Pyrolysis}$ คือ Transfer Coefficient ของ off-gas ที่ออกมาจากกระบวนการ Gasification and gas engine

การวิเคราะห์การไหลของคาร์บอน (C) และฟอสฟอรัส (P) ในสารขาเข้าและออก โดยใช้โปรแกรม STAN2

การวิเคราะห์การไหลของสาร สามารถใช้อธิบายถึงเส้นทางผ่านเข้า-ออก ของสาร จากจุดที่สารนั้นเริ่มต้นตั้งแต่กระบวนการปลูกข้าวและดินในนาข้าว ผ่านขั้นตอนทั้งหมดของกระบวนการแปรรูปผลผลิตจนถึงขั้นตอนการกำจัด รวมถึงการปล่อยสารนั้นออกสู่สิ่งแวดล้อม ในรูปของมลพิษทางอากาศ ทางน้ำ ขยะของเสีย อาจเรียกการวิเคราะห์นี้ว่า การทำบัญชีการไหลของสารหรือวัสดุ (ทางกายภาพ) ซึ่งสิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของสาร คือ ทำให้ได้ปริมาณสารขาเข้าของแต่ละกระบวนการ (หน่วย) ย่อย และระบบรวมทั้งหมด ได้ปริมาณสารขาออกของแต่ละกระบวนการ

ย่อย (หน่วย) และระบบรวมทั้งหมด และได้ปริมาณสารสะสม (สต็อก) ในแต่ละกระบวนการ (หน่วย) ย่อย และระบบรวม ทั้งหมด ด้วยโปรแกรม STAN2

การวิเคราะห์การไหลของ C และ P

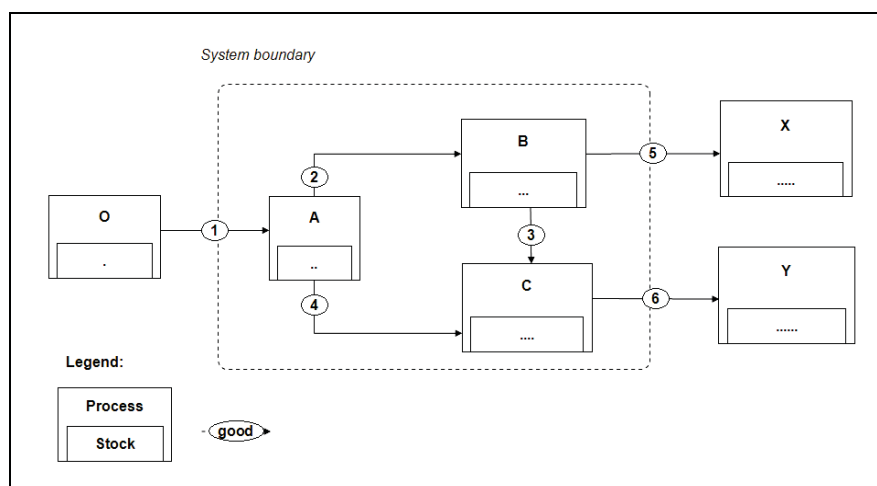
สิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของสาร คือ

1. ปริมาณสารขาเข้าของแต่ละกระบวนการ (หน่วย) ย่อย และระบบรวมทั้งหมด
2. ปริมาณสารขาออกของแต่ละกระบวนการย่อย (หน่วย) และระบบรวมทั้งหมด
3. ปริมาณสารสะสม (สต็อก) ในแต่ละกระบวนการ(หน่วย)ย่อย และระบบรวมทั้งหมด

หลักในการวิเคราะห์ จะใช้หลักการทำสมดุลมวลสาร,สสาร (Mass balance) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของกฎการอนุรักษ์มวล ว่ามวลสารไม่สูญหาย หรือถูกทำลายไป ถ้าพิจารณาระบบ (ดังแสดงในรูปที่ 2.22) ที่มีมวลสารไหลผ่านเข้าออก สมการทั่วไป ของสมดุลมวลสาร ในแต่ละกระบวนการ(หน่วย)ย่อย และระบบรวมคือ

$$\text{สารที่สะสมในระบบ} = \text{สารที่เข้าสู่ระบบ} - \text{สารที่ออกจากระบบ}$$

ในการศึกษาวิเคราะห์เบื้องต้นเราจะสมมติว่า ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady state) หมายถึง สารที่เข้าและออกคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แล้วจึงวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการวิเคราะห์การไหล



รูปที่ 2.22 ผังอย่างง่ายแสดงการไหลของสาร (หรือวัสดุ ผลิตภัณฑ์) อันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Brunner and Rechberger, 2004

ขั้นตอนเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์การไหลของสาร อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การวิเคราะห์ระบบ และ การเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถแยกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ดังนี้ (Baccini and Bader, 1996; Brunner and Rechberger, 2004; Kwonpongsagoon et al., 2007a)

1. เลือกขอบเขตของระบบ (System boundary) สารหรือวัสดุ (Substance, Material) และระยะเวลาที่สนใจจะศึกษาเก็บข้อมูล
 2. ระบุผลิตภัณฑ์สินค้า กระบวนการผลิต ขนส่ง แปรรูป ที่เกี่ยวข้องกับสารที่สนใจ
 3. เขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย และการไหลของสาร
 4. เก็บข้อมูล เช่น ปริมาณผลิตภัณฑ์สินค้า (การผลิต ขนส่ง อุปโภคบริโภค) ปริมาณสินค้าที่หมดสภาพกลายเป็นขยะเพื่อทิ้ง กำจัดหรือนำกลับมาใช้ใหม่ ปริมาณสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ รวมถึงปริมาณมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม
 5. คำนวณปริมาณการไหลของสาร ใช้หลักสมดุลมวลสารที่กล่าวแล้วข้างต้น
 6. เขียนแผนภูมิเชิงปริมาณสรุปผลการวิเคราะห์ แสดงการไหลของสารทั้งระบบ
- ด้วยหลักการและวิธีวิเคราะห์การไหลของสารเบื้องต้น จะทำให้ได้ข้อมูลสนับสนุนนโยบายการบริหารจัดการสารเคมี ทำให้เข้าใจถึงสาเหตุ ของปัญหาในภาพรวม ทั้งระบบก่อนการตัดสินใจดำเนินการใด ๆ

STAN (a tailored software for Substance flow analysis)

STAN a tailored software for Substance flow analysis การวิเคราะห์การไหลของสาร เป็น Freeware ที่ช่วยในการดำเนินการวิเคราะห์การไหลของวัสดุตามมาตรฐาน ÖNorm ออสเตรีย S 2096 (การวิเคราะห์การไหลของวัสดุ)

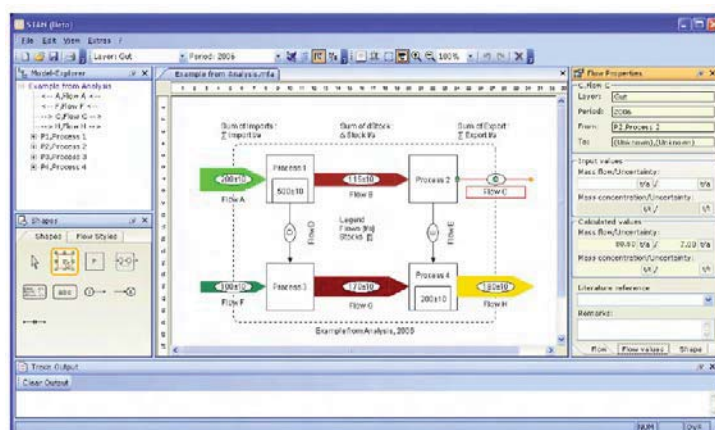
หลังจากการสร้างแบบจำลองกราฟิกที่มีส่วนประกอบที่กำหนดไว้ล่วงหน้า (กระบวนการไหล เขตแดนระบบช่องข้อความ) สามารถป้อนหรือนำเข้าข้อมูลที่รู้จักกัน (กระแสมวล, ความเข้มข้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอน) สำหรับชั้นที่แตกต่างกัน (สาร, พลังงาน) และระยะเวลาที่จะคำนวณเพื่อต้องการปริมาณที่ทราบค่า กระแสทั้งหมดสามารถแสดงใน Sankey-style คือความกว้างของการไหลเป็นสัดส่วนกับมูลค่าของมวลสาร ภาพกราฟิกของแบบจำลองที่สามารถพิมพ์หรือส่งออกสำหรับข้อมูลที่นำเข้าและส่งออกของ Microsoft Excel จะใช้เป็นอินเทอร์เน็ตเฟช

ผู้เชี่ยวชาญมีความเป็นไปได้ที่จะต้องพิจารณาความไม่แน่นอนของข้อมูล อัลกอริทึมที่ใช้ในการคำนวณ เครื่องมือทางสถิติทางคณิตศาสตร์ เช่น ข้อมูลและข้อผิดพลาดของการขยายพันธุ์

คุณลักษณะสำคัญ

1. สร้างระบบย่อย
2. คำนวณของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า
3. การหาข้อผิดพลาดในการขยายพันธุ์
4. การตรวจสอบข้อผิดพลาดของมวลรวม
5. สามารถนำเข้าข้อมูลเข้า-ส่งออกจากไปยัง MS Excel ได้

User Interface



รูปที่ 2.23 โปรแกรม STAN a tailored software for Substance flow analysis

2.3 การวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง (Scenario analysis)

การวิเคราะห์สถานการณ์จำลองจะทำการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองจากการปรับปรุงการจัดการเกษตรและชีวมวลเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการหมุนเวียนของคาร์บอนและฟอสฟอรัสมาสู่ดิน โดยเลือกหลักการที่สามารถเป็นไปได้มากที่สุดที่เหมาะสมกับพื้นที่ เช่น การไขนํ้าออกกลางฤดูไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการทำสถานการณ์จำลองเนื่องจากในพื้นที่กว่าร้อยละ 90 เป็นการทำนาปีซึ่งอาศัยน้ำฝน จึงไม่สามารถใช้ทางเลือกการไขนํ้าออกกลางฤดูได้

โดยหาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร (Transfer-coefficient: TC) เพื่อใช้คำนวณสารขาออกที่เปลี่ยนแปลงไป จากการทบทวนวรรณกรรมต่างๆ ที่มีลักษณะและสภาพใกล้เคียงกับงานนี้มากที่สุด แล้วนำไปคูณกับค่าการไหลของสารหรือก๊าซเรือนกระจกของสถานการณ์ปัจจุบัน (ปีเก็บข้อมูล 2553) ซึ่งในที่นี้ให้ใช้เป็นสถานการณ์ฐาน (Basecase) เพื่อหาการไหลของสารที่เปลี่ยนไปในสถานการณ์จำลอง โดยการศึกษานี้ได้กำหนดทางเลือกออกเป็น 7 ทางเลือกหรือ 7 สถานการณ์จำลองดังนี้

Scenario 1 : ทางเลือกที่ 1 การใช้ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนที่ปุ๋ยยูเรีย 15 กก./ไร่

การทำนาในพื้นที่ศึกษานี้ส่วนใหญ่จะทำการใส่ปุ๋ยยูเรียเพื่อบำรุงรักษา ครั้งที่ 2 ดังนั้นผู้ศึกษาจึงใช้ทางเลือกนี้การใช้ปุ๋ยเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนที่ปุ๋ยยูเรีย 15 ก.ก./ไร่ เพื่อลดก๊าซเรือนกระจก จากการศึกษาของพัชรและคณะ (2547) พบว่าสามารถลดการปล่อย CH_4 ได้ประมาณ 11% ดังนั้นค่า ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร (TC) ที่ได้จากการเลือกทางเลือกนี้คือ

$$\text{TC}_{\text{fertilizer}_m} 1 - 0.11 = 0.89$$

การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากนาข้าว จากทางเลือกนี้คือ

$$\text{FC}_2 = \text{FC}_{2(\text{Baseline})} \times 0.89$$

ในส่วนการไหลของ P ในทางเลือกนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

Scenario 2 : ทางเลือกที่ 2 การไถกลบตอซังลงในดิน มากกว่า 30 วัน ก่อนการขังน้ำเพื่อทำนา

การทำนาในพื้นที่ศึกษานี้ส่วนใหญ่จะทำการไถกลบตอซังลงในดินก่อนทำการขังน้ำเพื่อทำนาในรอบต่อไปแค่หนึ่งหรือสองสัปดาห์ล่วงหน้าเท่านั้นดังนั้นตอซังซึ่งยังย่อยสลายไม่หมด หลังจากจมภายใต้น้ำขังและจะเกิดการหมักแบบไร้อากาศซึ่งก่อให้เกิดก๊าซมีเทนในช่วงต้นของการทำนามาก ดังนั้นผู้ศึกษาจึงใช้ทางเลือกนี้เพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ศึกษา

การไถกลบตอซังลงในดินมากกว่า 30 วัน ก่อนขังน้ำเพื่อทำนา นั้นผู้ศึกษาได้หาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร (TC) โดยดัดแปลงจากการศึกษาของ Perret et al., (2012) ซึ่งใช้สมการคำนวณค่า Scaling factor related to organic amendments จาก IPCC (2006)

CH₄ emission scaling factor related to organic amendments, Sfo

$$SF_0 = (1 + \sum_1 ROA_1 \cdot CFOA_1)^{0.59} \quad (\text{based on IPCC guideline, 2006})$$

Where ;

ROA₁ = application rate of organic amendment i, in weight for rice straw (as practiced in study areas, ton ha⁻¹)

CFOA₁ = conversion factor for organic amendment i (in terms of its relative effect with respect to straw applied shortly before cultivation)

(IPCC guideline, 2006)

application rate of organic amendment ROA ₁ , according to in-field straw management (ton ha ⁻¹)			Conversion factor for dry straw as organic amendment CFOA	
Full incorporation in soil	Livestock grazing	In field-burning	Straw incorporated less than 30 days before cultivation	Straw incorporated more than 30 days before cultivation
North : 3.4 North East : 2.7	0.5	0.3	1	0.29
Sourec : authors' data assumption, on account of field observation. Note : in-field burning is never complete and leaves at least rice rooting systems			Sourec : IPCC (2006)	

โดยใช้ค่า ROA (ปริมาณการใช้สารอินทรีย์หรือชีวมวลในการใส่ลงไนดิน ที่เป็นหน่วยน้ำหนักแห้งของฟางหรือตอซัง ที่ทำอยู่ในพื้นที่ศึกษา, ton/ha) ลักษณะไถกลบตอซังทั้งหมดลงในดิน (Full

incorporate in soil) จึงมีสารอินทรีย์หรือชีวมวลในการใส่ลงในดิน ในอัตรา 3.4 ton/ha (Perret et al., 2012)

ใช้ค่า CFOA ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงค่าก๊าซเรือนกระจกการไถกลบต่อชั่งในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยงานนี้จะเลือกใช้ของ IPCC 2006 คือ

ถ้ามีการไถกลบต่อชั่งน้อยกว่า 30 วัน ก่อนวันขังน้ำเพื่อทำนาจะมีค่า CFOA = 1

ถ้ามีการไถกลบต่อชั่งน้อยกว่า 30 วัน ก่อนวันขังน้ำเพื่อทำนาจะมีค่า CFOA = 0.29

ดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณตามสมการข้างต้น

ค่า SF_0 กรณีการไถกลบต่อชั่งน้อยกว่า 30 วัน ก่อนวันขังน้ำเพื่อทำนา ของกรณีฐาน (Base case) ของการศึกษานี้จะมีค่า = 3.205

ค่า SF_0 กรณีการไถกลบต่อชั่งมากกว่า 30 วัน ก่อนวันขังน้ำเพื่อทำนา ของการศึกษานี้จะมีค่า = 1.991

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร สำหรับการปล่อยมีเทนในทางเลือกนี้คือ

$$TC_{\text{incorporate_m}} = 1.991/3.205 = 0.621$$

ดังนั้น

การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากนาข้าว จากทางเลือกนี้คือ

$$FC_{2(\text{new})} = FC_{2(\text{basecase})} \times TC_{\text{incorporate_m}}$$

นอกจากนั้นเนื่องจากการไถกลบต่อชั่งก่อนที่จะขังน้ำเป็นเวลานาน ดังนั้นต่อชั่งส่วนหนึ่งจะถูกย่อยไปกลายเป็นการเพิ่ม C flow ในส่วนของ CO_2 จากการหายใจของดิน ดังนั้นค่า CO_2 จากการหายใจของดินในสถานการณ์จำลองนี้จะมีค่า

$$FC_4 = FC_{4(\text{Baseline})} + (FC_{2(\text{Baseline})} - FC_{2(\text{new})})$$

ในส่วนการไหลของ P ในทางเลือกนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

Scenario 3 : ทางเลือกที่ 3 เอาฟางข้าวออกจากนาข้าว 80%

การทำนาในพื้นที่ศึกษานี้ส่วนใหญ่ หลังจากที่ได้เก็บเกี่ยวแล้วจะมีการทิ้งตอซังและฟางข้าวไว้ในนา ส่วนใหญ่จะทำการไถกลบตอซังลงดินก่อนทำการขังน้ำเพื่อทำนาในรอบต่อไปแค่หนึ่งหรือสองสัปดาห์ล่วงหน้าเท่านั้น ดังนั้นตอซังซึ่งยังย่อยสลายไม่หมด เกิดการหมักแบบไร้อากาศซึ่งก่อให้เกิดก๊าซมีเทนในช่วงต้นของการทำนามาก ดังนั้นผู้ศึกษาจึงใช้ทางเลือกนี้เพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตามกรณีนี้จำเป็นต้องมีแนวทางรองรับว่าเมื่อนำออกไปแล้วจะนำไปใช้ประโยชน์อะไรอย่างไรต่อกับฟางข้าว

การนำฟางข้าวออกจากนาข้าว 80% นั้นผู้ศึกษาได้หาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร (TC) โดยประเมินจากการศึกษาของ Miura (1995) และ Naser et al., (2007) ซึ่งพบว่า

สามารถลดการปล่อย CH_4 ได้เฉลี่ยประมาณ 70% ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร สำหรับการปล่อยมีเทนในทางเลือกนี้คือ

$$\text{TC}_{\text{straw80_m}} = 1 - 0.7 = 0.3$$

การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากนาข้าว จากทางเลือกนี้คือ

$$\text{FC}_{2(\text{new})} = \text{FC}_{2(\text{Baseline})} \times \text{TC}_{\text{straw80_m}}$$

การนำฟางข้าวออกจากนาข้าวไป ทำให้ปริมาณ CO_2 จากการย่อยสลายฟางลดลงไปตามสัดส่วนด้วย จากการศึกษานี้ของ Kimura et al., (2004) พบว่า ค่าประมาณ 70% ของฟางข้าวที่เหลืออยู่และถูกไถกลบลงไปใต้นาข้าวจะถูกย่อยสลายภายใน 240 วัน

ปริมาณฟางข้าวที่ถูกไถกลบลงในนาข้าวในสถานการณ์จำลองนี้

$$\text{FC}_{6(\text{new})} = \text{FC}_{6(\text{Baseline})} \times 0.2$$

ดังนั้น CO_2 จากการหายใจของดินในสถานการณ์จำลองนี้

$$\text{FC}_4 = \text{FC}_{6(\text{new})} \times 0.7$$

Scenario 4 : ทางเลือกที่ 4 เอาฟางข้าวออกจากนาข้าว 50%

การทำนาในพื้นที่ศึกษานี้ส่วนใหญ่ หลังจากที่ได้เก็บเกี่ยวแล้วจะมีการทิ้งตอซังและฟางข้าวไว้ในนา ส่วนใหญ่จะทำการไถกลบตอซังลงดินก่อนทำการขังน้ำเพื่อทำนาในรอบต่อไปแค่หนึ่งหรือสองสัปดาห์ล่วงหน้าเท่านั้น ดังนั้นตอซังซึ่งยังย่อยสลายไม่หมด เกิดการหมักแบบไร้อากาศซึ่งก่อให้เกิดก๊าซมีเทนในช่วงต้นของการทำนามาก ดังนั้นผู้ศึกษาจึงใช้ทางเลือกนี้เพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตามกรณีนี้จำเป็นต้องมีแนวทางรองรับว่าเมื่อนำออกไปแล้วจะนำไปใช้ประโยชน์อะไรอย่างไรต่อกับฟางข้าว

การนำฟางข้าวออกจากนาข้าว 50% นั้นผู้ศึกษาได้หาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร (TC) โดยประเมินจากการศึกษาของ Miura (1995) และ Naser et al., (2007) ซึ่งพบว่าสามารถลดการปล่อย CH_4 ได้เฉลี่ยประมาณ 35% ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร สำหรับการปล่อยมีเทนในทางเลือกนี้คือ

$$\text{TC}_{\text{straw50_m}} = 1 - 0.35 = 0.65$$

การไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากนาข้าว จากทางเลือกนี้คือ

$$\text{FC}_2 = \text{FC}_{2(\text{Baseline})} \times \text{TC}_{\text{straw50_m}}$$

การนำฟางข้าวออกจากนาข้าวไป ทำให้ปริมาณ CO_2 จากการย่อยสลายฟางลดลงไปตามสัดส่วนด้วย จากการศึกษานี้ของ Kimura et al., (2004) พบว่า ค่าประมาณ 70% ของฟางข้าวที่เหลืออยู่และถูกไถกลบลงไปใต้นาข้าวจะถูกย่อยสลายภายใน 240 วัน ปริมาณฟางข้าวที่ถูกไถกลบลงในนาข้าวในสถานการณ์จำลองนี้

$$\text{FC}_{6(\text{new})} = \text{FC}_{6(\text{Baseline})} \times 0.5$$

ดังนั้น CO_2 จากการหายใจของดินในสถานการณ์จำลองนี้

$$FC_4 = FC_{6(new)} \times 0.7$$

Scenario 5 : ทางเลือกที่ 5 นำฟางข้าว 50% จากนาข้าวมาทำปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับมูลสัตว์ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี

การนำฟางข้าวออกจากนาข้าว 50% นั้นผู้ศึกษาได้หาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร (TC) โดยประเมินจากการศึกษาของ Miura (1995) และ Naser et al., (2007) ซึ่งพบว่าสามารถลดการปล่อย CH_4 ได้เฉลี่ยประมาณ 35% ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร สำหรับการปล่อยมีเทนในทางเลือกนี้คือ $TC_{straw50_m} = 1 - 0.35 = 0.65$

ทางเลือกนี้คือการที่ชาวนานำฟางข้าวไปทำปุ๋ยอินทรีย์บริเวณใกล้ๆ นาข้าวแล้วนำปุ๋ยหมักกลับมาใช้ในนาข้าวในบริเวณเดียวกันเพื่อสะดวกในการขนย้ายและลดค่าใช้จ่าย

แต่เนื่องจากฟางข้าวที่นำออกไปจากพื้นที่ถูกนำไปทำปุ๋ยอินทรีย์แล้วนำกลับมาใช้ จากการศึกษาของ ภัทราและคณะ (2554) และ พิมพันธ์และคณะ (2545) พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อาจทำให้เกิดมีเทนเพิ่มขึ้น $-4 - 41\%$ ตามปริมาณสัดส่วนการใช้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้ค่าเฉลี่ยคือการใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้การปลดปล่อย CH_4 เพิ่มขึ้น 18.5% ดังนั้นค่า ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร สำหรับการปล่อยมีเทนที่ได้จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ คือ

$$TC_{compost_m} = 1 + 0.185 = 1.185$$

ดังนั้นการไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากนาข้าว จากทางเลือกนี้คือ

$$FC_{2(new)} = (FC_{2(Baseline)} \times TC_{straw50_m}) \times 1.185$$

การนำปุ๋ยหมักมาใส่ในนาข้าวทำให้ค่า CO_2 จากการหายใจของดินเพิ่มขึ้น การศึกษาของ ภัทราและคณะ (2554) พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้ CO_2 จากการหายใจของดินเพิ่มขึ้น 14% ดังนั้นค่า ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร สำหรับการปล่อย CO_2 ที่ได้จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ คือ $TC_{compost_car} = 1 + 0.14 = 1.14$

ดังนั้นการไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซ CO_2 จากการหายใจของดินนาข้าว จากทางเลือกนี้คือ

$$FC_{4(new)} = (FC_{6(Baseline)} \times 0.5 \times 0.7) \times TC_{compost_car}$$

Scenario 6 : ทางเลือกที่ 6 นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว

การนำฟางข้าวออกจากนาข้าว 80% นั้นผู้ศึกษาได้หาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร (TC) โดยประเมินจากการศึกษาของ Miura (1995) และ Naser et al., (2007) ซึ่งพบว่าสามารถลดการปล่อย CH_4 ได้เฉลี่ยประมาณ 70% ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร สำหรับการปล่อยมีเทนในทางเลือกนี้คือ $TC_{straw80_m} = 1 - 0.7 = 0.3$

ดังนั้นการไหลของคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากนาข้าว จากทางเลือกนี้คือ

$$FC_2 = FC_{2(Baseline)} \times TC_{straw80_m}$$

แต่เนื่องจากฟางข้าวที่นำออกไปจากพื้นที่ถูกนำไปเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว จากการศึกษาในหลายๆการศึกษาในต่างประเทศพบว่า การใส่

Biochip ลงไปอาจทำให้ค่าการปล่อยมีเทนเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่แตกต่างกันมาก เช่น ตั้งแต่ - 51% จนถึง + 41% (Liu et al., 2011, Zhang, 2010) แต่ในการศึกษานี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากงานของ Knoblouch et al., (2011) ซึ่งพบว่าการใช้ Biochar อาจทำให้เกิดมีเทนเพิ่มขึ้นเพียงแค่ 0.14% ของปริมาณคาร์บอนใน Biochar ที่ใส่ลงไป ดังนั้นค่าการปล่อยมีเทนที่ได้จากการใส่ Biochar คือ 0.14% ของปริมาณ Biochar ที่ใส่ลงไป

ดังนั้นการไหลของคาร์บอนในรูปแบบก๊าซ CO_2 จากการหายใจของดินนาข้าว จากทางเลือกนี้คือ

$$\text{FC}_{2(\text{new})} = \text{FC}_{2(\text{Baseline})} \times \text{TC}_{\text{straw80_m}} + (\text{FC}_{35} \times 0.14/100)$$

โดยที่ FC_{35} = การไหลของคาร์บอนในรูปแบบ Biochar ที่ใส่กลับไปในนาข้าว

$$\text{FC}_{35} = \text{FC}_{34} \times \text{TC}_{\text{Char-pyro}}$$

$$\text{TC}_{\text{Char-pyro}} = 0.15 \text{ (ศุภวิทย์, 2556)}$$

โดย $\text{TC}_{\text{Char-pyro}}$ คือ Transfer Coefficient ของการ Pyrolysis ฟางข้าวเป็น Biochar

การนำฟางข้าวออกจากนาข้าวไป ทำให้ปริมาณ CO_2 จากการย่อยสลายฟางลดลงไปตามสัดส่วนด้วย จากการศึกษาของ Kimura et al., (2004) พบว่า ค่าประมาณ 70% ของฟางข้าวที่เหลืออยู่และถูกไถกลบลงไปในนาข้าวจะถูกย่อยสลายภายใน 240 วัน

ปริมาณฟางข้าวที่ถูกไถกลบลงในนาข้าวในสถานการณ์จำลองนี้

$$\text{FC}_{6(\text{new})} = \text{FC}_{6(\text{Baseline})} \times 0.2$$

ดังนั้น CO_2 จากการหายใจของดินในสถานการณ์จำลองนี้

$$\text{FC}_4 = \text{FC}_{6(\text{new})} \times 0.7$$

Scenario 7 : ทางเลือกที่ นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Gasification แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว

การนำฟางข้าวออกจากนาข้าว 80% นั้นผู้ศึกษาได้หาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร (TC) โดยประเมินจากการศึกษาของ Miura (1995) และ Naser et al., (2007) ซึ่งพบที่สามารถลดการปล่อย CH_4 ได้เฉลี่ยประมาณ 70% ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงมวลสาร สำหรับการปล่อยมีเทนในทางเลือกนี้คือ $\text{TC}_{\text{straw80_m}} = 1 - 0.7 = 0.3$ ดังนั้นการไหลของคาร์บอนในรูปแบบก๊าซมีเทนจากนาข้าว จากทางเลือกนี้คือ

$$\text{FC}_2 = \text{FC}_{2(\text{Baseline})} \times \text{TC}_{\text{straw80_m}}$$

แต่เนื่องจากฟางข้าวที่นำออกไปจากพื้นที่ถูกนำไปเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว จากการศึกษาในหลายๆการศึกษาในต่างประเทศพบว่า การใส่ Biochip ลงไปอาจทำให้ค่าการปล่อยมีเทนเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่แตกต่างกันมาก เช่น ตั้งแต่ - 51% จนถึง + 41% (Liu et al., 2011, Zhang, 2010) แต่ในการศึกษานี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากงานของ Knoblouch et al., (2011) ซึ่งพบว่าการใช้ Biochar อาจทำให้เกิดมีเทนเพิ่มขึ้นเพียงแค่

0.14% ของปริมาณคาร์บอนใน Biochar ที่ใส่ลงไป ดังนั้นค่าการปล่อยมีเทนที่ได้จากการใส่ Biochar คือ 0.14% ของปริมาณ Biochar ที่ใส่ลงไป

ดังนั้นการไหลของคาร์บอนในรูปแบบก๊าซ CO_2 จากการหายใจของดินนาข้าว จากทางเลือกนี้คือ

$$\text{FC}_{2(\text{new})} = \text{FC}_{2(\text{Baseline})} \times \text{TC}_{\text{straw80_m}} + (\text{FC}_{35} \times 0.14)$$

โดยที่ Fc_{35} = การไหลของคาร์บอนในรูปแบบ Biochar ที่ใส่กลับไปในนาข้าว

$$\text{Fc}_{35} = \text{Fc}_{34} \times \text{TC}_{\text{Char—Gasi}}$$

$$\text{TC}_{\text{Char—Gasi}} = 0.05 \text{ (ศุภวิทย์, 2556)}$$

โดย $\text{TC}_{\text{Char—Gasi}}$ คือ Transfer Coefficient ของการ Gasify ฟางข้าวเป็น Biochar

การนำฟางข้าวออกจากรานาข้าวไป ทำให้ปริมาณ CO_2 จากการย่อยสลายฟางลดลงไปตามสัดส่วนด้วย จากการศึกษาคของ Kimura et al., (2004) พบว่า ค่าประมาณ 70% ของฟางข้าวที่เหลืออยู่และถูกไถกลบลงไปในนาข้าวจะถูกย่อยสลายภายใน 240 วัน

ปริมาณฟางข้าวที่ถูกไถกลบลงในนาข้าวในสถานการณ์จำลองนี้

$$\text{FC}_{6(\text{new})} = \text{FC}_{6(\text{Baseline})} \times 0.2$$

ดังนั้น CO_2 จากการหายใจของดินในสถานการณ์จำลองนี้

$$\text{FC}_4 = \text{Fc}_{6(\text{new})} \times 0.7$$

2.4 การออกแบบและสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจแบบ Web base

การพัฒนา ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการจัดการเกษตรและชีวมวลเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- | | |
|--------------|---|
| ขั้นตอนที่ 1 | ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเบื้องต้น แนวคิด และวิธีดำเนินงาน |
| ขั้นตอนที่ 2 | วิเคราะห์ความต้องการและความเป็นไปได้ของระบบ |
| ขั้นตอนที่ 3 | รวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การลดก๊าซเรือนกระจกจากการวิจัยต่างๆ เพื่อทำการเชื่อมโยงฐานข้อมูล |
| ขั้นตอนที่ 4 | การออกแบบระบบ |
| ขั้นตอนที่ 5 | การพัฒนา ระบบ |
| ขั้นตอนที่ 6 | ทดสอบ และปรับปรุงแก้ไขระบบ |
| ขั้นตอนที่ 7 | สรุปผลการดำเนินงาน จัดทำรายงาน และเอกสารที่เกี่ยวข้อง |

ภาษาที่ใช้จัดทำระบบมีดังนี้

1. ภาษา PHP: Hypertext Preprocessor PHP Version 5

เป็นเครื่องมือที่สำคัญชนิดหนึ่งซึ่งช่วยให้เราสามารถสร้างเอกสารแบบ Dynamic HTML ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีลูกเล่นมากขึ้น อาจจะกล่าวได้ว่า พีเอชพี ได้รับการพัฒนาขึ้นมา เพื่อแทนที่ SSI รูปแบบเดิมๆ โดยให้มีความสามารถ และมีส่วนเชื่อมต่อกับเครื่องมือชนิดอื่นมากขึ้น เช่น ติดต่อกับฐานข้อมูล

2. MySQL (มายเอสคิวแอล)

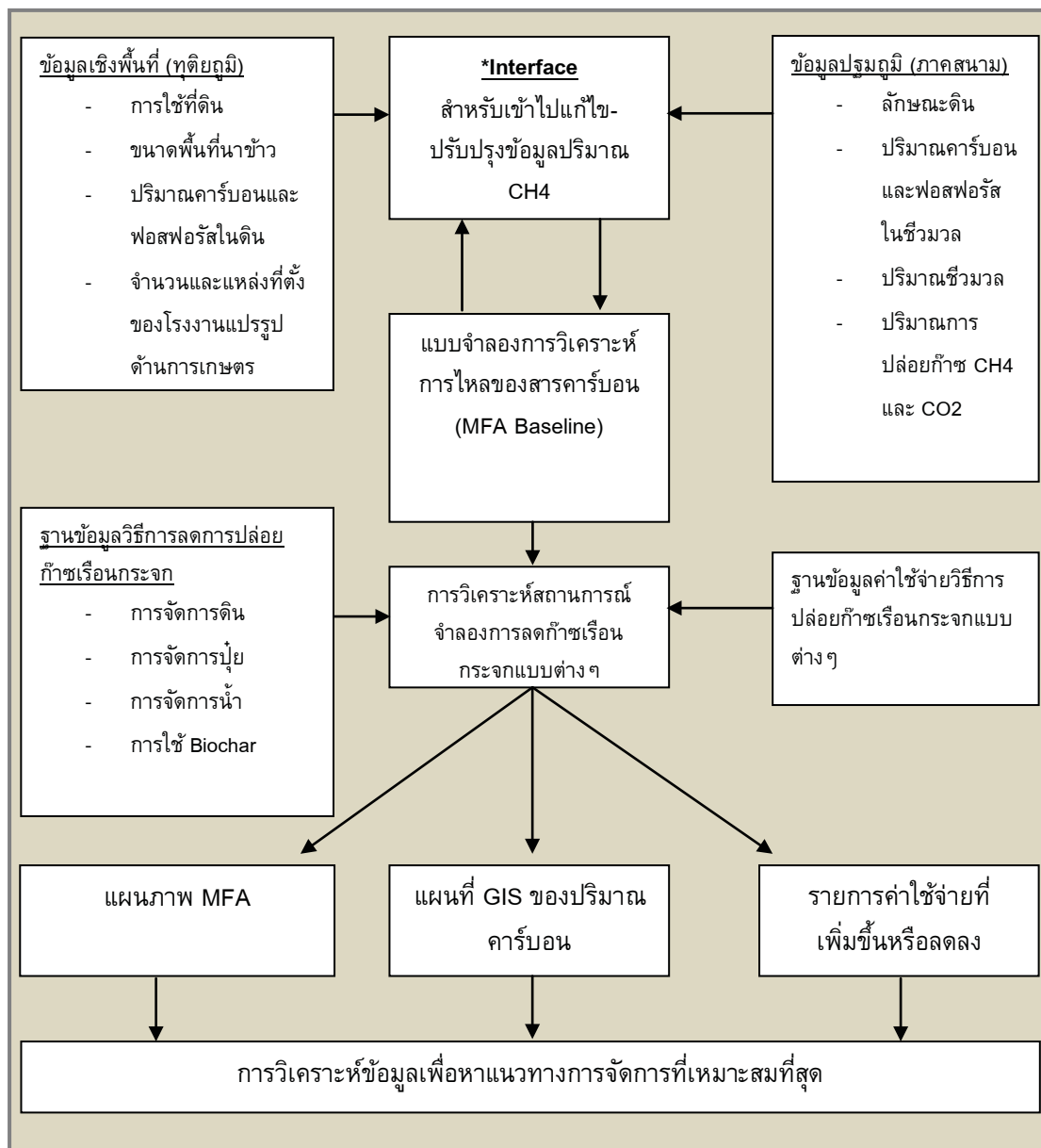
เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลโดยใช้ภาษาเอสคิวแอล แม้ว่ามายเอสคิวแอลเป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส แต่แตกต่างจากซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สทั่วไป โดยมีการพัฒนาภายใต้บริษัท มายเอสคิวแอล เอบี มายเอสคิวแอล เป็นที่นิยมใช้กันมากสำหรับฐานข้อมูลสำหรับเว็บไซต์ และนิยมใช้งานร่วมกับภาษาโปรแกรม พีเอชพี ซึ่งมักจะได้ชื่อว่าเป็นคู่ จะเห็นได้จากคู่มือคอมพิวเตอร์ต่างๆ ที่จะสอนการใช้งาน มายเอสคิวแอล และพีเอชพีควบคู่กันไป นอกจากนี้ หลายภาษาโปรแกรมที่สามารถทำงานร่วมกับฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล ซึ่งรวมถึง ภาษาซี ซีพลัสพลัส ปาสคาล ซีชาร์ป ภาษาจาวา ภาษาเพิร์ล พีเอชพี ไพทอน รูบี

3. Dreamweaver CS6

สามารถทำงานกับภาษาคอมพิวเตอร์ในการเขียนเว็บไซต์แบบไดนามิค ซึ่งมีการใช้ HTML เป็นตัวแสดงผลของเอกสาร เช่น ASP, ASP.NET, PHP, JSP และ ColdFusion รวมถึงการจัดการฐานข้อมูลต่างๆ อีกด้วย และในเวอร์ชันล่าสุด (เวอร์ชัน CS6) ยังสามารถทำงานร่วมกับ XML และ CSS ได้อย่างง่ายดาย

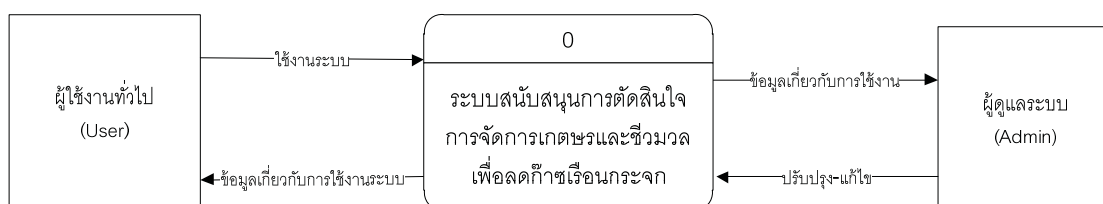
วิเคราะห์ความต้องการและความเป็นไปได้ของระบบ

ลักษณะการทำงานของระบบเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.24 ส่วนแผนผังบริบทที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมเป็นดังแสดงในรูปที่ 2.25



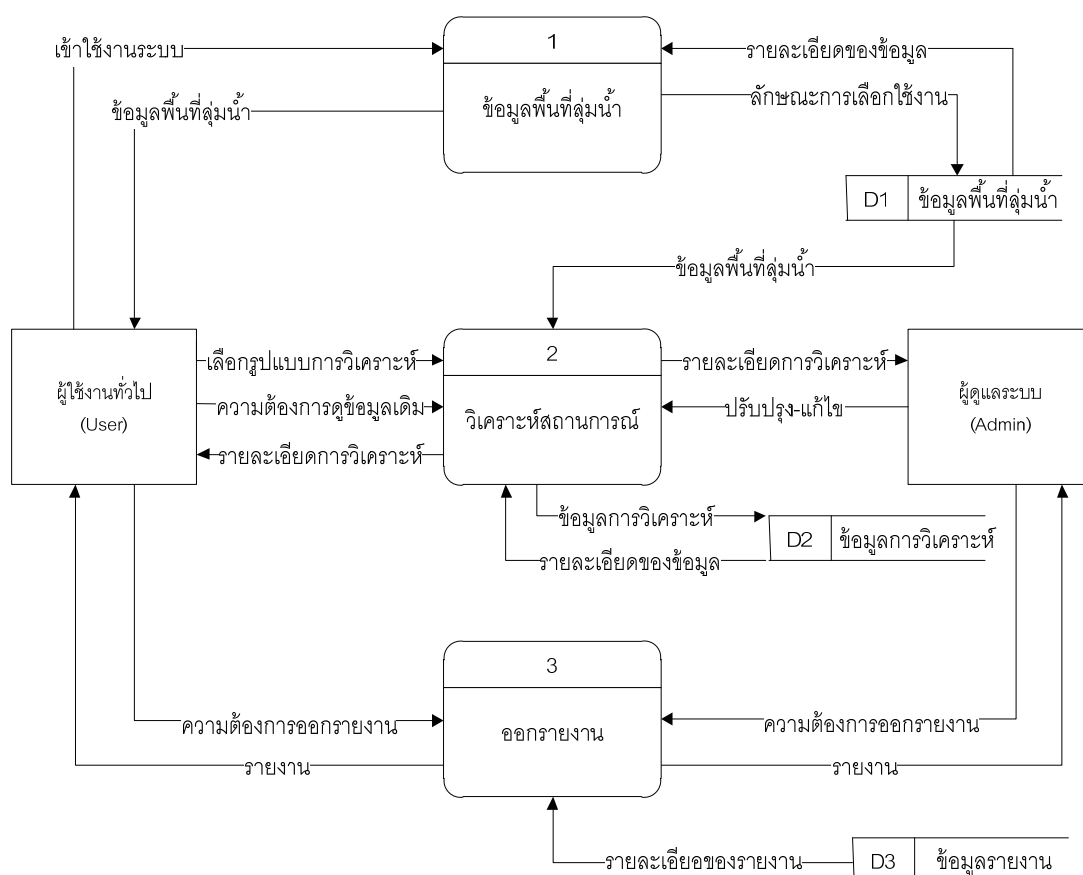
รูปที่ 2.24 ลักษณะการทำงานของระบบ

แผนผังบริบท (Data Flow Diagram: DFD)



รูปที่ 2.25 แผนผังบริบทระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการเกษตรและชีวมวลเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก

แผนภาพแสดงการไหลของข้อมูลระดับที่ 0 (DFD Level 0)



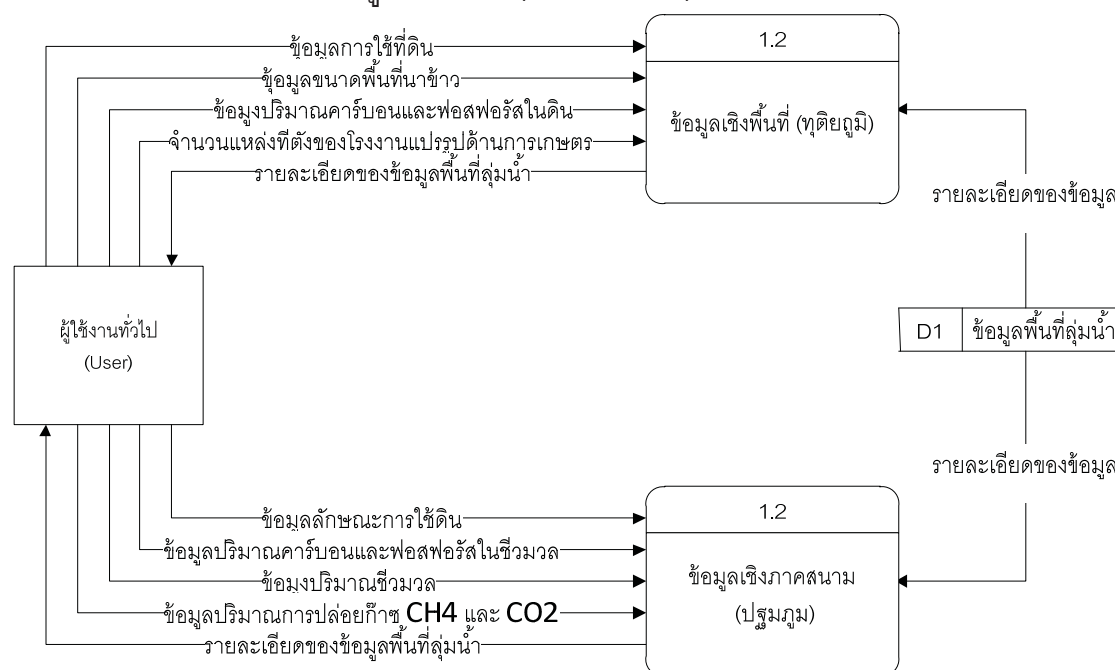
รูปที่ 2.26 แผนผังการไหลของข้อมูลระดับที่ 0 ของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการเกษตรและชีวมวลเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก

จากรูปที่ 2.26 ในส่วนของแผนภาพการไหลของข้อมูลระดับที่ 0 ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ การจัดการเกษตรและชีวมวล เพื่อลดก๊าซเรือนกระจก แสดงถึงองค์ประกอบหลัก 3 กระบวนการได้แก่ กระบวนการที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ ผู้ใช้งานระบบสามารถดูข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ โยระบบจะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงให้กับผู้ใช้งานระบบ ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

กระบวนการที่ 2 วิเคราะห์สถานการณ์ ในส่วนนี้ผู้ใช้งานระบบจะทำการเลือกการวิเคราะห์ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามสถานการณ์ต่างๆ ของระบบ ระบบก็จะทำการแสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ให้แก่ผู้ใช้งานระบบในรูปแบบต่างๆ ส่วนผู้ดูแลระบบสามารถปรับปรุง-แก้ไขสถานการณ์รูปแบบของการวิเคราะห์ได้

กระบวนการที่ 3 ออกรายงาน ในส่วนนี้ผู้ใช้งานทั่วไปและผู้ดูแลระบบ สามารถออกรายงานผลการวิเคราะห์ต่างๆ ได้ ซึ่งจัดอยู่ในรูปแบบของเอกสาร

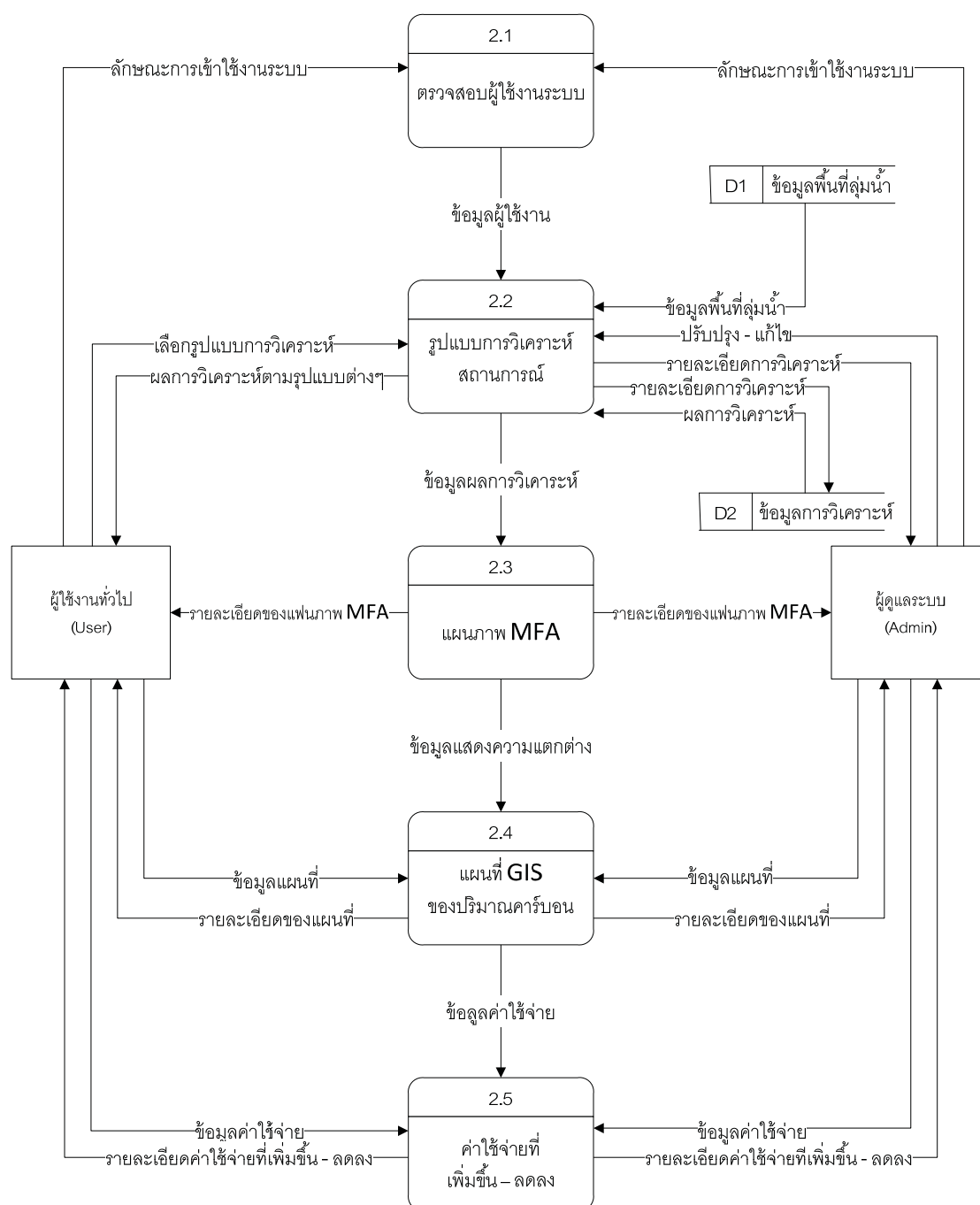
แผนภาพแสดงการไหลของข้อมูลระดับที่ 1 (DFD Level 1)



รูปที่ 2.27 แผนผังการไหลของข้อมูลระดับที่ 1 ของข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ

จากรูปที่ 2.27 ในส่วนของแผนภาพการไหลของข้อมูลระดับที่ 1 ข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ ผู้ใช้งานระบบเรียกดูข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ (ทุติยภูมิ) และข้อมูลเชิงภาคสนาม (ปฐมภูมิ)

แผนภาพแสดงการไหลของข้อมูลระดับที่ 2 (DFD Level 2)



รูปที่ 2.28 แผนผังการไหลของข้อมูลระดับที่ 1 ของการวิเคราะห์สถานการณ์

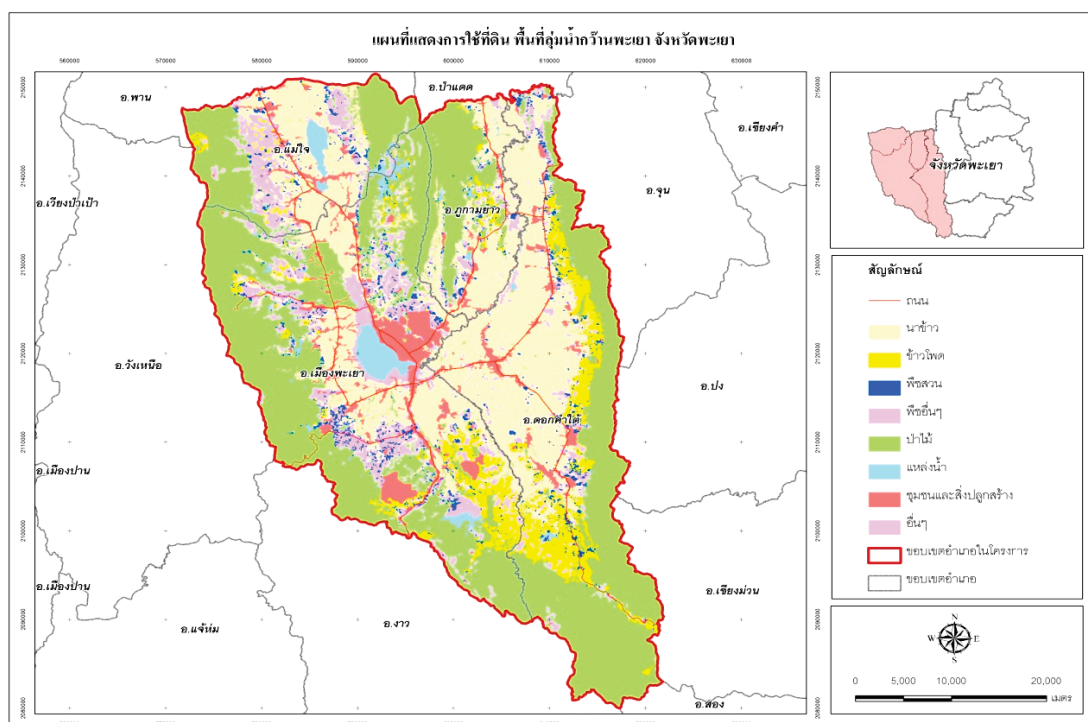
3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

3.1 สถานการณ์ปัจจุบัน (Status Qua)

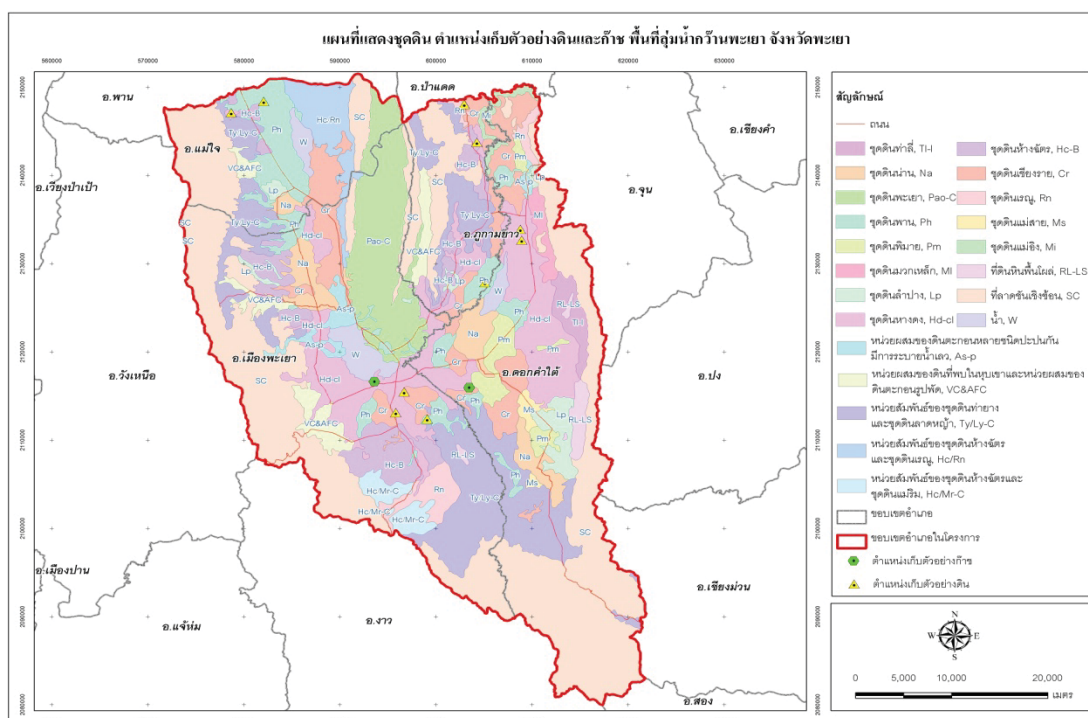
การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

จากแผนที่การใช้ที่ดินในรูปที่ 3.1 จะพบว่า พื้นที่นาข้าว ครอบคลุมพื้นที่เกือบร้อยละ 40 ของพื้นที่ลุ่มน้ำกว๊านพะเยา รองลงมาคือไร่ข้าวโพดและสวนผลไม้ เช่น ลิ้นจี่และลำไย รวมแล้วร้อยละ 15 นอกนั้นกว่าครึ่งของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ป่าไม้ โดยมีสภาพพื้นที่ของทั้ง 4 อำเภอจะเป็นพื้นที่ราบลุ่ม และล้อมรอบไปด้วยภูเขา จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวคือพื้นที่ในส่วนของอำเภอเมือง และอำเภอดอกคำใต้เป็นส่วนใหญ่ (รายงานสถิติจังหวัดพะเยา, 2553)

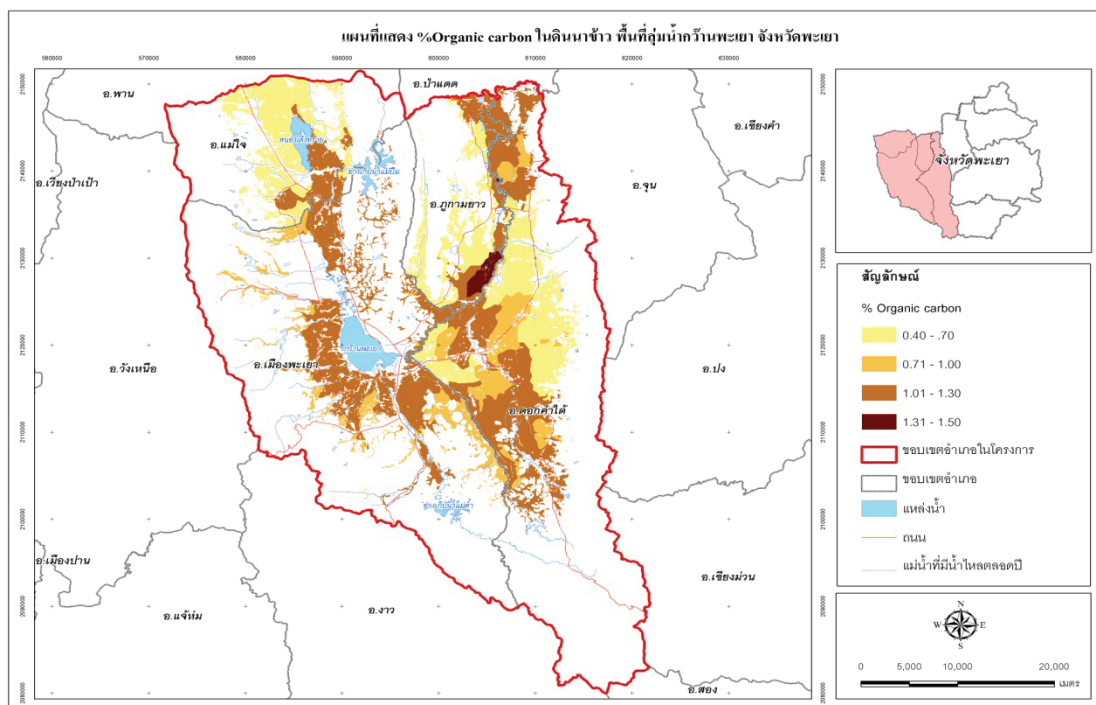
ดินในพื้นที่ศึกษาเป็นดินที่มีชุดดินหลากหลายในแต่ละพื้นที่ (25 ชุดดิน) รูปที่ 3.2 อย่างไรก็ตาม มี 3 ชุดดินที่ครองพื้นที่ส่วนใหญ่ในพื้นที่นาข้าวในพื้นที่ศึกษาซึ่งได้แก่ ชุดดินเชิงทราย ชุดดินพานและชุดดินหางดง โดยจากการสำรวจข้อมูลในพื้นที่ทั้งหมด พบว่า ดินมีสภาพความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ค่าคาร์บอนอินทรีย์ที่ความลึก 0-15 cm อยู่ในช่วง ร้อยละ 0.5-1.5 ค่าฟอสฟอรัสในดินที่ความลึก 0-15 cm อยู่ในช่วง 10-60 mg/kg ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4 โดยในพื้นที่ที่ถูกเลือกเป็นตัวแทนในการเก็บข้อมูลเป็นแปลงนาในอำเภอดอกคำใต้



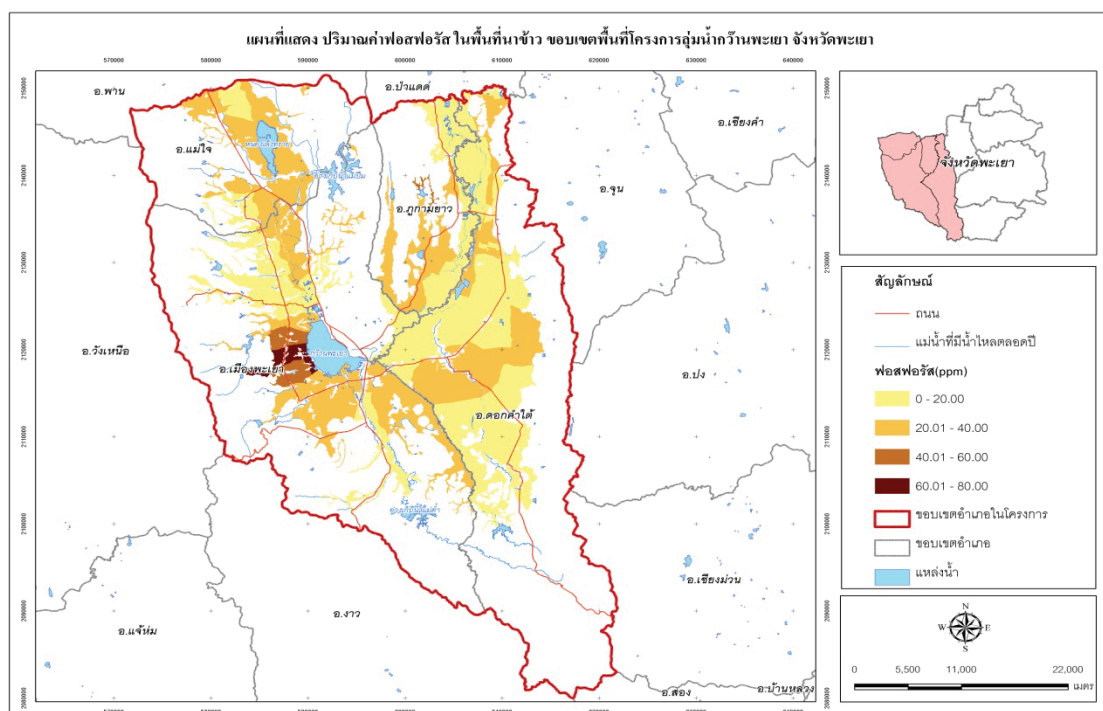
รูปที่ 3.1 พื้นที่การศึกษาของงานวิจัย



รูปที่ 3.2 ชุดดินในพื้นที่การศึกษาวิจัย



รูปที่ 3.3 ปริมาณคาร์บอนในพื้นที่การศึกษาวิจัย

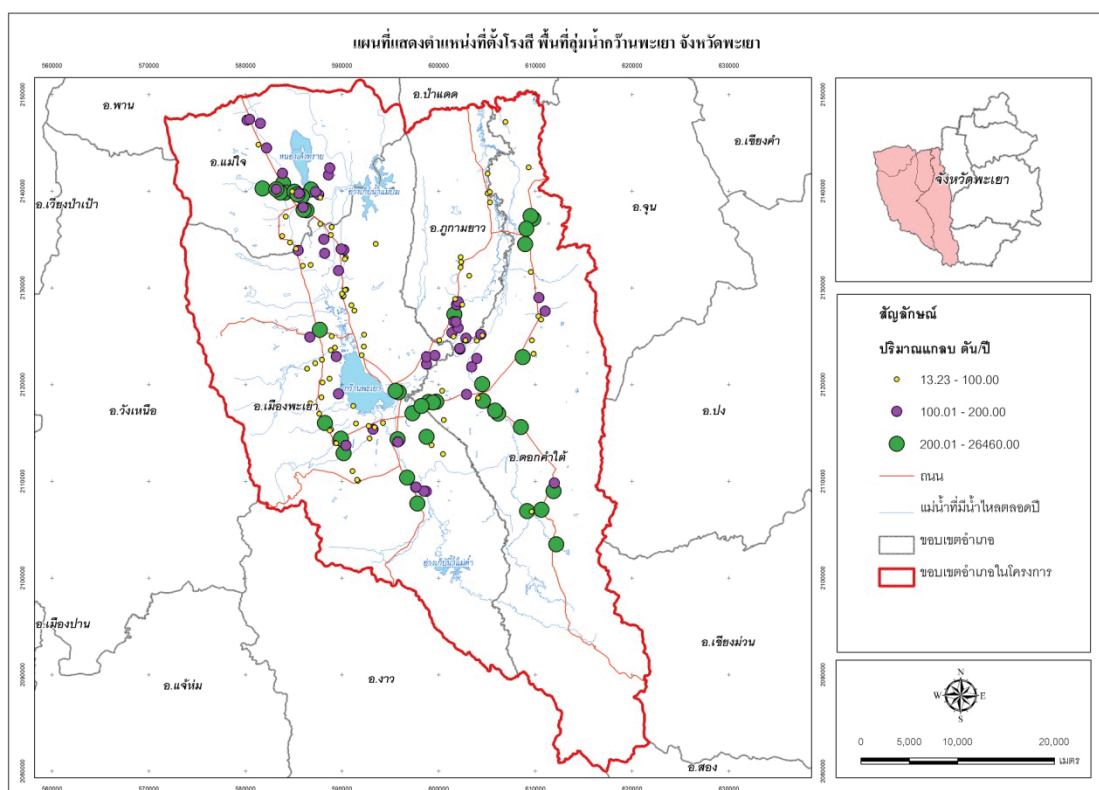


รูปที่ 3.4 ปริมาณฟอสฟอรัสในพื้นที่การศึกษาวิจัย

ปริมาณการจัดการและการใช้ประโยชน์ชีวมวลในพื้นที่ศึกษา

1. โรงสีข้าว

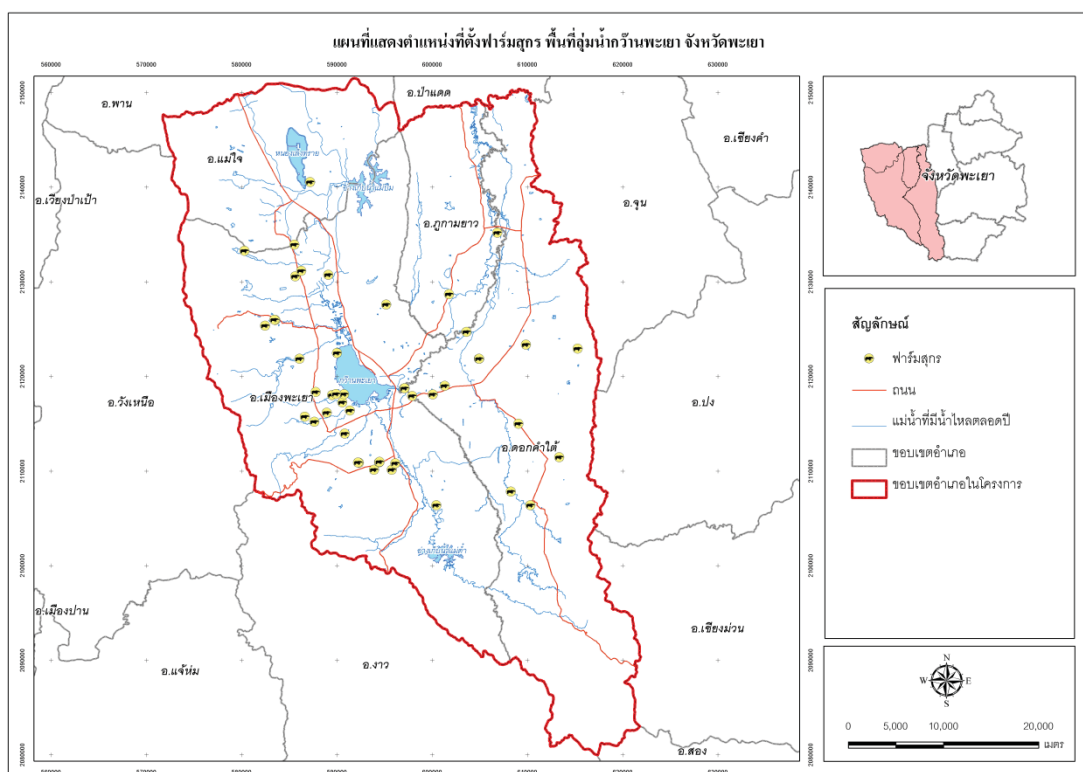
โรงสีข้าวในพื้นที่การศึกษาวิจัย มีทั้งสิ้นจำนวน 168 โรง แบ่งเป็นโรงสีขนาดใหญ่ 42 โรง ขนาดกลาง 47 โรง และขนาดเล็ก 79 โรง โดยในแต่ละโรงกระจายอยู่ใกล้แหล่งเพาะปลูกข้าวและอยู่ในชุมชน (แสดงตามรูปที่ 3.5) โดยจะนำผลผลิตข้าวที่เกิดขึ้น จำนวน 514,808 ตันเป็นข้าวเปลือกในพื้นที่ 282,329 ตัน และข้าวเปลือกนอกพื้นที่ 232,479 ตัน (รายงานสถิติจังหวัดพะเยา, 2553) มาทำการแปรรูป(โดยมีกำลังการผลิตที่ 70 เปอร์เซนต์) โดยมีอัตราส่วนการแปรรูป ดังนี้ ข้าวสาร 60 เปอร์เซนต์, ข้าวหัก 9 เปอร์เซนต์ แกลบ 21 เปอร์เซนต์ และรำ 10 เปอร์เซนต์(กรมวิชาการเกษตร, 2547) โดยที่ข้าวสารจะถูกขายออก ข้าวหักจะส่งเข้าสู่โรงงานทำแป้งเพื่อเป็นวัตถุดิบ รำจะถูกใช้สำหรับเป็นอาหารสัตว์ในฟาร์ม ปศุสัตว์ และแกลบจะถูกขายออก ใช้ในฟาร์มปศุสัตว์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำในโรงสีข้าว ใช้เป็นส่วนผสมและใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงอิฐ



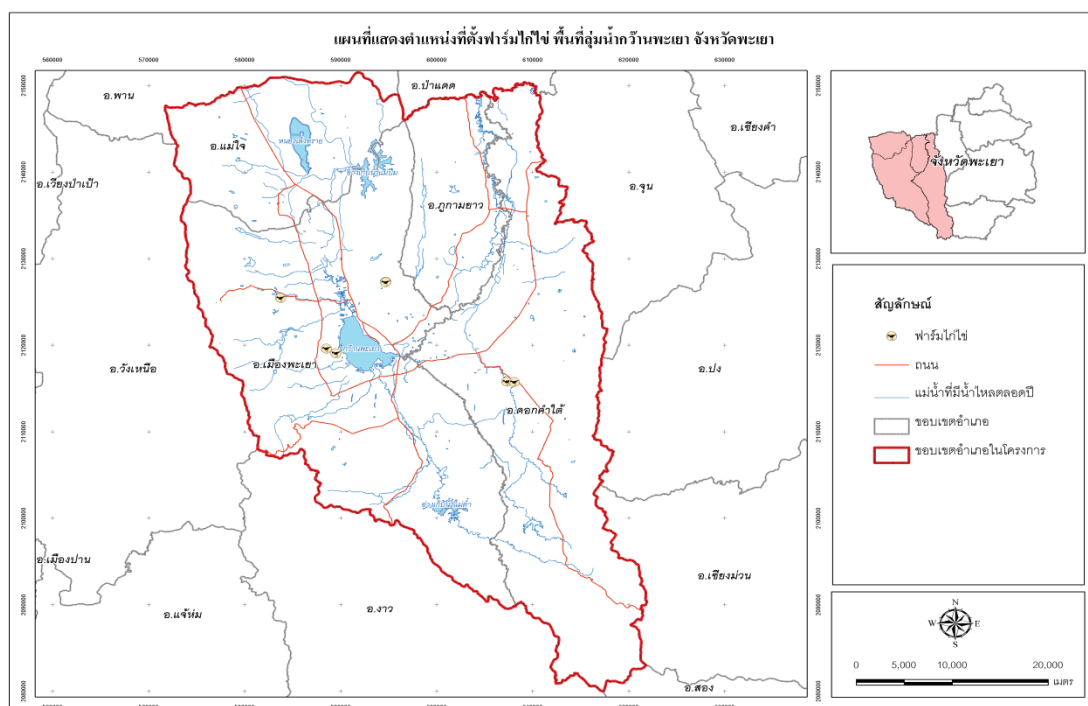
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งที่ตั้งโรงสีข้าวและปริมาณแกลบ

2. ฟาร์มปศุสัตว์

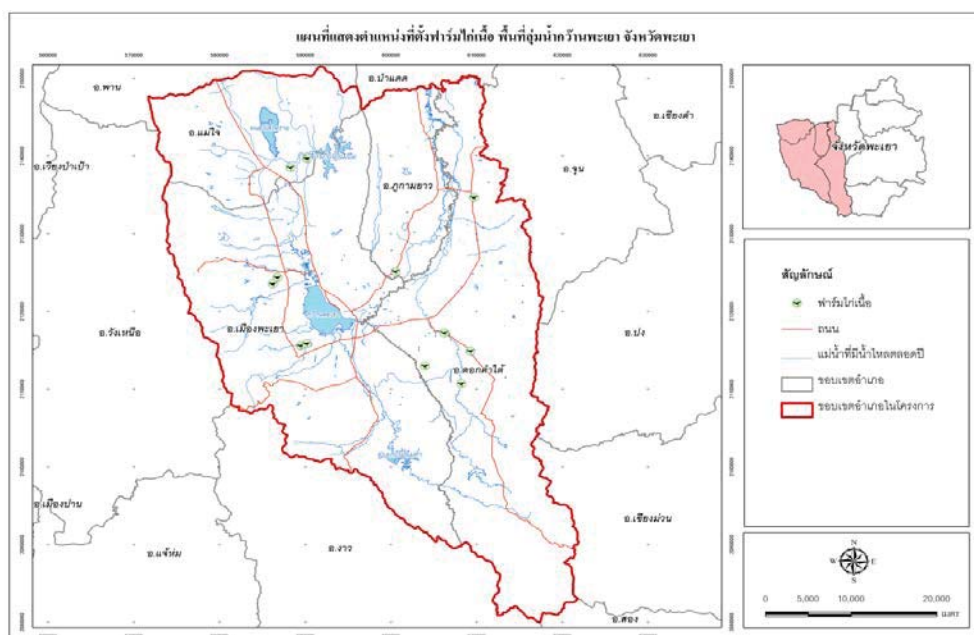
ฟาร์มในพื้นที่การศึกษาวิจัย (แสดงตามรูปที่ 3.6, 3.7 และ 3.8) จะมีชนิดสัตว์ที่เลี้ยงได้แก่ ไก่, เป็ด, โค, กระบือ, แพะ และสุกร โดยมีการเลี้ยงทั้งฟาร์มขนาดเล็กตามบ้านเรือน และฟาร์มขนาดใหญ่ที่เป็นอุตสาหกรรม มีจำนวน ดังนี้ ไก่จำนวน 750,246 ตัว, เป็ดจำนวน 30,408 ตัว, โคจำนวน 45,401 ตัว, กระบือจำนวน 3,450 ตัว, แพะจำนวน 384 ตัว และสุกรจำนวน 15,456ตัว โดยมีการใช้รำ แกลบ และฟางข้าวในการเลี้ยงสัตว์ มีชีวมวลที่เกิดจากการเลี้ยงสัตว์ คือ มูลสัตว์ มีปริมาณรวมทั้งสิ้น 70,485 ตัน ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการผลิตปุ๋ย 1,250 ตัน



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งที่ตั้งฟาร์มปศุสัตว์ (ฟาร์มสุกร)



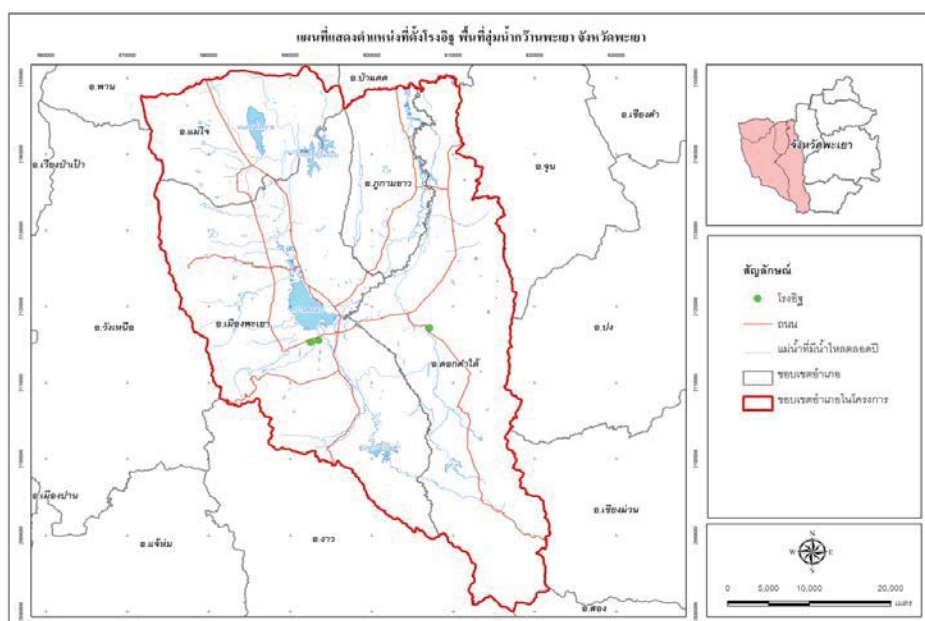
รูปที่ 3.7 ตำแหน่งที่ตั้งฟาร์มปศุสัตว์ (ฟาร์มไก่ไข่)



รูปที่ 3.8 ตำแหน่งที่ตั้งฟาร์มปศุสัตว์ (ฟาร์มไก่เนื้อ)

3. โรงอึ

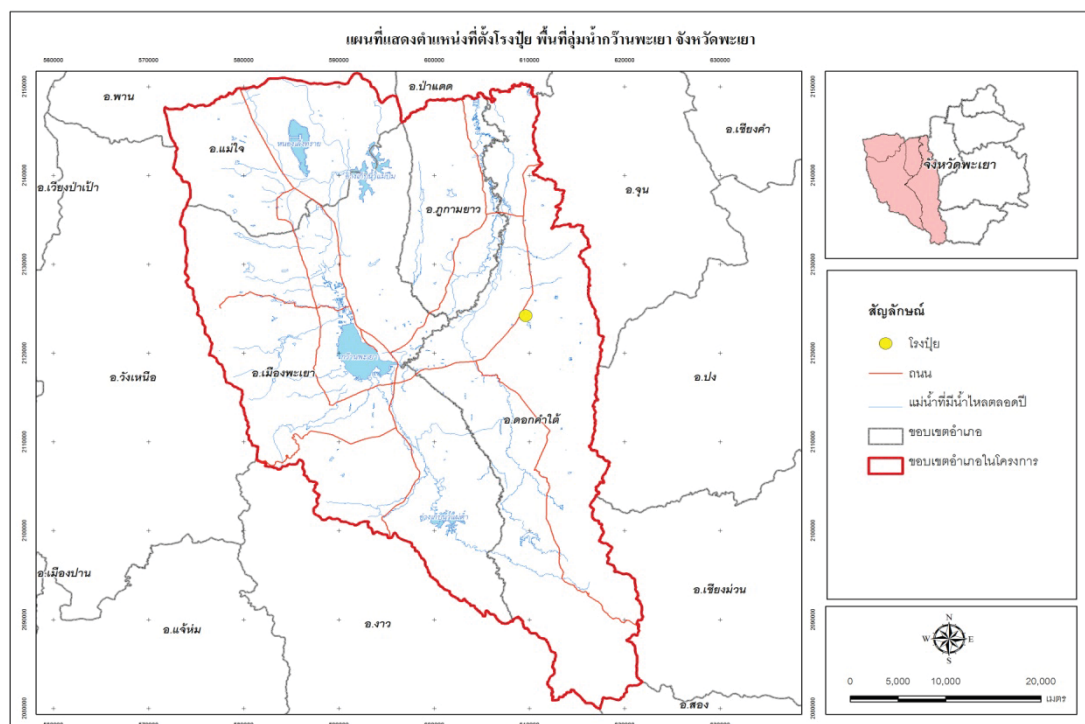
โรงอึในพื้นที่การศึกษาวิจัย มีอยู่ 3 โรง คือโรงอึในตำบลจำปาหวาย 1 โรง และตั้งอยู่ในตำบลแม่น้ำเรือ 2 โรง (แสดงตามรูปที่ 3.9) โดยมีปริมาณแกลบใช้ในโรงงาน 23,710 ตัน แกลบเป็นวัตถุดิบในการผสมในเนื้ออึ และใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาก้อนอึเพื่อให้มีความแกร่งเพิ่มมากขึ้น มีชีวมวลที่เกิดขึ้นคือขี้เถ้าแกลบจากการเผา 3,000 ตัน (ซึ่งถูกทิ้งไว้บริเวณโรงอึ)



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งที่ตั้งโรงอึ

4. โรงปุ๋ยหมัก

โรงปุ๋ยในพื้นที่การศึกษาวิจัย มีอยู่ 1 โรง ตั้งอยู่ ณ ศูนย์เรียนรู้ชุมชนบ้านสันโค้ง ตำบลสันโค้ง อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา (แสดงตามรูปที่ 3.10) โดยใช้วิธีทำปุ๋ยหมักแบบกองเดิมอากาศใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการทำเกษตร ในพื้นที่มาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมัก โดยใช้วัตถุดิบเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตร คือฟางข้าว 480 ตัน มูลสัตว์ 580 ตัน ซึ่งจะได้ปุ๋ยทั้งสิ้น 1,060 ตัน



รูปที่ 3.10 ตำแหน่งที่ตั้งโรงปุ๋ยหมัก

ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพ

จากการเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าว ต้นข้าวและรากข้าวจากภาคสนามมาหาน้ำหนักรวมถึงปริมาณองค์ประกอบคาร์บอนในชีวมวลแต่ละชนิด ทั้ง 3 จุดและหาค่าเฉลี่ยรวมถึงคำนวณปริมาณคาร์บอนในชีวมวลรวมทั้งหมดแสดงในตาราง 3.1 และ 3.2 โดยจากตารางแสดงค่าเฉลี่ยของคาร์บอนในเมล็ดข้าวคือ 2.56 t C/ha หรือ 201,648 t C/y ต่อพื้นที่นาข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด ค่าเฉลี่ยของคาร์บอนในต้นข้าวและรากข้าวคือ 5.53 t C/ha หรือ 420,750 t C/y ต่อพื้นที่นาข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด ค่าเฉลี่ยของคาร์บอนในชีวมวลรวมหรือค่า NPP คือ 5.89 t C/ha หรือ 447,881 t C/y ต่อพื้นที่นาข้าวในลุ่มน้ำทั้งหมด

ตาราง 3.1 แสดงชีวมวลและคาร์บอนในชีวมวลในนาข้าวอำเภอดอกคำใต้

รายการ	Dry weight (g/กอ)	Dry weight (g/m ²)	Dry weight (t/rai)
Chamber 1	102.79		
เมล็ดข้าว	31.36	501.76	0.8
ต้นข้าว	71.43	1,142.88	1.83
Chamber 2	167.11		
เมล็ดข้าว	43.5	696	1.11
ต้นข้าว	123.6	1,977.76	3.16
Chamber 3	118.19		
เมล็ดข้าว	29.98	479.68	0.77
ต้นข้าว	88.21	1,411.36	2.26
ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน			2.94

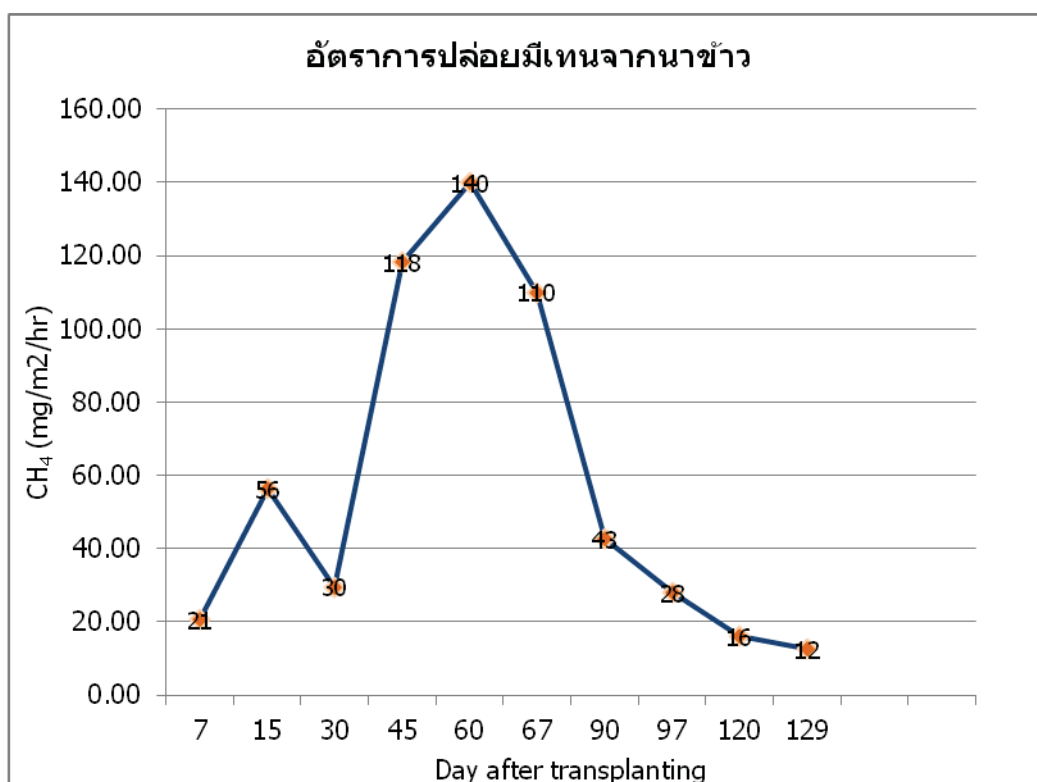
ตาราง 3.2 แสดงชีวมวลและคาร์บอนในชีวมวลในนาข้าวอำเภอมือง

รายการ	Dry weight (g/กอ)	Dry weight (g/m ²)	Dry weight (t/rai)
Chamber 1	138.06		
เมล็ดข้าว	40.96	655.36	1.05
ต้นข้าว	97.1	1,553.60	2.49
Chamber 2	118.26		
เมล็ดข้าว	34.55	552.8	0.88
ต้นข้าว	83.71	1,339.36	2.14
Chamber 3	132.02		
เมล็ดข้าว	35.53	568.48	0.91
ต้นข้าว	96.49	1,543.84	2.47
ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน			2.71

ปริมาณการปล่อยก๊าซจากนาข้าวจากการตรวจวัด

การปล่อยก๊าซมีเทน

อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายน แสดงอยู่ โดยผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวมีค่าอยู่ในช่วง 12-140 $\text{mg/m}^2/\text{hr}$ โดยในช่วงวันที่ 15 หลังจากเริ่มทำนา ก๊าซมีเทนที่ปล่อยมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากในช่วงแรกของการทำนาที่เริ่มปลูกในฤดูฝนมีปริมาณฝนมาก มีน้ำในแปลงนาตั้งแต่เริ่มการไถดินเพื่อเตรียมการปลูก ดังนั้นต่อช่วงซึ่งถูกไถกลบในดินในการทำนาตั้งแต่รอบที่แล้วที่ยังถูกย่อยสลายไม่หมด จึงเกิดการหมักย่อยทำให้จุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทน ทำการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น หลังจากย่อยสลายเศษตอซึ่งแล้วปริมาณก๊าซมีเทนจึงลดลง และกลับเพิ่มขึ้นมาอีกในช่วงที่ต้นข้าวเจริญเติบโตขึ้น ตั้งแต่ช่วงตั้งท้อง ออกดอกและออกรวง โดยมีเทนปล่อยมากที่สุด 140 $\text{mg/m}^2/\text{hr}$ ในช่วงวันที่ 67 และหลังจากนั้นมิเทนจะลดลงมาเรื่อยตามลำดับเนื่องจากน้ำในแปลงนาเริ่มแห้งลงและแห้งหมดในวันที่เก็บเกี่ยว



รูปที่ 3.11 อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงทำนา

เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยมีเทนทั้งหมดตลอดช่วงระยะเวลาการทำนาจะมีค่าทั้งหมด 182 $\text{g/m}^2/\text{crop}$ ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคมของการทำนาในปีที่ทำการวิจัยสภาวะอากาศแปรปรวน ในพื้นที่มีปริมาณฝนมากกว่าปกติ ทำให้น้ำท่วมขังนาต้องระบายน้ำออกโดยเฉพาะในช่วง วันที่ 60-80 หลังจากเริ่มทำนาประกอบกับดินในพื้นที่ศึกษามี

ปริมาณอินทรีย์วัตถุและคาร์บอนอินทรีย์ที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้ปริมาณการปล่อยมีเทนในงานวิจัยนี้ค่อนข้างสูง เทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ

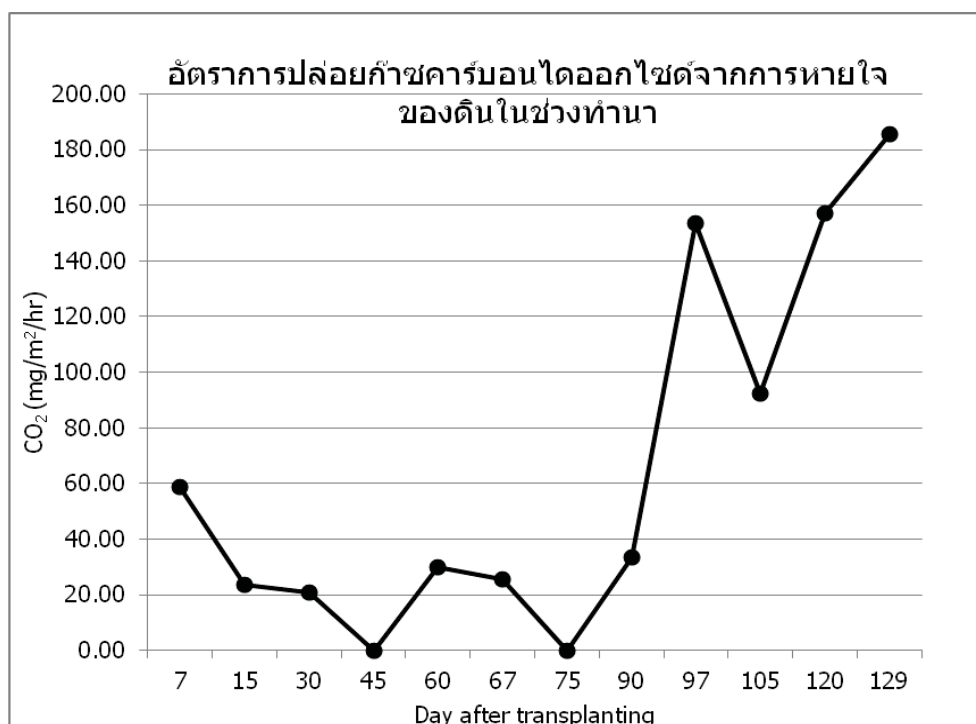
โดยเมื่อดูจากรูปที่ 3.11 กราฟแสดงอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงทำนา จะพบว่าจะมีค่าสูงขึ้นในวันที่ 15 หลังการปลูก ซึ่งแตกต่างเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น เป็นผลมาจากการทำนาที่มีการไถกลบเศษหญ้า วัชพืช และตอซัง ในระหว่างการเตรียมดินก่อนการปลูก ทำให้เกิด ก๊าซมีเทน จึงมีผลให้กราฟปรับขึ้น และจะลดลงในวันที่ 30 แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 60 หลังการปลูก (เป็นช่วงที่ข้าวมีการแตกกอสูงที่สุด) จากนั้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเก็บเกี่ยว

เมื่อพิจารณาการปล่อยก๊าซมีเทนกับงานวิจัยในชุดดินอื่น จะพบว่างานวิจัยนี้ (182 g/m²/crop) มีการปล่อยก๊าซที่มากกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Jermsawatdipong (1994) มีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสูงสุด 117 g/m²/crop และ Towprayoon (1993) มีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสูงสุด 61.6 g/m²/crop และภัทธา (2554) มีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนจาก นาข้าว สูงสุด 91.79 g/m²/crop แต่อย่างไรก็ตามสิรินทรเทพ (2545) ทำการวิจัยหาการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว พบว่ามีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่างานวิจัยของผู้วิจัย โดยมีค่าการปล่อยก๊าซมีเทน ที่วิจัยในชุดดินราชบุรีคือ 289.47-415.80 g/m²/crop ชุดดินบางเขนอยู่ในช่วง 194.44-258.87 g/m²/crop และชุดดินสระบุรีมีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนอยู่ในช่วง 205.26-264.10 g/m²/crop

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินในช่วงทำนา

อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากนาข้าวในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนพฤศจิกายน ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3.12 โดยพบว่าผลจากการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากนาข้าวมีค่าอยู่ในช่วง 0-180 mg/m²/hr โดยอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าขึ้นลงอยู่ในช่วง 0-60 mg/m²/hr ตลอดฤดูของการเพาะปลูก และมีค่าสูงขึ้นอย่างมากจนถึง 180 mg/m²/hr ในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว ซึ่งเป็นเพราะหลังจากน้ำในนาแห้ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงปล่อยจากผิวดินได้โดยสะดวกโดยไม่ต้องผ่านผิวน้ำ โดยเฉพาะช่วงแรกที่ดินยังมีความชื้นอยู่ ออกซิเจนจากอากาศสามารถแพร่เข้าสู่รูพรุนดิน ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มใช้อากาศทำงานดีสามารถย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินในอัตราที่สูง ทำให้เกิดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูง แต่อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงตามเวลาที่ความชื้นดินต่ำลงในช่วงพักนา

เมื่อคิดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจากดินตลอดช่วงเวลาการทำนา จะมีค่าทั้งหมด 197 g/m²/crop ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ (ภัทธา, 2554) ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก ช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคมของการทำนาในปีที่ทำการวิจัยนี้สภาวะอากาศแปรปรวน ในพื้นที่มีปริมาณฝนมากกว่าปกติ ทำให้น้ำท่วมขังนาต้องระบายน้ำออก โดยเฉพาะในช่วงวันที่ 60-80 หลังจากเริ่มทำนา ประกอบกับดินในพื้นที่ศึกษามีปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้ค่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจากดินในงานวิจัยนี้ค่อนข้างสูง หากนำไปเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ

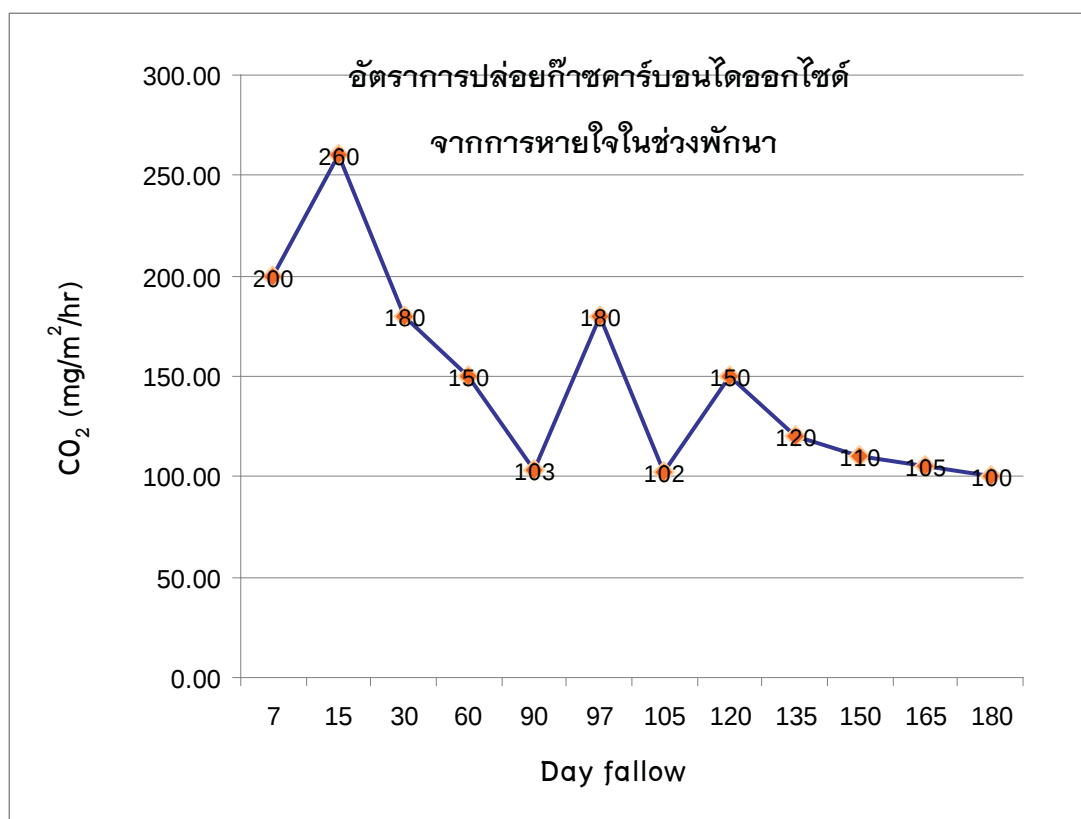


รูปที่ 3.12 แสดงอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินในช่วงทำนา

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินในช่วงพักนา

อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในช่วงพักนาช่วงเดือน ม.ค. ถึง มิ.ย. แสดงอยู่ในรูปที่ 3.13 โดยผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินในช่วงพักนามีค่าอยู่ในช่วง 100-260 mg/m²/hr โดยอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในช่วงเดือนแรก เนื่องจากหลังจากช่วงทำนาเมื่อปีก่อนหน้านั้น มีปริมาณตอซังและชีวมวลอื่นๆ หลงเหลือให้ย่อยสลายอยู่ในปริมาณมาก จึงมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก และมีค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงตามลำดับเมื่อมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลงไปเรื่อย ๆ

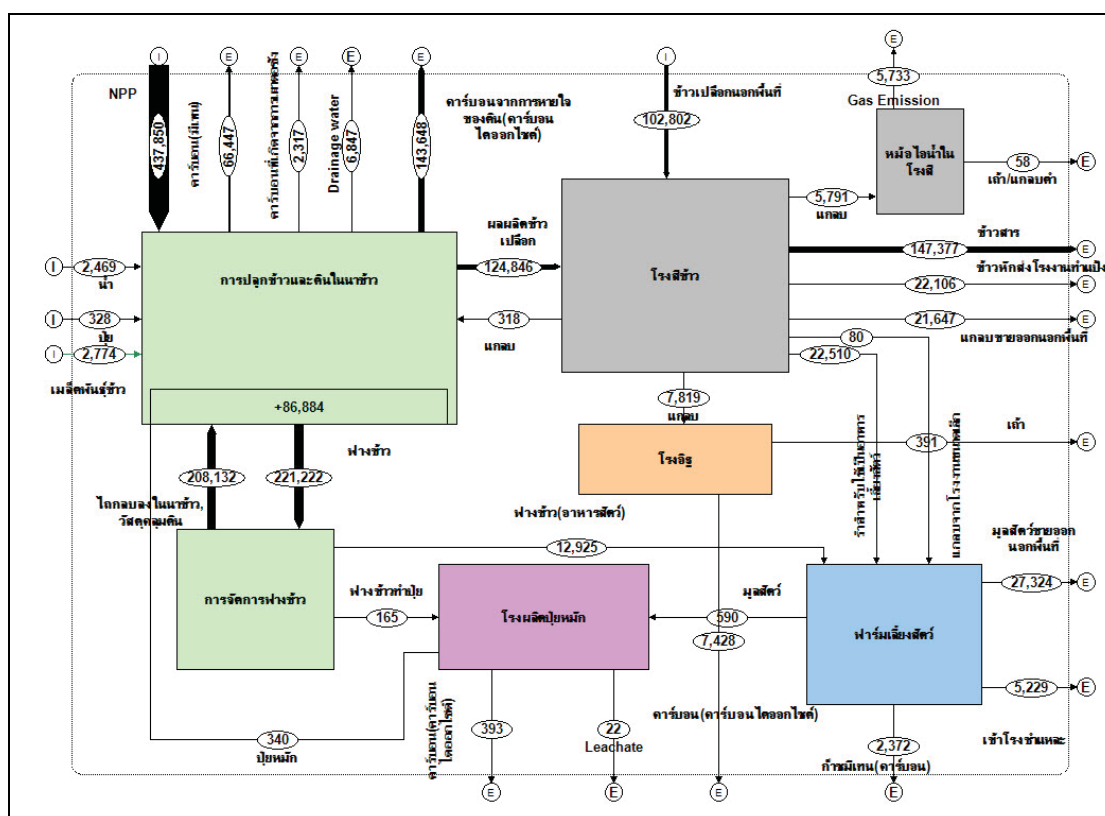
เมื่อคิดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจากดินตลอดช่วงระยะเวลาการพักนาจะมีค่าทั้งหมด 885 g/m²/crop ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง เทียบกับงานวิจัยอื่นๆ (ภัทรา, 2554) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ดินในพื้นที่ศึกษามีปริมาณอินทรีย์วัตถุและคาร์บอนอินทรีย์ที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจากดินในงานวิจัยนี้ค่อนข้างสูง



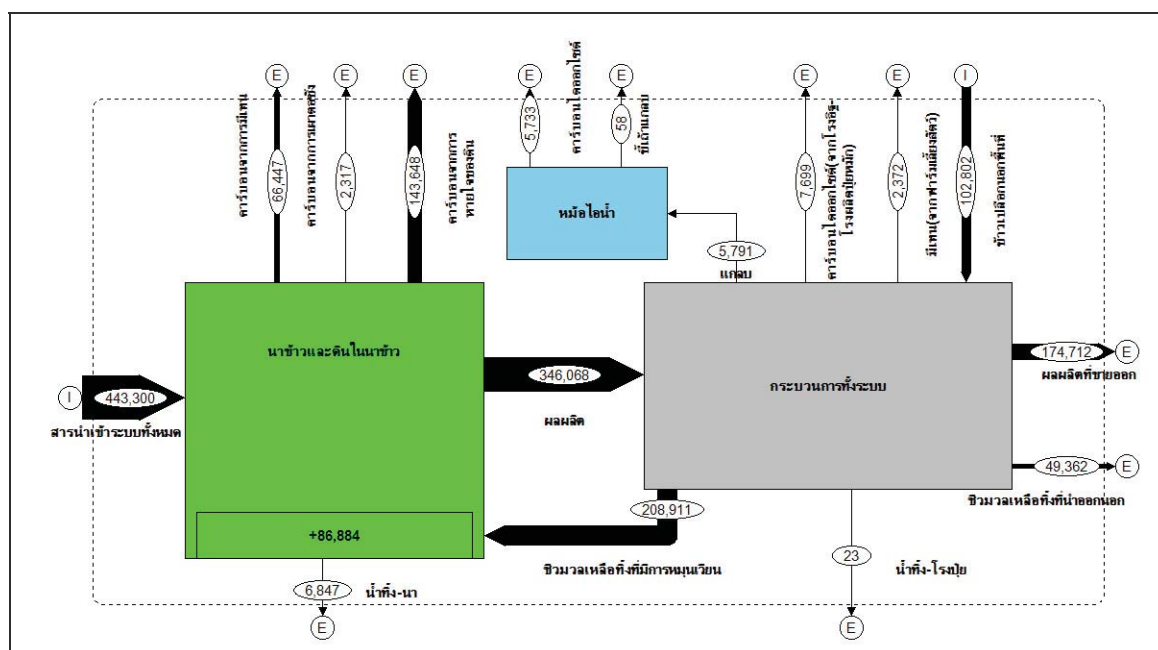
รูปที่ 3.13 อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดิน
ในช่วงพักนา

สมดุลคาร์บอนในพื้นที่ (Carbon Balance)

แผนผังการไหลของคาร์บอน ในพื้นที่ศึกษาแสดงในรูปที่ 3.14 ในส่วนของการปลูกข้าวและดินในนาข้าว มีมวลคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบได้แก่ Net Primary Productivity (NPP) เป็นส่วนที่พืชดูดซับเข้าไปเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชไปในกระบวนการ หักลบส่วนที่พืชหายใจออกไปคิดเป็น 437,850 ตันต่อปี เมล็ดพันธุ์ข้าว 2,774 ตันต่อปี ปุ๋ย 328 ตันต่อปี มวลคาร์บอนที่ออกจากระบบได้แก่ คาร์บอนจากการหายใจของดิน 143,648 ตันต่อปี คาร์บอนจากการเผาตอซัง 2,317 ตันต่อปี คาร์บอนจากการปล่อยก๊าซมีเทน 66,447 ตันต่อปี ผลผลิตข้าวเปลือก 124,846 ตันต่อปี และ ฟางข้าว 221,222 ตันต่อปี โดยฟางข้าวที่ออกจากระบบการได้นำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น นำไปใช้การทำปุ๋ย 165 ตันต่อปี นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ 12,925 ตันต่อปี และส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ก็จะถูกไถกลบในพื้นที่ปลูกข้าวคิดเป็น 208,132 ตันต่อปี (แสดงรูปที่ 3.15)



รูปที่ 3.14 แผนผังการไหลของคาร์บอน (C Flow) ในพื้นที่ศึกษา (ตันคาร์บอน/ปี)



รูปที่ 3.15 แผนผังการไหลของคาร์บอนดัดแปลงเพื่อสรุปวิเคราะห์สมดุลคาร์บอนในพื้นที่ศึกษา (ตันคาร์บอน/ปี)

ตาราง 3.3 แสดงผลการวิเคราะห์สารเข้าออก การใช้ประโยชน์ ชีวมวล/ของเสียเหลือทิ้ง
ทั้งหมดในรูปคาร์บอน

รายการ	ปริมาณคาร์บอน (ตัน/ปี)	เปอร์เซ็นต์
สารนำเข้าระบบทั้งหมด	546,223	100
ชีวมวลเหลือทิ้งที่มีการหมุนเวียน	208,790	38
สารออกจากระบบ		
- ในรูปผลผลิตข้าวที่ขายออก	174,712	32
- ออกสู่แหล่งน้ำ	6,869	1
- ออกไปสู่บรรยากาศ	228,216	42
- ชีวมวลเหลือทิ้งที่นำออก		
นอกระบบ	49,420	9
สารออกจากระบบทั้งหมด	459,217	84

จากตาราง 3.3 จะพบว่าจากคาร์บอนที่เข้ามาในระบบทั้งหมด (คิดเป็น 100%) มีคาร์บอนที่ออกไปจากระบบมากที่สุด ในรูปของการปลดปล่อยก๊าซไปสู่บรรยากาศ (42%) คาร์บอนที่ออกไปในรูปผลผลิตข้าวคิดเป็น 32% คาร์บอนที่ออกไปสู่แหล่งน้ำโดยตรงมี 1% คาร์บอนที่ออกไปกับชีวมวล เช่น แกลบที่ส่งขายไปยังพื้นที่อื่นหรือมูลสัตว์ที่ถูกนำไปนอกระบบคิดเป็น 9% รวมมีคาร์บอนที่ออกจากระบบ 84% และมีคาร์บอนในรูปของชีวมวลที่ถูกหมุนเวียน กลับไปสู่นาข้าว 38 % ต่อปี โดยรวมแล้วมีคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบมากกว่าที่ออกจากระบบ 16 % ต่อปี เมื่อเทียบกับคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับลุ่มน้ำกว๊านพะเยาที่ต้องลดคาร์บอนที่ออกไปนอกระบบและเพิ่มการหมุนเวียนคาร์บอนกลับเข้ามาในระบบอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีข้อเสนอแนะดังนี้

การลดคาร์บอนที่ออกไปนอกระบบควรพิจารณาเน้นที่ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไปสู่บรรยากาศ เนื่องจากเป็นแหล่งที่ปล่อยมากที่สุด คาร์บอนจากการหายใจของดินมีการปล่อยมากที่สุดเนื่องจากในพื้นที่ส่วนมากเป็นการทำนาปีละครั้งช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม นอกนั้นจะปล่อยให้ที่ดินว่างเปล่า ซึ่งจากงานวิจัยนี้ พบว่าในช่วงพักนา ซึ่งมีการปล่อยที่ดินให้ว่างเปล่า จะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณที่สูงมาก ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการใช้ที่ดินปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อไม่ให้เกิดช่วงที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่า

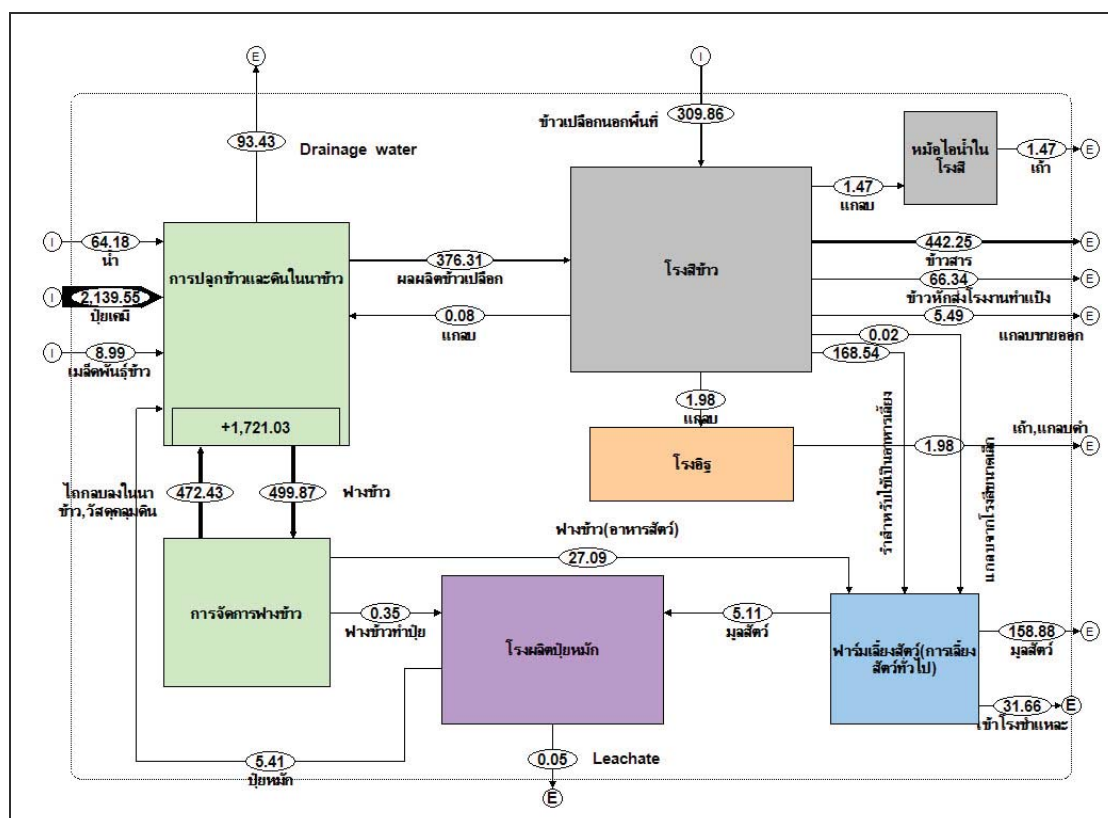
การจัดการเศษฟางข้าวหรือตอซังโดยมากจะปล่อยทิ้งไว้และไถกลบลงในพื้นที่นา ซึ่งจากข้อมูลการวิจัย พบว่าหลังจากการทำนา 15 วัน มีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น เนื่องจากเกิดการหมักตอซังที่ไถกลบระหว่างขั้นตอนการเตรียมดินก่อนการปลูก ดังนั้นควรมีการไถกลบตอซังก่อนจะซังน้ำอย่างน้อย 1-2 เดือน เพื่อปล่อยให้ย่อยสลายก่อน จะช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้

การทำนาปรัง ตอซังบางส่วนจะเผาฟางทั้งก่อนทำนารอบต่อไป และก่อนปลูกข้าว คิดเป็นปริมาณฟางข้าวที่ถูกเผาประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ (จากผลการวิจัย) ซึ่งจะก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงควรมีการรณรงค์งดการเผาตอซัง เพื่อเพิ่มการกักเก็บ

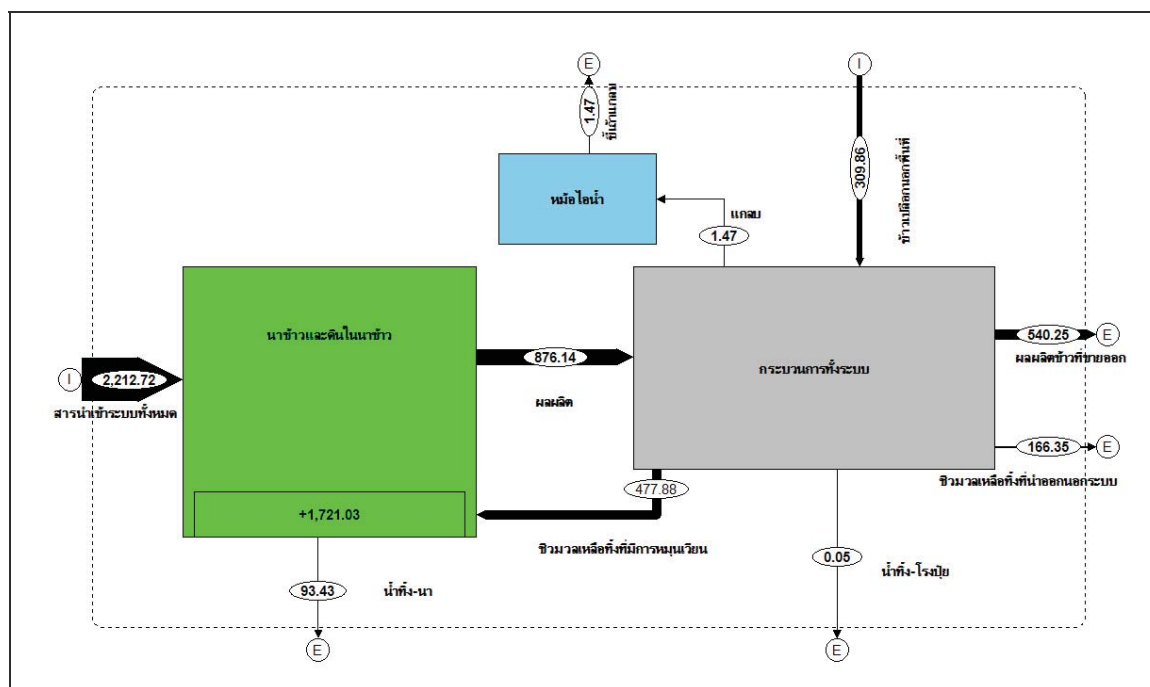
คาร์บอนไว้ในดิน ในส่วนของการหมุนเวียนคาร์บอนที่ได้จากงานวิจัยนี้ ควรพิจารณานำแกลบที่ขายออกไปมาใช้ในพื้นที่แทนและนำมูลสัตว์ที่จัดการไม่ถูกต้องหรือถูกนำไปใช้ในพื้นที่อื่นมาจัดการตามกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักแล้วนำกลับไปใช้บำรุงดินในนาข้าวในพื้นที่ เช่น การผลิตเป็นเชื้อเพลิงแล้วนำแกลบหรือกากตะกอนมาใส่บำรุงดิน ในส่วนของการคาร์บอนที่ออกไปกับผลผลิตข้าวที่สีแล้ว ส่วนมากจะส่งขายให้บริโภคนภายในพื้นที่หรือจังหวัดใกล้เคียง ดังนั้นหลังจากที่บริโภคแล้วข้าวบางส่วนจะแปรสภาพเป็นของเสียจากมนุษย์ซึ่งควรมีระบบการจัดการให้ถูกสุขลักษณะแล้วนำมาใช้ในการปรับปรุงดินและเพิ่มการหมุนเวียนคาร์บอนต่อไป

สมดุลฟอสฟอรัสในพื้นที่ (Phosphorus Balance)

แผนผังการไหลของฟอสฟอรัส (P Flow) ในพื้นที่ศึกษาแสดงภาพ ในส่วนของการปลูกข้าวและดินในนาข้าว มีมวลสารที่เข้าสู่ระบบได้แก่ ปุ๋ยเคมี 2,139.55 ตันต่อปี เมล็ดพันธุ์ข้าว 8.99 ตันต่อปี น้ำ 64.18 ตันต่อปี มวลสารที่ออกจากระบบได้แก่ ผลผลิตข้าวเปลือก 376.31 ตันต่อปี ฟางข้าวทั้งหมด 520.70 ตันต่อปี โดยฟางข้าวที่ออกจากระบบการได้นำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น นำไปใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ย 0.35 ตันต่อปี นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ 27.09 ตันต่อปี และส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ก็จะถูกไถกลบในพื้นที่ปลูกข้าวคิดเป็น 472.43 ตันต่อปี (แสดงรูปที่ 3.16)



รูปที่ 3.16 แผนผังการไหลของฟอสฟอรัส (P Flow) ในพื้นที่ศึกษา (ตันฟอสฟอรัส/ปี)



รูปที่ 3.17 แผนผังการไหลของฟอสฟอรัสดัดแปลงเพื่อสรุปวิเคราะห์สมดุล
ฟอสฟอรัสในพื้นที่ศึกษา (ตันคาร์บอน/ปี)

ตาราง 3.4 แสดงผลการวิเคราะห์สารเข้าออก การใช้ประโยชน์ ชีวมวล/ของเสียเหลือทิ้ง
ทั้งหมดในรูปฟอสฟอรัส

รายการ	ปริมาณฟอสฟอรัส (ตัน/ปี)	เปอร์เซ็นต์
สารนำเข้าระบบทั้งหมด	2,523	100
ชีวมวลเหลือทิ้งที่มีการหมุนเวียน	499	19
สารออกจากระบบ		
- ในรูปผลผลิตข้าวที่ขายออก	540	21
- ออกสู่แหล่งน้ำ	93	4
- ชีวมวลเหลือทิ้งที่นำออก	168	7
นอกระบบ		
สารออกจากระบบทั้งหมด	802	32

จากตาราง 3.4 จะพบว่าจากฟอสฟอรัสที่เข้ามาในระบบทั้งหมด (All import) เมื่อคิดเป็น 100% จะมีฟอสฟอรัสที่ออกไปจากระบบในรูปผลผลิตข้าว 21% ฟอสฟอรัสที่ออกไปกับชีวมวล เช่น แกลบที่ส่งขายไปยังพื้นที่อื่นหรือมูลสัตว์ที่ถูกนำไปนอกระบบ คิดเป็น 7% คาร์บอนที่ออกไปสู่แหล่งน้ำโดยตรง คิดเป็น 4% รวมมีฟอสฟอรัสที่ออกไปจากระบบคิดเป็น 35% โดยมีฟอสฟอรัส ในรูปของชีวมวลที่ถูก

หมุนเวียนกลับไปสู่หน้าข้าว 19% ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในระบบของดินในหน้าข้าว คิดเป็น 68% ต่อปี โดยเทียบกับฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในระบบคือดินในหน้าข้าวคิดเป็นกว่า 70% ของฟอสฟอรัสที่เข้ามาในแต่ละปีโดยฟอสฟอรัส ส่วนมากจะอยู่ในดินในรูปที่พืชอาจจะยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ในปีนั้นแต่อาจจะนำไปใช้ได้ในปีถัดๆไป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเรามีการนำเข้าฟอสฟอรัสเข้ามาในพื้นที่มากเกินความต้องการโดยเฉพาะในรูปของปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและมีราคาสูงขึ้นทุกปี ทำให้เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสมไม่ใส่มากเกินไป นอกจากนั้นถ้ามีการหมุนเวียนชีวมวลอย่างเหมาะสมเพื่อเป็นแหล่งฟอสฟอรัสจะสามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตได้มาก

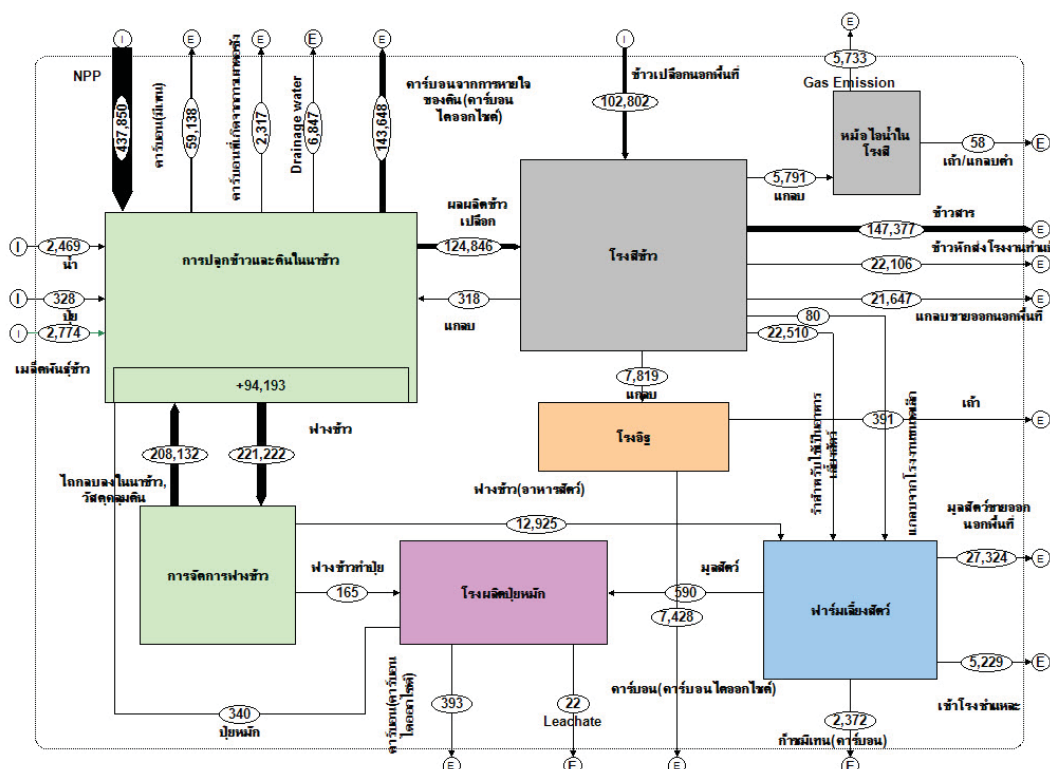
3.2 ผลการวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง

3.2.1 MFA ของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองโดยวิธีการ ของ MFA ดังที่แสดงไว้ในบทที่ 2 ได้ผลสถานการณ์จำลองของการไหลของคาร์บอนทั้ง 7 แสดงในรูปที่ 3.18 ถึงรูปที่ 3.24

Scenario 1 : ทางเลือกที่ 1 การใช้ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนที่ปุ๋ยยูเรีย 15 กก./ไร่

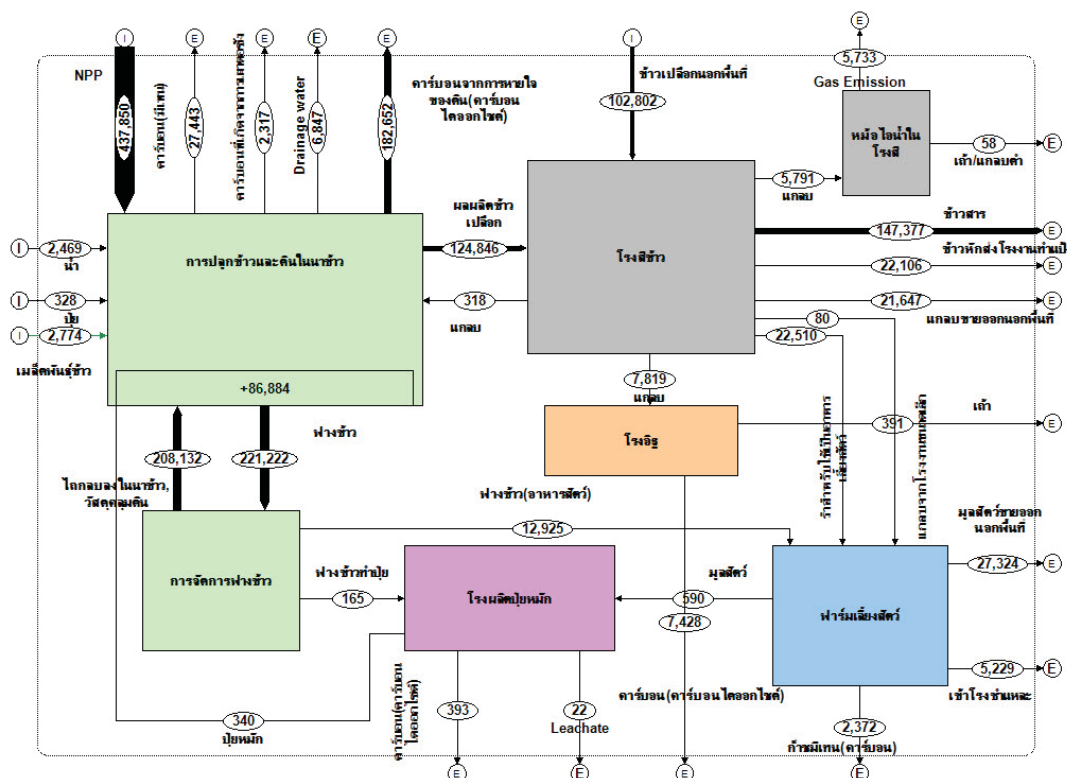
การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 1 แสดงในรูปที่ 3.18 จากรูปพบว่าคาร์บอนจากมีเทนมีค่าลดลงจาก 66,447 ตัน/ปี เป็น 59,138 ตัน/ปี ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงสต็อกในดินเพิ่มขึ้นจาก 87,005 ตัน/ปี เป็น 94,193 ตัน/ปี



รูปที่ 3.18 การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 1

Scenario 2 : ทางเลือกที่ 2 การไถกลบตอซังลงในดิน มากกว่า 30 วัน ก่อนการขังน้ำเพื่อทำนา

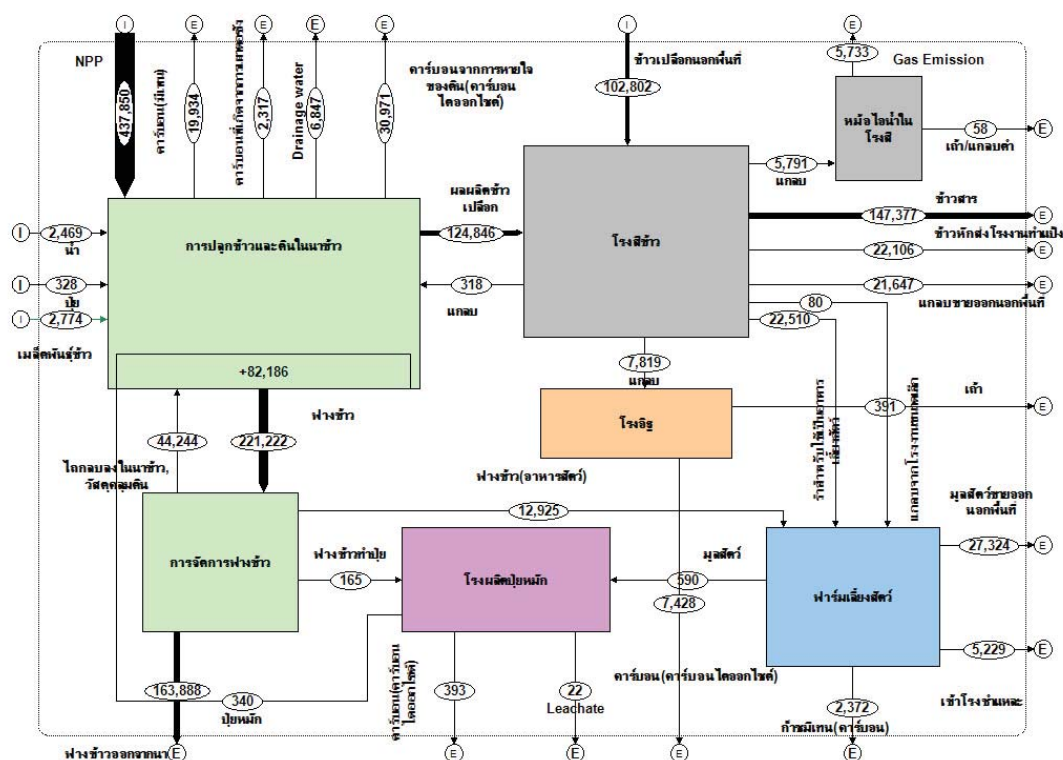
การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 2 แสดงในรูปที่ 3.19 จากรูปพบว่าคาร์บอนจากมีเทนมีค่าลดลงจาก 66,447 ตัน/ปี เป็น 27,443 ตัน/ปี แต่ค่าคาร์บอนในคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 143,648 ตัน/ปี เป็น 182,652 ตัน/ปี



รูปที่ 3.19 การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 2

Scenario 3 : ทางเลือกที่ 3 เอาฟางข้าวออกจากนาข้าว 80% (โดยเหลือ 20% ไว้ในพื้นที่เพื่อการอนุรักษ์ดิน)

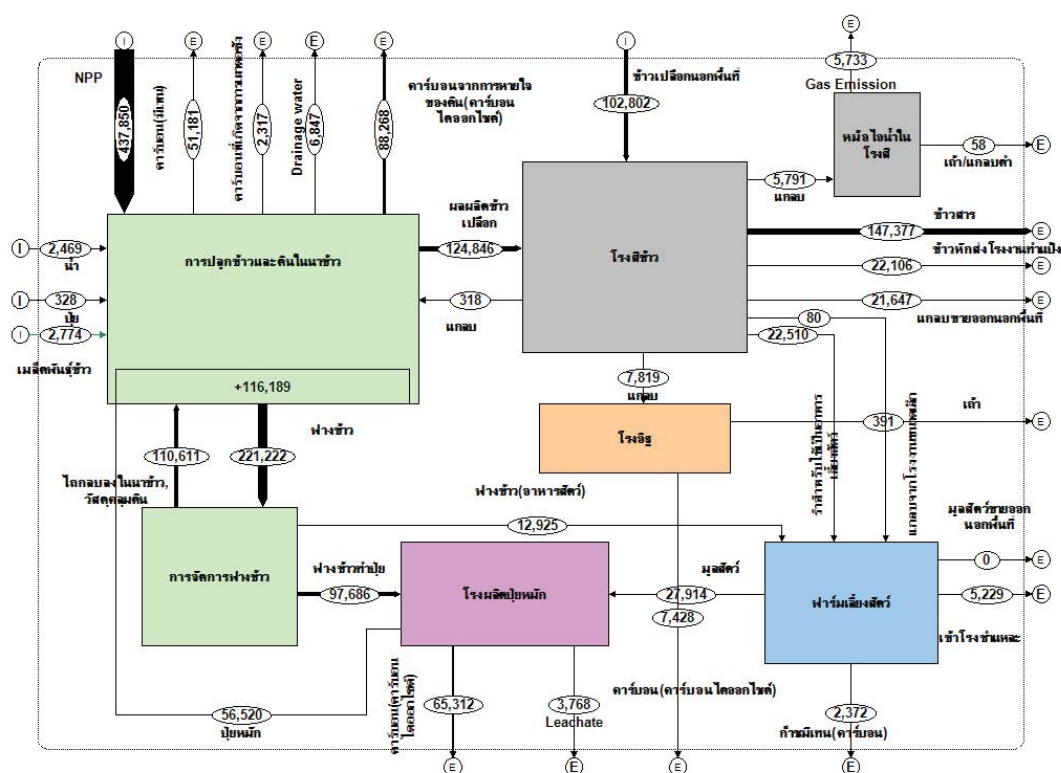
การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 3 แสดงในรูปที่ 3.20 จากรูปพบว่าคาร์บอนจากมีเทนมีค่าลดลงจาก 66,447 ตัน/ปี เป็น 19,934 ตัน/ปี และค่าคาร์บอนในคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินมีค่าลดลงจาก 143,648 ตัน/ปี เป็น 30,971 ตัน/ปี ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงสต็อกในดินลดลงจาก 86,884 ตัน/ปี เป็น 82,186 ตัน/ปี



รูปที่ 3.20 การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 3

Scenario 4 : ทางเลือกที่ 4 เอาฟางข้าวออกจากนาข้าว 50%

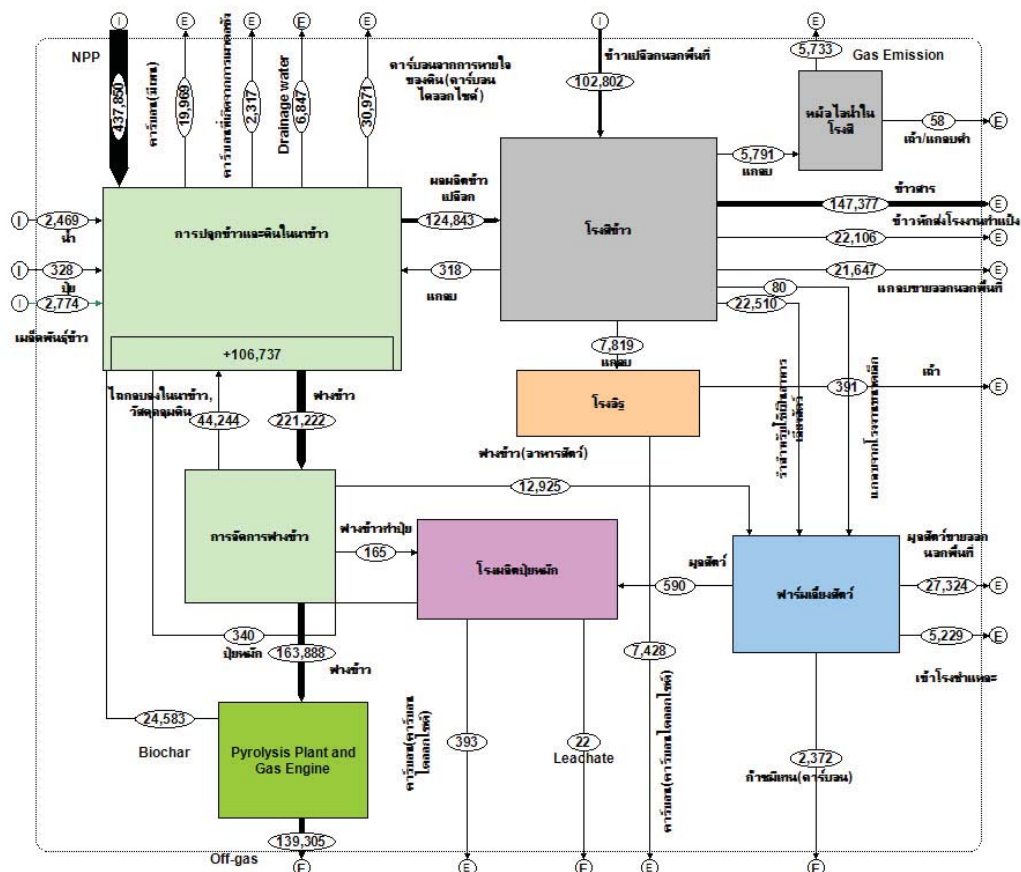
การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 4 แสดงในรูปที่ 3.21 จากรูปพบว่าคาร์บอนจากมีเทนมีค่าลดลงจาก 66,447 ตัน/ปี เป็น 43,191 ตัน/ปี และค่าคาร์บอนในคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินมีค่าลดลงจาก 143,648 ตัน/ปี เป็น 77,428 ตัน/ปี ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนสต็อกในดินลดลงจาก 86,884 ตัน/ปี เป็น 78,839 ตัน/ปี



รูปที่ 3.22 การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 5

Scenario 6 : ทางเลือกที่ 6 นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว

การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 6 แสดงในรูปที่ 3.23 จากรูปพบว่าคาร์บอนจากมีเทนมีค่าลดลงจาก 66,447 ตัน/ปี เป็น 19,969 ตัน/ปี และค่าคาร์บอนในคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินมีค่าลดลงจาก 143,648 ตัน/ปี เป็น 30,971 ตัน/ปี ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนสต็อกในดินเพิ่มขึ้นจาก 86,884 ตัน/ปี เป็น 106,737 ตัน/ปี



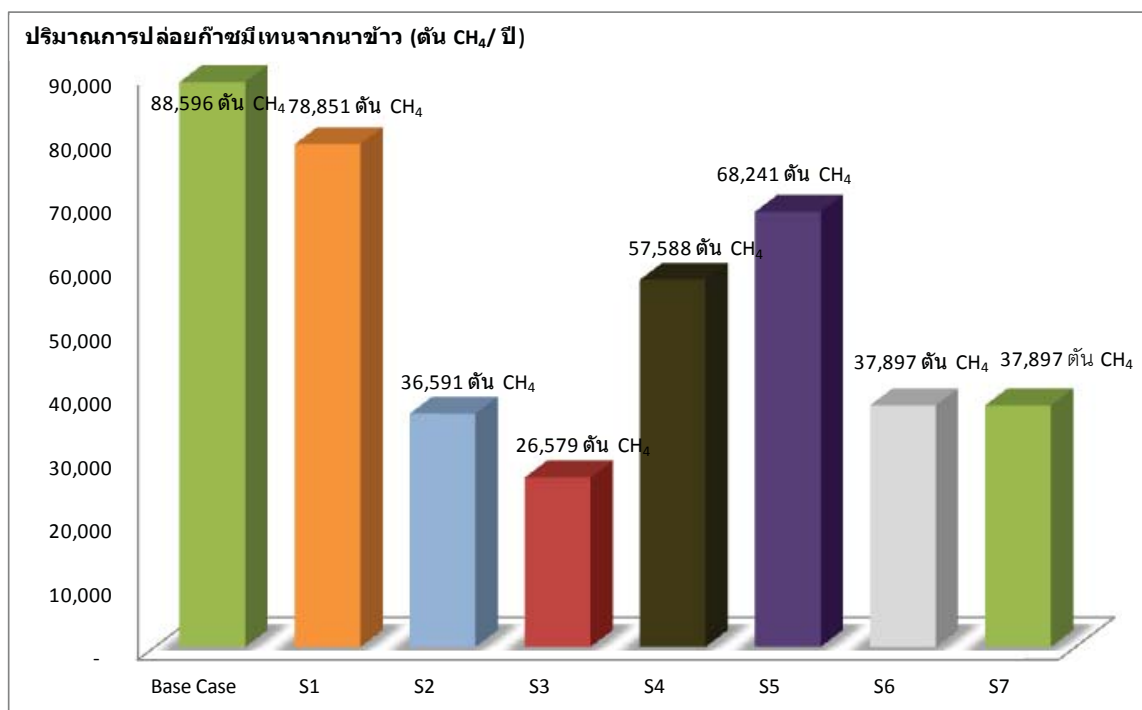
รูปที่ 3.23 การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 6

Scenario 7 : ทางเลือกที่ 7 นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Gasification แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว

การไหลของคาร์บอนในสถานการณ์จำลองที่ 7 แสดงในรูปที่ 3.24 จากรูปพบว่าคาร์บอนจากมีเทนมีค่าลดลงจาก 66,447 ตัน/ปี เป็น 19,969 ตัน/ปี และค่าคาร์บอนในคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินมีค่าลดลงจาก 143,648 ตัน/ปี เป็น 30,971 ตัน/ปี ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนสต็อกในดินเพิ่มขึ้นจาก 86,884 ตัน/ปี เป็น 106,737 ตัน/ปี

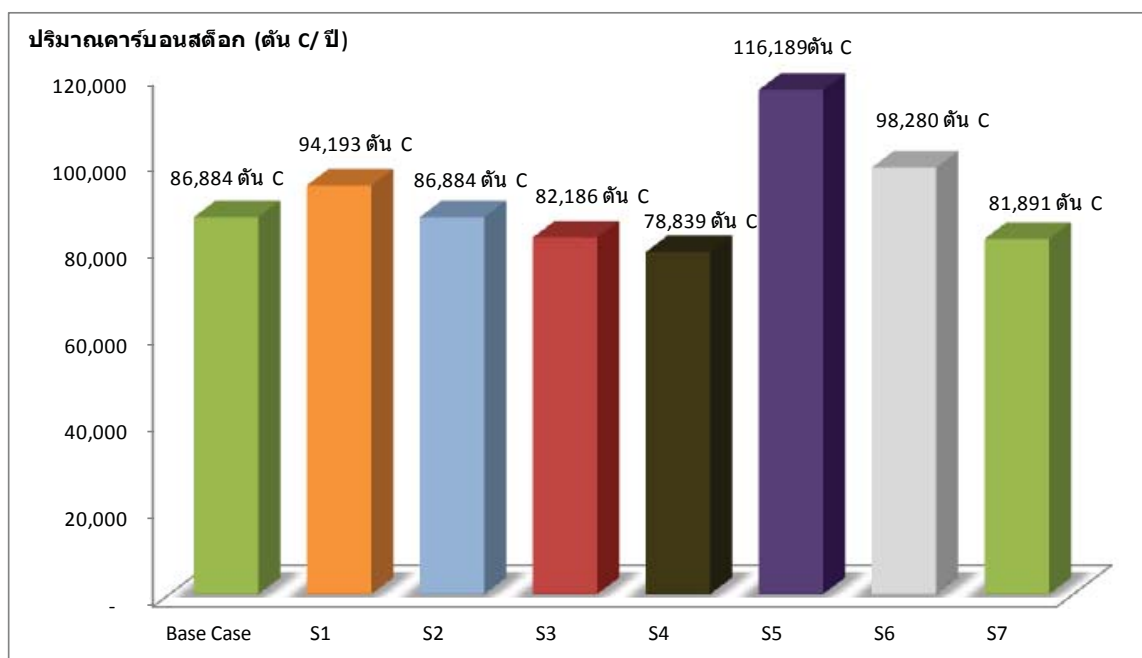
3.2.2 การเปรียบเทียบผลของสถานการณ์จำลองในส่วนการไหลของคาร์บอน

เมื่อนำผลของการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองทั้ง 7 มาเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวจะพบว่า ทางเลือกที่ 3 คือเอาฟางข้าวออกจากนาข้าว 80% สามารถลดการปล่อยมีเทนออกจากนาข้าวได้มากที่สุด รองลงมาคือ ทางเลือกที่ 2 การไถกลบตอซังลงในดิน มากกว่า 30 วัน ก่อนการขังน้ำเพื่อทำนา โดยทางเลือกที่ 1 สามารถลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้น้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในสถานการณ์จำลองต่าง ๆ

เมื่อนำผลของการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองทั้ง 7 มาเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงสต็อกคาร์บอนในดินจะพบว่า ทางเลือกที่ 5 นำฟางข้าว 50% จากนาข้าวมาทำปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับมูลสัตว์ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี รองลงมาคือ ทางเลือกที่ 6 นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว มีอัตราการเพิ่มสต็อกคาร์บอนในดินมากที่สุด โดยทางเลือกที่ 4 เอาฟางข้าวออกจากนาข้าว 50% มีอัตราการเพิ่มสต็อกคาร์บอนในดินน้อยที่สุดดังแสดงในรูปที่ 3.26

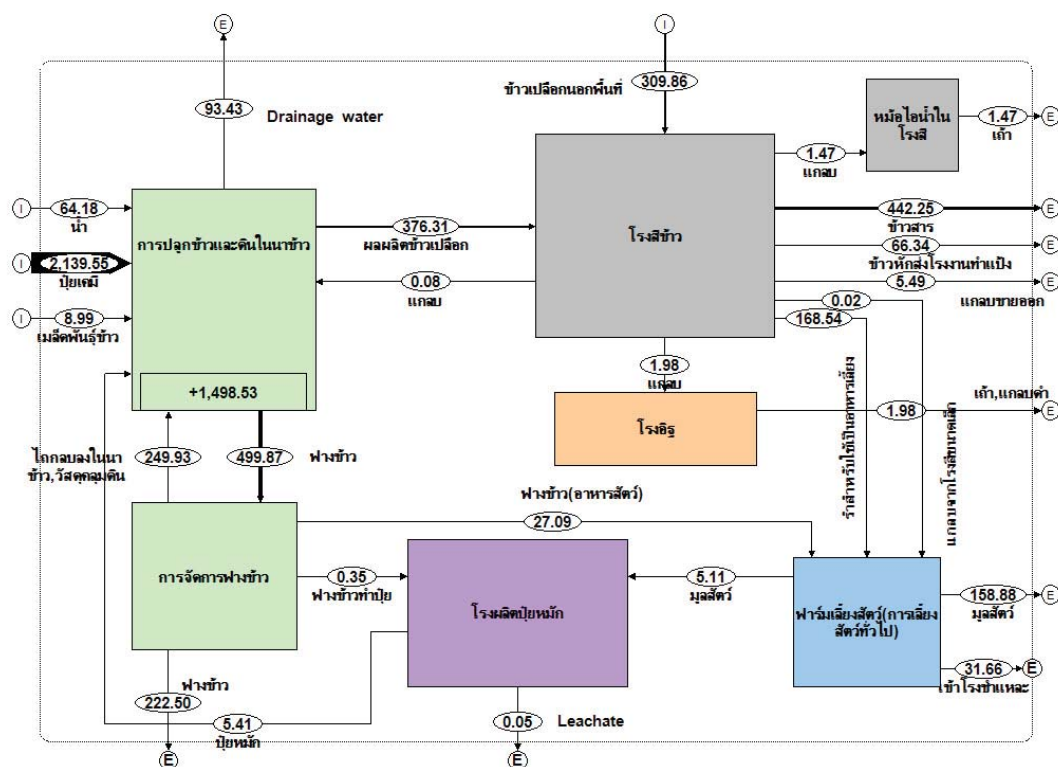


รูปที่ 3.26 อัตราการเพิ่มสต็อกคาร์บอนในดินในสถานการณ์จำลองต่าง ๆ

3.2.3 MFA ของฟอสฟอรัสในสถานการณ์จำลองต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองโดยวิธีการ ของ MFA ดังที่แสดงไว้ในบทที่ 2 ได้ผลสถานการณ์จำลองของการไหลของคาร์บอนทั้ง 7 แสดงในรูปที่ 3.27 ถึง รูปที่ 3.32

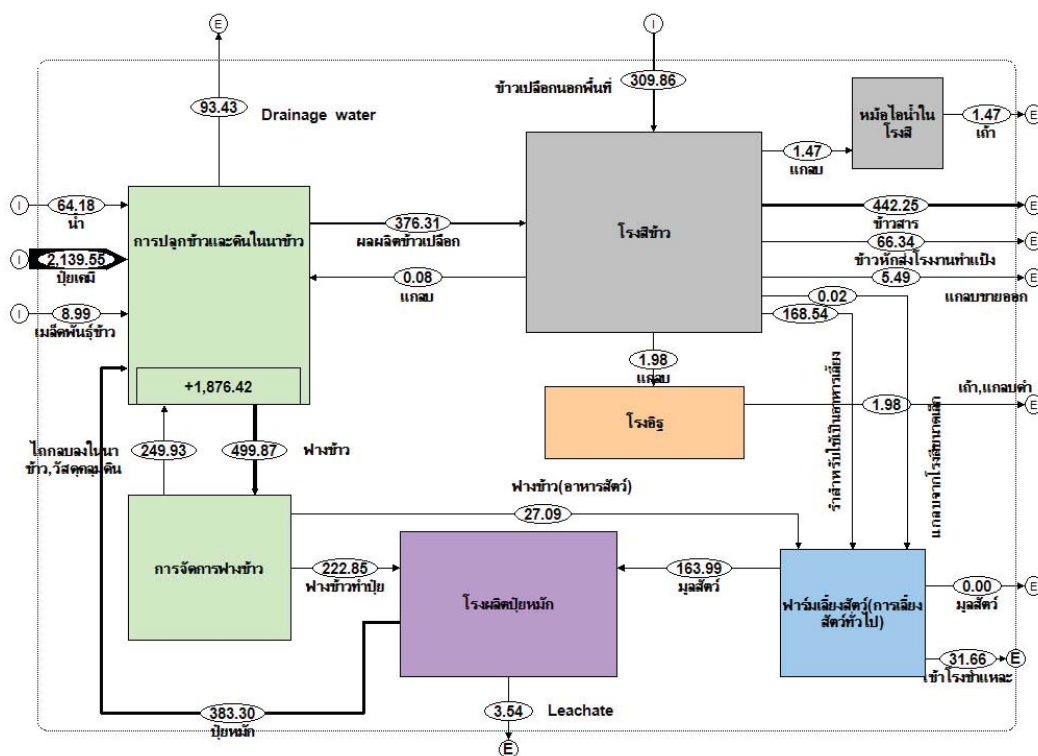
ในส่วนของ **Scenario 1 : ทางเลือกที่ 1** การใช้ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนที่ปุ๋ยยูเรีย 15 กก./ไร่ และ **Scenario 2 : ทางเลือกที่ 2** การไถกลบตอซังลงในดิน มากกว่า 30 วัน ก่อนการขังน้ำเพื่อทำนา ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลของฟอสฟอรัสเทียบกับสถานการณ์ฐาน (Base case) ดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.29 การไหลของฟอสฟอรัสในสถานการณ์จำลองที่ 4

Scenario 5 : ทางเลือกที่ 5 นำฟางข้าว 50% จากนาข้าวมาทำปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับมูลสัตว์ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี

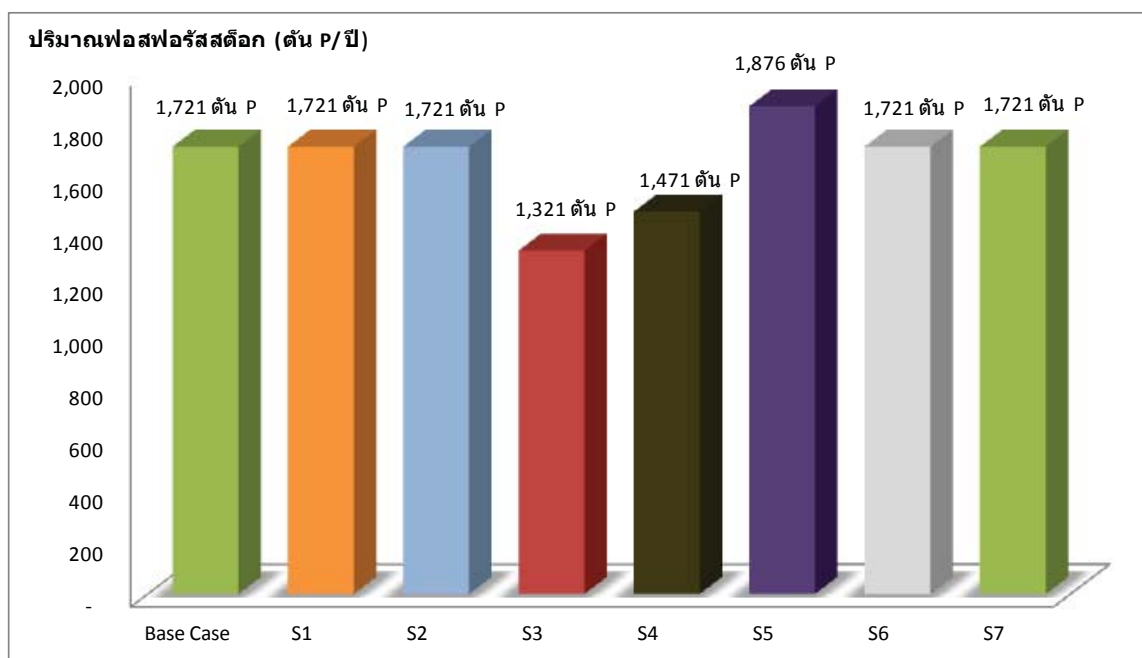
การไหลของฟอสฟอรัสในสถานการณ์จำลองที่ 5 แสดงในรูปที่ 3.30 จากรูปพบว่า การไหลของฟอสฟอรัสในรูปของฟางที่ถูกไถกลบมาที่แปลงนามีค่าลดลงจาก 472 ตัน/ปี เป็น 250 ตัน/ปี แต่ทำให้การไหลของฟอสฟอรัสในรูปปุ๋ยหมักที่มาใช้กับนาข้าวเพิ่มขึ้นจาก 5 ตัน/ปี เป็น 383 ตัน/ปี ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงสต็อกของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้นจาก 1,721 ตัน/ปี เป็น 1,876 ตัน/ปี



รูปที่ 3.30 การไหลของฟอสฟอรัสในสถานการณ์จำลองที่ 5

Scenario 6 : ทางเลือกที่ 6 นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว

การไหลของฟอสฟอรัสในสถานการณ์จำลองที่ 6 แสดงในรูปที่ 3.31 จากรูปพบว่าการไหลของฟอสฟอรัสในรูปของฟางที่ถูกไถกลบมาที่แปลงนามีค่าลดลงจาก 472 ตัน/ปี เป็น 100 ตัน/ปี แต่ทำให้การไหลของฟอสฟอรัสในรูป Biochar ที่มาใช้กับนาข้าว เป็น 372 ตัน/ปี



รูปที่ 3.33 อัตราการเพิ่มสต็อกฟอสฟอรัสในดินในสถานการณ์จำลองต่าง ๆ

3.2.5 การวิเคราะห์ทางเลือกและ Trade-off ระหว่าง C และ P

เมื่อพิจารณาในส่วนของการลดก๊าซเรือนกระจกพบว่า ทางเลือกที่ 3 คือนำฟางข้าวออกจากนาข้าว 80% (โดยเหลือ 20% ไว้ในพื้นที่เพื่อการอนุรักษ์ดิน) จะสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามก็มีค่าการเพิ่มของสต็อกคาร์บอนในดินและสต็อกฟอสฟอรัสในดินน้อยที่สุด เนื่องจากการหมุนเวียนชีวมวลกลับมาน้อยที่สุด ดังนั้นถึงแม้ว่าจะลดก๊าซเรือนกระจกได้มากแต่อาจมีความสมบูรณ์ของดินน้อย เมื่อพิจารณาทางเลือกที่ 5 นำฟางข้าว 50% จากนาข้าวมาทำปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับมูลสัตว์ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทางเลือกนี้จะมีการหมุนเวียนคาร์บอนและฟอสฟอรัสกลับมามากที่สุดทำให้มีอัตราการเพิ่มสต็อกของคาร์บอนและฟอสฟอรัสในดินมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวได้น้อยกว่าทางเลือกที่ 3 มาก

เมื่อพิจารณาทางเลือกที่ 6 นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ดีรองจากทางเลือกที่ 3 และมีการหมุนเวียนคาร์บอนและฟอสฟอรัสกลับมามากและทำให้มีอัตราการเพิ่มสต็อกของคาร์บอนและฟอสฟอรัสในดินมากกว่าทางเลือกที่ 5 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าทางเลือกนี้อาจสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ถึง 14% และ ลด ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือ N_2O ได้ถึง 28% ดังนั้นทางเลือกนี้อาจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมถึงผลกระทบจากการปฏิบัติจริงในระยะยาว ทางเลือกต่าง ๆ ได้ได้กล่าวถึงนี้สามารถใช้ร่วมกับทางเลือกที่ 1 คือการใช้ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนที่ปุ๋ยยูเรีย 15 กก./ไร่ ได้อีกด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจก

เมื่อพิจารณา Trade-off ระหว่างคาร์บอนและฟอสฟอรัสพบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ทางเลือกที่สามารถเพิ่มการหมุนเวียนหรืออัตราการเพิ่มสต็อกของคาร์บอนก็ทำให้เกิดการเพิ่มการหมุนเวียนหรืออัตราการเพิ่มสต็อกของฟอสฟอรัสในลักษณะเดียวกัน

3.3 การจัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจในลักษณะ Web base

ผู้ศึกษาได้จัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจในลักษณะ Web base ที่มี URL คือ www.seen.up.ac.th/cbdss โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ส่วนต่าง ๆ ของโปรแกรม (สำหรับ User)

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงการใช้งานโปรแกรมในส่วนต่าง ๆ โดยรวม

หน้าแรกของระบบ

จากรูปที่ 3.34 จะเป็นหน้าหลักของตัวระบบ จะมีเมนูให้เลือกอยู่ในแถบเมนูด้านบนของหน้าเว็บเพจ โดยจะมีแถบคือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ และการไหลของคาร์บอนในลุ่มน้ำ กว๊านพะเยา

ทางเมนูด้านซ้ายมือ จะเป็นเอกสารเกี่ยวกับโครงการ ประกอบไปด้วย โครงสร้างวิจัย Abstract ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินงานวิจัย สมการในการคำนวณการไหลของคาร์บอน หลักการในการเขียนโปรแกรม และคู่มือการใช้งาน



รูปที่ 3.34 หน้าหลักของระบบ

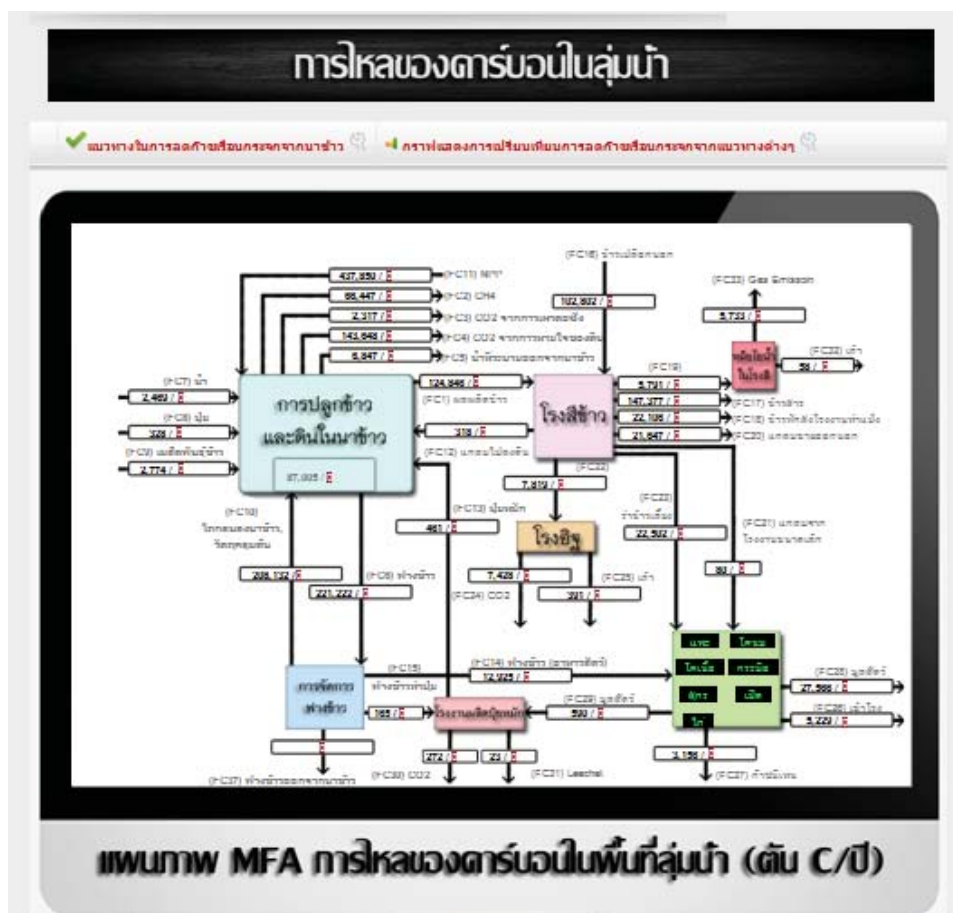
หลักการ แนวคิด ทฤษฎี จะเป็นเอกสารเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบไปด้วย ทฤษฎีการวิเคราะห์การไหลของสาร วัฏจักรการหมุนเวียนของคาร์บอน วัฏจักรการหมุนเวียนของ ฟอสฟอรัสและการจัดการ การปลูกข้าวในประเทศไทย ก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว และการศึกษา การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวในประเทศไทย

ส่วนของข้อมูลพื้นที่

ข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำโดยจะประกอบไปด้วยข้อมูลในเชิงพื้นที่ของลุ่มน้ำ 4 อำเภอในเขตของ จังหวัดพะเยา แหล่งที่ตั้งของโรงงานแปรรูปด้านการเกษตรที่แสดงผลด้วยแผนที่ จะประกอบไปด้วย ขอบเขตพื้นที่ศึกษาและการใช้ที่ดิน ชุดดินในพื้นที่ศึกษา %Organic Carbon ในดิน ฟอสฟอรัสใน นาข้าว โรงสีข้าว ฟาร์มไก่ไข่ ฟาร์มไก่เนื้อ ฟาร์มสุกร โรงอิฐ และโรงปุ๋ยหมัก โดยรายการของข้อมูล พื้นที่ลุ่มน้ำข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ แสดงในรูปแบบที่ 3.35 และ หน้าต่างของแผนที่ขอบเขตการดำเนินการ ศึกษาแสดงในรูปแบบที่ 3.36



รูปที่ 3.35 รายการของข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ



รูปที่ 3.37 การไหลของคาร์บอนในกลุ่มน้ำ

ส่วนของทางเลือกที่ใช้การตัดสินใจในการจัดการการเกษตรดินและชีวมวล

ในส่วนนี้จะเป็นการหาแนวทางเลือกต่างๆ ในการจัดการทางการเกษตรเพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการลดก๊าซที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ดังแสดงในรูปที่ 3.38 โดยผู้ใช้งาน

คลิกที่



แล้วจากนั้นคลิกเลือก

● การลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

จากนั้นสามารถเลือกทางเลือกเพื่อจัดการเกษตรและชีวมวลในแบบต่างๆ ได้

ทางเลือกในการจัดการก๊าซคาร์บอนในรูปก๊าซมีเทนจากนาข้าว

* กดเลือก ทางเลือก ก่อนที่จะคำนวณ (สูงสุด 2 ทางเลือก)

- ทางเลือกที่ 1

Factor

การใส่ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนที่ปุ๋ยยูเรีย 15 กก./ไร่

DETAIL
- ทางเลือกที่ 2

Factor

ปรับปรุงโดยการไถกลบตอซังลงในดิน มากกว่า 30 วัน ก่อนการขึ้นน้ำเพื่อพานา

DETAIL
- ทางเลือกที่ 3

Factor

เอาฟางข้าวออกจากนาข้าว 80%

DETAIL
- ทางเลือกที่ 4

Factor

เอาฟางข้าวออกจากนาข้าว 50%

DETAIL
- ทางเลือกที่ 5

Factor

นำฟางข้าว 50% จากนาข้าวมาทำปุ๋ยหมักร่วมกับมูลสัตว์ และใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับปุ๋ยเคมี

DETAIL
- ทางเลือกที่ 6

Factor

นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใส่กับนาข้าว

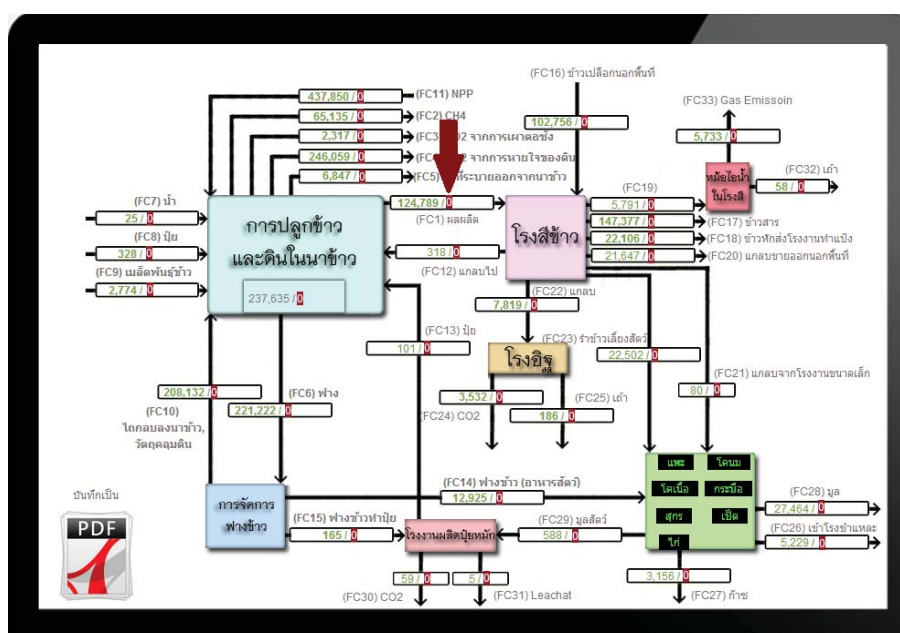
DETAIL

ยืนยัน
เลือกใหม่

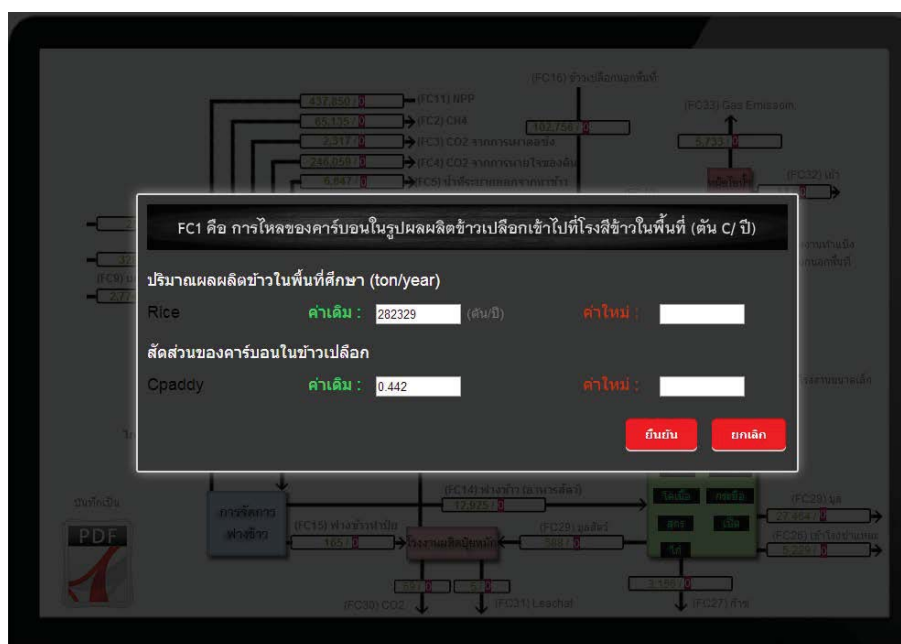
รูปที่ 3.38 รายการทางเลือกที่ใช้ในการตัดสินใจในการจัดการการเกษตรดินและชีวมวล

ส่วนของทางเลือกที่ผู้ใช้งานหนดค่า **factor** ด้วยเอง

ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงค่า factor โดยทำการคลิกตัวเลขที่คลอปสีแดงไว้ จะมี POPUP ขึ้นมาเพื่อกรอกค่า factor ใหม่ลงไปในระบบ จากนั้นระบบจะทำการประมวลผล และแสดงผลลัพธ์ โดยสามารถแยกการคำนวณของแต่ละประเภทได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.39 และ 3.40



รูปที่ 3.41 ทางเลือกที่ผู้ใช้งานหนดค่า factor ด้วยเอง



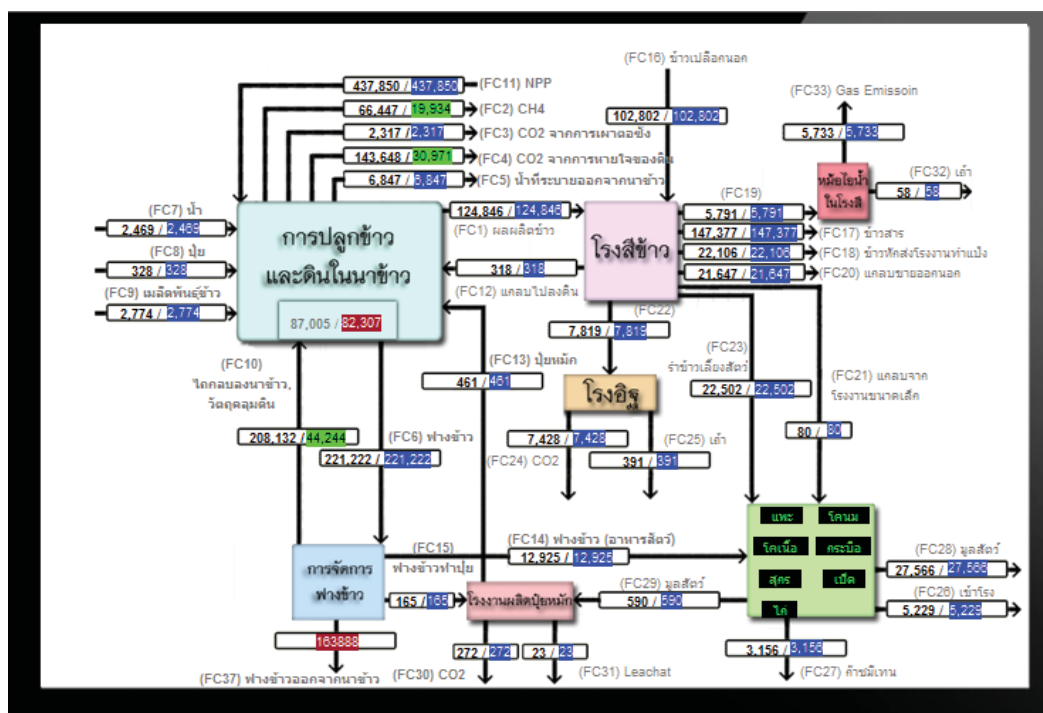
รูปที่ 3.40 ผู้ใช้งานทำการกรอกค่า factor ใหม่เพื่อทำการเปลี่ยนแปลง

ค่าเดิม คือ ค่าที่ได้จากการสำรวจจากพื้นที่จริง

ค่าใหม่ คือ ค่า factor ที่ผู้ใช้งานทำการกรอกสู่ระบบ (ไม่จำเป็นต้องกรอกทุกค่า)

เราสามารถนำค่าที่ได้จากการสำรวจจริง หรือค่าที่เราจะคำนวณไปกรอกได้ช่อง ค่าใหม่ ได้ โดยค่าที่กรอกไปจะกรอกได้เฉพาะตัวเลขเท่านั้น

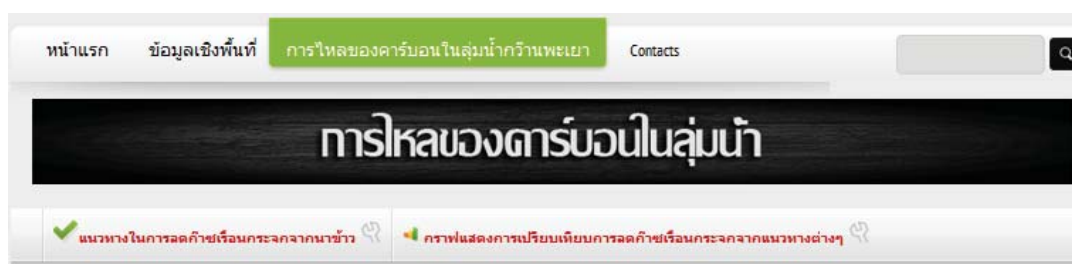
โดยผลที่ได้จากการคำนวณจากการเพิ่มทางเลือกต่างๆหรือการเปลี่ยนค่าตัวแปรดังที่กล่าวมาข้างต้นจะแสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 3.41 คือ **สีเขียว** มีค่าน้อยกว่าค่าเดิม, **สีน้ำเงิน** มีค่าเท่ากับค่าเดิม และ**สีแดง** มีค่ามากกว่าค่าเดิม



รูปที่ 3.41 ตัวอย่างผลที่ได้จากการคำนวณจากการเพิ่มทางเลือกต่าง ๆ หรือการเปลี่ยนค่าตัวแปร

กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบจากการวิเคราะห์จากทางเลือกต่าง ๆ

เมื่อได้ทำการเลือกทางเลือกต่าง ๆ แล้วผู้ใช้งานสามารถดูกราฟสรุปผลเปรียบเทียบได้จากการคลิกเลือกที่ “กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลดก๊าซเรือนกระจกจากแนวทางต่าง ๆ” ดังแสดงในรูปที่ 3.42 ด้านล่าง

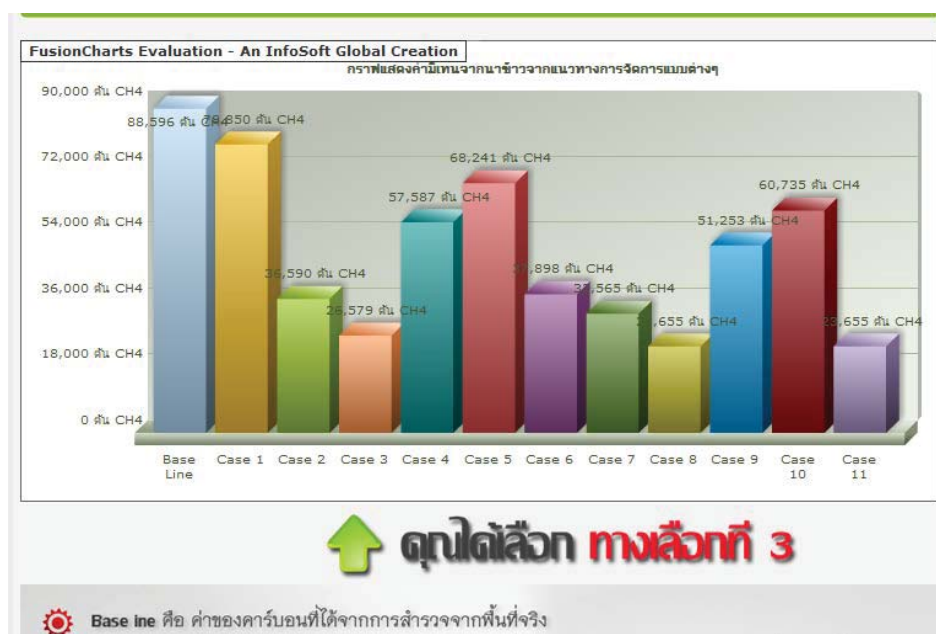


รูปที่ 3.42 รูปแสดงกล่อง “กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลดก๊าซเรือนกระจกจากแนวทางต่าง ๆ”

ซึ่งเมื่อคลิกที่กล่อง “กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลดก๊าซเรือนกระจกจากแนวทางต่าง ๆ” จะปรากฏ drop down list ลงมาให้เลือกชนิดของกราฟที่แสดงในรูปที่ 3.43 ซึ่งเมื่อเลือกชนิดกราฟแล้วจะแสดงผลดังแสดงในรูปที่ 3.44

- ▶ ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว (CH₄)
- ▶ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดิน (CO₂)
- ▶ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาตอซังและฟางข้าว (CO₂)
- ▶ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งหมด
- ▶ ปริมาณคาร์บอนสต็อกของกระบวนการปลูกข้าวและดินในนาข้าวต่อปี

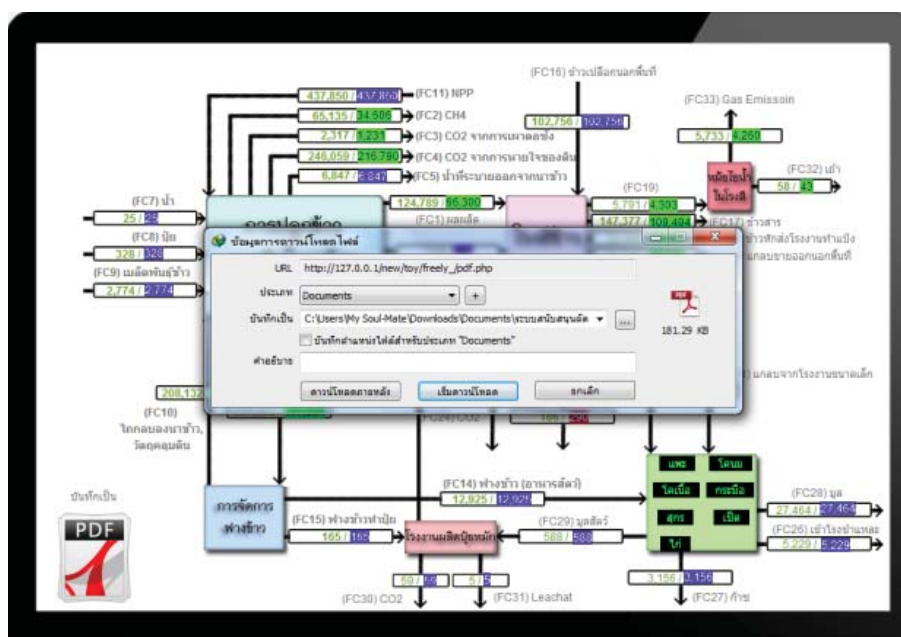
รูปที่ 3.43 เมนูเรียกใช้งานกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์



รูปที่ 3.44 การเปรียบเทียบจากการวิเคราะห์จากทางเลือกต่าง ๆ

จัดพิมพ์เอกสาร

ผู้ใช้งานสามารถจัดพิมพ์เอกสารผลการเปลี่ยนแปลงของค่าคาร์บอนที่เกิดจากการทำการเกษตร เพื่อเป็นข้อมูลเพื่อนำไปปรับปรุง หรือเป็นแนวทางในการจัดการการเกษตรในอนาคต โดยกดไอคอนเพื่อบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ .pdf โดยจะบอกรายละเอียดการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าที่ได้จากการคำนวณทั้ง 33 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 การจัดพิมพ์เอกสาร เพื่อบันทึกเป็นข้อมูลเป็นไฟล์เอกสาร .pdf

3.4 การวิเคราะห์ Cost Benefit Analysis (CBA)

จากผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ Scenario ต่าง ๆ ทั้ง 7 ทางเลือกในหัวข้อ 3.2 ในส่วนของ การลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว (ทั้งลุ่มน้ำ) การเพิ่มค่าการสะสมคาร์บอน (C stock) ในดิน รวมถึงปริมาณ Biochar และปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากทางเลือกที่ 6 และที่ 7 และ ค่าการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการผลิตไฟฟ้าด้วยชีวมวลแทนการผลิตไฟฟ้า Thai grid mix 2009 ได้ แสดงผลสรุปในตารางที่ 3.5 โดยข้อมูลจากตารางนี้จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ CBA ต่อไป

ตารางที่ 3.5 สรุปผลการศึกษาในส่วนของข้อดีด้านสิ่งแวดล้อม จากการวิเคราะห์ Scenario ต่าง ๆ ทั้ง 7 ทางเลือก

รายการ	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
CH ₄ จากนาข้าวที่ลดลง (ตัน CH ₄ /ปี)	9,745	33,533	62,017	31,008	20,355	50,699	50,699
คิดเป็นค่า GHG ที่ลดลง (ตัน CO ₂ eq/ปี)	204,645	704,193	1,302,357	651,168	427,455	1,064,679	1,064,679
C stock ในดินที่เพิ่มขึ้น (ตัน C /ปี)	7,309	0	-4,698	-8,045	29,305	11,396	4,993
ปริมาณ Biochar ที่ผลิตได้ (ตัน/ปี)	NA	NA	NA	NA	NA	47,520	14,400
ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/ปี)	NA	NA	NA	NA	NA	50,400,000	216,000,000
CO ₂ Offset (from electricity production from biomass) (ตัน CO ₂ eq/ปี)	NA	NA	NA	NA	NA	29,298*	125,561*

*คิดเทียบจากค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าแบบ Thai grid mix 2009 (0.5813 kgCO₂ eq/kWh)

หมายเหตุ

S1 : ทางเลือกที่ 1 โดยการใช้ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ แทนปุ๋ยยูเรีย 15 กก./ไร่

S2 : ทางเลือกที่ 2 การไถกลบตอซังลงในดิน มากกว่า 30 วันก่อนการขังน้ำเพื่อทำนา

S3 : ทางเลือกที่ 3 นำฟางข้าวออกจากนาข้าว 80%

S4 : ทางเลือกที่ 4 เอาฟางข้าวออกจากนาข้าว 50%

S5 : ทางเลือกที่ 5 นำฟางข้าว 50% จากนาข้าวมาทำปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับมูลสัตว์ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (โดยให้เกษตรกรทำปุ๋ยเองในบริเวณใกล้กับนาข้าว)

S6 : ทางเลือกที่ 6 นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว

S7 : ทางเลือกที่ 7 นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Gasification แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว

ทางเลือกที่ 6 โรงไฟฟ้าชีวมวลในระบบ Pyrolysis ได้ถูกประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่ายดังแสดงในตารางที่ 3.6 (ศุภวิทย์, 2556) เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ CBA ต่อไป

ตารางที่ 3.6 ราคาประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่ายของ Pyrolysis plant ใน ทางเลือกที่ 6

Pyrolysis plant	จำนวน	หน่วย
ชีวมวล (ฟางข้าว) เข้า	482,587	ตัน/ปี
	44	ตัน/ชม.
Plant Capacity	7	MW
(คิด 24 ชั่วโมงทำงานต่อวัน)		
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (ทำงาน 300 วันต่อปี)	50,400,000	kWh/ปี
ปริมาณ Biochar ที่ออกมา (คิด 15%)	47,520	ตัน/ปี
CO ₂ avoid	29,298	ตัน CO _{2eq} /ปี)
ค่าลงทุน		
ราคาระบบ Pyrolysis+Pre-treatment (40,000,000 บาท/MW)	280,000,000	บาท
ราคาระบบ Gas Engine (20,000,000 บาท/MW)	140,000,000	บาท
รวมค่าลงทุน	420,000,000	บาท
ค่าเดินระบบ		
ค่า O&M (เพื่อวัสดุอะไหล่) (1,000,000 บาท/MW)	7,000,000	บาท/ปี

ทางเลือกที่ 7 โรงไฟฟ้าชีวมวลในระบบ Gasification ได้ถูกประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่าย ดังแสดงในตารางที่ 3.7 (ศุภวิทย์, 2556) เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ CBA ต่อไป

ตารางที่ 3.7 ราคาประเมินต้นทุนและค่าใช้จ่ายของ Gasification plant ใน ทางเลือกที่ 7

Gasification plant	จำนวน	หน่วย
ชีวมวล (ฟางข้าว) เข้า	482,587	ตัน/ปี
	44	ตัน/ชม.
Plant Capacity (Gasification Technology)	30	MW
(คิด 24 ชั่วโมงทำงานต่อวัน)		
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (ทำงาน 300 วันต่อปี)	216,000,000	kWh/ปี
ปริมาณ Biochar ที่ออกมา (คิด 5%)	14,400	ตัน/ปี
CO ₂ avoid	125,561	ตัน CO _{2eq} /ปี)
ค่าลงทุน		
ราคาระบบ Gasification+Pre-treatment (40,000,000 บาท/MW)	1,200,000,000	บาท
ราคาระบบ Gas Engine (30,000,000 บาท/MW)	900,000,000	บาท
ค่าเดินระบบ		
ค่า O&M (เมื่อวัสดุอะไหล่) (1,000,000 บาท/MW)	30,000,000	บาท/ปี

การวิเคราะห์ CBA ได้ใช้ข้อมูลดังที่กล่าวข้างต้นพร้อมทั้งกำหนดสมมุติฐานในการคำนวณ Net Present Value (NPV) ดังแสดงในตารางที่ 3.8 ซึ่งแบ่งเป็นสมมุติฐานด้าน Financial Parameters, ด้าน Financial Cost, ด้าน Financial Benefit และ ด้าน Environmental Benefit ซึ่งด้านสุดท้ายนี้เป็นการกำหนดมูลค่าทางการเงินให้กับการลดปริมาณก๊าซมีเทนจากนาข้าว ปริมาณการเพิ่มคาร์บอนสะสมในดิน และการชดเชยก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลแทนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงโดยทั่วไปที่ประเทศไทยใช้ (Thai grid mix 2009) การให้มูลค่าทางการเงินกับผลดีด้านสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ผู้วิจัยตั้งราคาตามกลไกตลาดการซื้อขายคาร์บอนเครดิต เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยไม่สามารถซื้อขายคาร์บอนเครดิตในโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด Clean Development Mechanism (CDM) ได้อีกต่อไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาจากมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบสมัครใจ หรือ Voluntary Emission Reduction (VER) และ European Union Allowance (EUA) แล้วตั้งราคาสมมุติฐานในงานวิจัยนี้ในราคาค่อนข้างสูง ประมาณ 4 ยูโร ต่อตัน CO_{2eq} เพื่อสร้างแรงจูงใจในการปรับปรุงเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มคาร์บอนสต็อกในดิน (<http://carbonmarket.tgo.or.th>)

ตารางที่ 3.8 สมมุติฐานในการคำนวณ Net Present Value (NPV)

สมมุติฐานด้าน Financial Parameters	
Taxation Rate (%)	30%
Depreciation (%)	5%
Interest Rate on Debt (%)	8%
% Debt of Total Capital (%)	70%
Loan Repayment Period (years)	20
Discount rate	7%
สมมุติฐานด้าน Financial Cost	
ค่าแรงในการเก็บเกี่ยวฟางข้าว (บาทต่อไร่)	200
ค่าซื้อวัตถุดิบ (ฟางข้าว) (บาทต่อตัน)	200
ค่าเก็บรวบรวมและขนส่งวัตถุดิบ (ฟางข้าว) (บาทต่อตัน)	450
ค่าขนส่ง Bio-char มาจำหน่าย (บาทต่อตัน)	100
สมมุติฐานด้าน Financial Benefit	
รายได้จากการขายไฟฟ้าแต่ละช่วงปี	ราคาค่าขายไฟฟ้า + adder (บาท/kWh)
ปีที่ 1-5	3.25
ปีที่ 6-10	4.25
ปีที่ 11-15	5.25
ปีที่ 16-20	6.25
ราคาขาย Biochar (บาทต่อตัน)	1,000
สมมุติฐานด้าน Environmental Benefit	
ราคา C credit จากการลด CH ₄ (บาท/ตัน CO _{2eq} ที่ลดลง)	164
ราคา C credit จากการเพิ่ม C stock ในดิน (บาท/ตัน C stock ในดินที่เพิ่มขึ้น)	164
ราคา C credit จาก CO ₂ avoidance จากการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล แทนเชื้อเพลิงฟอสซิล (Thai grid mix 2009)	164
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า Grid mix 2009 (kgCO ₂ eq/kWh)	0.5813

เมื่อนำข้อมูลและสมมุติฐานข้างต้นมาวิเคราะห์ CBA และนำมาคำนวณ NPV จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.9 โดยการคำนวณจะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ส่วนแรกคือ NPV ของเกษตรกรทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาซึ่งพิจารณาการดำเนินการในส่วนของการเกษตรที่เพิ่มขึ้นเพื่อก่อให้เกิดการลดก๊าซมีเทนจากนาข้าวและเพิ่มการเก็บกักของคาร์บอนในดินและรายได้ที่ได้รับในส่วนของการขายคาร์บอน (C offset) และรายจ่ายที่ลดลงจากการลดใช้ปุ๋ยเคมีเนื่องจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้มาทดแทน

ส่วนที่ 2 คือ NPV ของผู้ประกอบการที่เป็นเจ้าของ Pyrolysis และ Gasification plant ที่จะมาตั้งในพื้นที่ ในทางเลือกที่ 6 และทางเลือกที่ 7 ซึ่งจะคิดต้นทุนทั้งหมดและคิดรายได้จากการขายไฟฟ้าและขาย Biochar รวมถึงรายได้จากการรับโอนเครดิต หลังจากนั้นจะนำค่าทั้งสองมารวมกันเป็น NPV ของภูมิภาค (Regional NPV) เพื่อพิจารณาทางเลือกที่ดีที่สุดต่อไป

ตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์ CBA ของแนวทางเลือกต่าง ๆ ทั้ง 7 ทางเลือก

รายการ	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
เกษตรการ							
Financial cost (ต่อปี)							
ค่าลงทุน	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ค่าดำเนินการ (เก็บเกี่ยว ฟางข้าว)	NA	NA	95,091,200	95,091,200	95,091,200	95,091,200	95,091,200
ค่าปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น	23,772,800	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ค่าซื้อ Biochar + ค่าขนส่ง	NA	NA	NA	NA	NA	52,272,000	15,840,000
Financial Benefit (ต่อปี)							
รายได้จากการขายฟางข้าว	NA	NA	NA	NA	NA	95,091,200	95,091,200
รายจ่ายที่ลดลงจากการลด การใช้ปุ๋ยเคมี	NA	NA	NA	NA	114,109,440*	NA	NA
Environmental Benefit							
(บาท/ปี)							
ค่าชดเชยคาร์บอน C offset จากการลดการปล่อย CH ₄	33,561,780	115,487,652	213,586,548	106,791,552	70,102,620	174,607,356	174,607,356
ค่า การเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์ ในดิน (soil C stock)	1,198,676	0	-770,472	-1,319,380	4,806,020	1,868,944	818,852

ตารางที่ 3.9 (ต่อ)

รายการ	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
NPV จากภาคการเกษตร	86,570,639	1,143,437,225	1,076,717,583	13,911,182	841,094,864	1,140,870,022	1,491,184,449
ผู้ประกอบการ							
Financial cost (บาท/ปี)							
ค่าลงทุน	NA	NA	NA	NA	NA	420,000,000	2,100,000,000
ค่าดำเนินการ	NA	NA	NA	NA	NA	7,000,000	30,000,000
ค่าซื้อวัตถุดิบ	NA	NA	NA	NA	NA	91,310,600	91,310,600
ค่าเก็บรวบรวมและขนส่งวัตถุดิบ	NA	NA	NA	NA	NA	205,448,850	205,448,850
ค่าขนส่ง By-product มาจำหน่ายให้เกษตรกร	NA	NA	NA	NA	NA	4,752,000	1,440,000
Financial Benefit (บาท/ปี)							
รายได้จากการขายไฟฟ้า							
ปีที่ 1-5 (คิดค่าไฟ 3.25 บาท/kwh)	NA	NA	NA	NA	NA	163,800,000	702,000,000
ปีที่ 6-10 (คิดค่าไฟ 4.25 บาท/kwh)	NA	NA	NA	NA	NA	214,200,000	918,000,000
ปีที่ 11-15 (คิดค่าไฟ 5.25 บาท/kwh)	NA	NA	NA	NA	NA	264,600,000	1,134,000,000
ปีที่ 16-20 (คิดค่าไฟ 6.25 บาท/kwh)	NA	NA	NA	NA	NA	315,000,000	1,350,000,000

ตารางที่ 3.9 (ต่อ)

รายการ	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
รายได้จากการขาย Bio-Char	NA	NA	NA	NA	NA	47,520,000	14,400,000
Environmental Benefit (บาท/ปี)							
รายได้จากการขาย C credit VER	NA	NA	NA	NA	NA	4,804,793	20,591,971
Plant NPV ของผู้ประกอบการ						6,570,556	2,008,747,268
Regional Benefit	86,570,639	1,143,437,225	1,076,717,583	13,911,182	841,094,864	1,147,440,578	3,499,931,717

*คิดจากค่าปุ๋ยเคมีที่ลดลงประมาณ 30 %

จากตารางที่ 3.9 พบว่า ทางเลือกที่ 7 และทางเลือกที่ 6 เป็นทางเลือกที่มีค่า NPV สูงสุดเป็นอันดับหนึ่งและอันดับสองตามลำดับทั้งในส่วนของ NPV ของเกษตรกร และในส่วนของผู้ประกอบการ ทางเลือกที่ 7 มีค่า NPV สูงกว่าทางเลือกที่ 6 เพราะระบบ Gasification จะผลิตพลังงาน (Syngas) ได้มากกว่า ระบบ Pyrolysis ซึ่งเน้นผลิต Bio-Char มากกว่าพลังงาน แต่จากการคำนวณรายได้จากพลังงานจะมากกว่าในส่วนของรายได้จาก Biochar ดังนั้นทางเลือกที่ 7 มี NPV ของภูมิภาคสูงที่สุดคือเป็นประโยชน์ต่อภูมิภาคในภาพรวม อย่างไรก็ตามการตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล Gasification หรือ Pyrolysis plant เป็นเรื่องที่มีรายละเอียดมาก ต้องมีการศึกษาวิเคราะห์อย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง และเนื่องจากลงทุนสูงมากอาจต้องกระจายแบ่งเป็นโรงไฟฟ้าขนาดเล็กหลายๆแห่งกระจายตามพื้นที่ต่างๆ (งานวิจัยนี้คิดเป็น โรงไฟฟ้าใหญ่โรงเดียวโดยใช้วัตถุดิบฟางข้าวทั้งภูมิภาค) เพื่อง่ายต่อการรวบรวมและเก็บขน รวมถึงขนส่ง Biochar ไปให้เกษตรกรใช้ด้วยและต้องทำความเข้าใจชุมชนและสังคมซึ่งปัจจุบันมีทัศนคติที่ไม่ดีต่อโรงไฟฟ้า รวมถึงต้องอาศัยความร่วมมือกับเกษตรกรในการเก็บรวบรวมวัตถุดิบ ดังนั้นภาครัฐควรเริ่มต้นศึกษาและทำโครงการนำร่องในทางเลือกนี้โดยต้องมีการบูรณาการกันระหว่างหน่วยงานหลายกระทรวงเช่น กระทรวงเกษตร กระทรวงพลังงาน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงคนในชุมชนด้วย ซึ่งอาจต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินการมาก จึงควรสนับสนุนให้เป็นแผนระยะยาว

ทางเลือกที่ 2 การไถกลบตอซังก่อนขังน้ำอย่างน้อย 1 เดือนเป็นทางเลือกที่ง่ายที่สุดและไม่ได้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับเกษตรกร เพียงแต่ต้องอาศัยการปรับพฤติกรรมเท่านั้น แต่มีค่า NPV ที่สูงรองจากทางเลือกที่ 6 ดังนั้น จึงควรสนับสนุนให้เป็นแผนเร่งด่วน ซึ่งทางเลือกนี้สามารถใช้ร่วมกับทางเลือกอื่นๆได้อีกด้วยทำให้ทางเลือกอื่นๆมีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวลดลงและมีค่าการเก็บกักคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นได้อีกด้วย เช่นทางเลือกที่นำฟางข้าวออกจากนา 50% และ 80% ถ้ามีการไถกลบตอซังฟางข้าวที่เหลือ 50% และ 20% ก่อนขังน้ำอย่างน้อย 1 เดือนจะสามารถลดก๊าซมีเทนจากนาข้าวเพิ่มการเก็บกักคาร์บอนได้อีก

ทางเลือกที่ 3 และ 4 แม้จะทำให้ค่า NPV สูงรองจากทางเลือกที่ 2 ก็ตามแต่เป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติเนื่องจากต้องหาทางนำฟางที่นำออกไปจากนาข้าวไปใช้ประโยชน์ไม่อย่างใดก็อย่างหนึ่งดังเช่นที่เสนอ คือนำไปทำปุ๋ยหมักในทางเลือกที่ 5 หรือ ทำไปเป็นเชื้อเพลิงในทางเลือกที่ 6 และ 7 ในส่วนของทางเลือก 5 แม้ว่าค่า NPV โดยรวมจะน้อยกว่าทางเลือกที่ 2 3 และ 4 แต่ถ้านำไปใช้ร่วมกับทางเลือกที่ 2 คือให้เกษตรกรนำฟางข้าว 50 % ไปทำปุ๋ยหมักแล้วใส่กลับไปที่นาข้าวแล้วทำการไถกลบตอซังก่อนขังน้ำอย่างน้อย 1 เดือน รวมด้วย จะทำให้มีค่า NPV ที่สูงกว่าทางเลือกที่ 2, 3, 4 และ 6 ดังนั้นการดำเนินการตามทางเลือกที่ 5 ร่วมกับทางเลือกที่ 2 เป็นกรณีที่น่าสนับสนุนอย่างยิ่ง เนื่องจากมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและได้ผลดีต่อสิ่งแวดล้อมสูงทั้งในเรื่องของการลดก๊าซมีเทน เพิ่มการสะสมของคาร์บอนในดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน (จากปุ๋ยอินทรีย์) และลดค่าใช้จ่ายจากการลดการใช้ปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตามการจะทำให้เกษตรกรเปลี่ยนพฤติกรรมเก็บเกี่ยวฟางข้าวมาทำปุ๋ยหมักใส่ในนาข้าวของตัวเองและไถกลบตอซังให้เร็วขึ้นต้องใช้ระยะเวลาพอสมควร จึงควรสนับสนุนให้เป็นแผนระยะกลาง

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถแสดงภาพให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจในพื้นที่และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมองเห็นสภาพศักยภาพพลังงานการหมุนเวียนพลังงานมวลสาร คาร์บอนและฟอสฟอรัสในเชิงพื้นที่จากสถานการณ์การจัดการพื้นที่การเกษตร การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลในปัจจุบันร่วมกันอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะส่งเสริมให้เกิดการมองเห็นภาพเดียวกันและเกิดการบูรณาการในการแก้ปัญหาาร่วมกันได้ โดยผลการศึกษารูปผลการศึกษาแยกตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้ดังนี้

4.1 สถานการณ์การจัดการพื้นที่การเกษตร การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลในปัจจุบัน ศักยภาพพลังงานการหมุนเวียนพลังงานมวลสาร คาร์บอนและฟอสฟอรัสในเชิงพื้นที่

การจัดการการเกษตรและชีวมวลในสถานการณ์ปัจจุบัน

ในพื้นที่ศึกษาเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะทำการผลิตข้าวเจ้าหอมมะลิเพื่อการจำหน่ายและข้าวเหนียวจะผลิตเพื่อการบริโภคในครัวเรือนเป็นส่วนใหญ่ พันธุ์ข้าวหอมมะลิที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข 15 และข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 โดย การทำนาปลูกข้าวส่วนใหญ่เป็นนาปี พื้นที่ทำนาปรังมีน้อยมากซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับพื้นที่อื่นๆในภาคเหนือตอนบน การจัดการวัสดุเหลือทิ้งในส่วนของฟาง การเกี่ยวด้วยแรงงานคนฟางจะถูกนำไปมัดรวมกันไว้เป็นกองเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น เป็นวัสดุคลุมดินเพื่อปลูกพืชอื่น การนำไปเป็นอาหารสัตว์ วัสดุรองพื้นในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ แต่การเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวข้าวซึ่งมีมากในปัจจุบัน ฟางข้าวจะถูกฟ่นออกมาที่ท้ายเครื่องและกระจายอยู่ทั่วนา และ โดยทั่วไปสำหรับนาปี การไถกลบตอซังลงดินก่อนทำการขังน้ำเพื่อทำนาในรอบต่อไปแค่หนึ่งหรือสองสัปดาห์ล่วงหน้าเท่านั้นดังนั้นตอซังซึ่งยังย่อยสลายไม่หมดหลังจากจมภายใต้น้ำขังและจะเกิดการหมักแบบไร้อากาศซึ่งก่อให้เกิดก๊าซมีเทนในช่วงต้นของการทำนามาก

ชีวมวลเหลือทิ้งจากโรงสีข้าว ได้แก่ ปลายข้าว รำข้าว และแกลบ ปลายข้าวและรำข้าวจะถูกขายเป็นอาหารของสัตว์ แกลบจากโรงสีข้าว จะนำไปใช้ประโยชน์หลัก ๆ คือ โรงสีข้าวที่มีขนาดใหญ่ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงสีข้าวเอง โดยนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ นำไปขายเป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงงานปูนซีเมนต์ นำไปขายเป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงงานอุตสาหกรรมและโรงอบลำไยในต่างจังหวัด โรงสีขนาดกลาง ขายให้กับโรงงานอิฐในจังหวัด ขายให้กับโรงเผาถ่านในจังหวัด โรงสีขนาดเล็ก นำไปปรับสภาพดิน ในพื้นที่ศึกษามีโรงผลิตปุ๋ยอินทรีย์ขนาดใหญ่อยู่ 1 โรง ที่ ผลผลิตที่ได้ส่วนมากจะถูกใช้ภายในพื้นที่ใกล้เคียง ในส่วนของการผลิตปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักใช้เองในพื้นที่นาของตัวเองมีค่อนข้างน้อยมาก

การวิเคราะห์การไหลของฟอสฟอรัสและคาร์บอนในสถานการณ์ปัจจุบัน

จากการวิเคราะห์การไหลของคาร์บอนในพื้นที่ในสถานการณ์ปัจจุบันในปีที่ทำการศึกษาค้นพบว่าจากคาร์บอนที่เข้ามาในระบบทั้งหมด มีคาร์บอนที่ออกไปจากระบบมากที่สุดในรูปแบบของการปลดปล่อยก๊าซไปสู่บรรยากาศ (42%) คาร์บอนที่ออกไปในรูปแบบผลผลิตข้าวคิดเป็น 32% คาร์บอนที่ออกไปสู่แหล่งน้ำโดยตรงมี 1% คาร์บอนที่ออกไปกับชีวมวล เช่น แกลบที่ส่งขายไปยังพื้นที่อื่นหรือมูลสัตว์ที่ถูกนำไปนอกระบบคิดเป็น 9% รวมมีคาร์บอนที่ออกจากระบบ 84% และมีคาร์บอนในรูปแบบของชีวมวลที่ถูกหมุนเวียน กลับไปสู่นาข้าว 38 % ต่อปี โดยรวมแล้วมีคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบมากกว่าที่ออกจากระบบ 16 % ต่อปี เมื่อเทียบกับคาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ การลดคาร์บอนที่ออกไปนอกระบบควรพิจารณาเน้นที่ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไปสู่บรรยากาศเนื่องจากเป็นแหล่งที่ปล่อยมากที่สุด คาร์บอนจากการหายใจของดินมีการปล่อยมากที่สุดเนื่องจากในพื้นที่ส่วนมากเป็นการทำนาปีละครั้งช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม นอกนั้นจะเป็นช่วงพักนาจะปล่อยให้ดินว่างเปล่า ซึ่งจะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณที่สูงมาก ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการใช้ที่ดินปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อไม่ให้เกิดช่วงที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่า

การจัดการเศษฟางข้าวหรือตอซังโดยมากจะปล่อยทิ้งไว้และไถกลบลงในพื้นที่นา ซึ่งจากข้อมูลการวิจัย พบว่าหลังจากการทำนา 15 วัน มีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น เนื่องจากเกิดการหมักตอซังที่ไถกลบระหว่างขั้นตอนการเตรียมดินก่อนการปลูก ดังนั้นควรมีการไถกลบตอซังก่อนจะซังน้ำอย่างน้อย 1-2 เดือน เพื่อปล่อยให้ย่อยสลายก่อน จะช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้

ตอซังบางส่วนจะเผาฟางทิ้งก่อนทำนารอบต่อไป และก่อนปลูกข้าว คิดเป็นปริมาณฟางข้าวที่ถูกเผาประมาณ ร้อยละ 20 ซึ่งจะก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงควรมีการรณรงค์ลดการเผาตอซัง เพื่อเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน ในส่วนของการหมุนเวียนคาร์บอนที่ได้จากงานวิจัยนี้ ควรพิจารณานำแกลบที่ขายออกไปมาใช้ในพื้นที่แทนและนำมูลสัตว์ที่จัดการไม่ถูกต้องหรือถูกนำไปใช้ในพื้นที่ยื่นมาจัดการตามกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักแล้วนำกลับไปใช้บำรุงดินในนาข้าวในพื้นที่

จากการวิเคราะห์การไหลของฟอสฟอรัสจะพบว่ามีฟอสฟอรัสที่ออกไปจากระบบในรูปแบบผลผลิตข้าว 21% ฟอสฟอรัสที่ออกไปกับชีวมวล เช่น แกลบที่ส่งขายไปยังพื้นที่อื่นหรือมูลสัตว์ที่ถูกนำไปนอกระบบ คิดเป็น 7% คาร์บอนที่ออกไปสู่แหล่งน้ำโดยตรง คิดเป็น 4% รวมมีฟอสฟอรัสที่ออกไปจากระบบคิดเป็น 35% โดยมีฟอสฟอรัสในรูปแบบของชีวมวลที่ถูกหมุนเวียนกลับไปสู่นาข้าว 19% ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในระบบของดินในนาข้าว คิดเป็น 68% ต่อปี โดยเทียบกับฟอสฟอรัสที่เข้าสู่ระบบ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมอยู่ในระบบคือดินในนาข้าวคิดเป็นกว่า 70% ของฟอสฟอรัสที่เข้ามาในแต่ละปีโดยฟอสฟอรัส ส่วนมากจะอยู่ในดินในรูปแบบที่พืชอาจจะยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ในปีนั้นแต่อาจจะนำไปใช้ได้ในปีถัดๆไป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเรามีการนำเข้าฟอสฟอรัสเข้ามาในพื้นที่มากเกินความต้องการโดยเฉพาะในรูปแบบของปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและมีราคาสูงขึ้นทุกปี ทำให้เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม

ไม่ใ้สมากเกินไป นอกจากนั้นถ้ามีการหมุนเวียนชีวมวลอย่างเหมาะสมเพื่อเป็นแหล่งฟอสฟอรัสจะสามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตได้มาก

4.2 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งทำการประเมินทางเลือก การจัดการพื้นที่การเกษตร และชีวมวลด้วยแนวทางและเทคโนโลยีแบบต่าง ๆ โดยวิธีวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง

โครงการได้จัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจในลักษณะ Web base ที่มี URL คือ www.seen.up.ac.th/cbdss ภาษาที่ใช้จัดทำระบบคือภาษา PHP: Hypertext Preprocessor PHP Version 5 และ MySQL โดยมีองค์ประกอบหลัก 2 กระบวนการได้แก่

กระบวนการที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ ผู้ใช้งานระบบสามารถดูข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยระบบจะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงให้กับผู้ใช้งานระบบ ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

กระบวนการที่ 2 วิเคราะห์สถานการณ์ ในส่วนนี้ผู้ใช้งานระบบจะทำการเลือกการวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามสถานการณ์ต่าง ๆ ของระบบ ระบบก็จะทำการแสดงรายละเอียดผลการวิเคราะห์ให้แก่ผู้ใช้งานระบบในรูปแบบต่าง ๆ ในส่วนนี้จะเป็นการหาแนวทางเลือกต่าง ๆ ในการจัดการทางการเกษตรเพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการลดก๊าซที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงค่า factor ต่าง ๆ ซึ่งใช้ในการคำนวณ เช่น ปริมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่ลุ่มน้ำ (ton/year), อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่อพื้นที่ ($\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ crop}^{-1}$), Transfer Coefficient ของการ Pyrolysis ฟางข้าวเป็น Biochar เมื่อได้ทำการเลือกทางเลือกต่าง ๆ แล้ว ผู้ใช้งานสามารถดูกราฟสรุปผลเปรียบเทียบได้ โดยโครงการได้วิเคราะห์ทางเลือก 7 ทางเลือกในการจัดการการเกษตรและชีวมวลแล้วทำการวิเคราะห์สถานการณ์ตามทางเลือกต่าง ๆ

เมื่อนำผลของการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองทั้ง 7 มาเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาในส่วนของการลดก๊าซเรือนกระจกพบว่า ทางเลือกที่ 3 คือนำฟางข้าวออกจากนาข้าว 80% (โดยเหลือ 20% ไว้ในพื้นที่เพื่อการอนุรักษ์ดิน) จะสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามก็มีค่าการเพิ่มของอัตราการสะสมคาร์บอนในดินและอัตราการสะสมของฟอสฟอรัสในดินน้อยที่สุด เนื่องจากการหมุนเวียนชีวมวลกลับมาน้อยที่สุด ดังนั้นถึงแม้ว่าจะลดก๊าซเรือนกระจกได้มากแต่อาจมีความสมบูรณ์ของดินน้อย เมื่อพิจารณาทางเลือกที่ 5 นำฟางข้าว 50% จากนาข้าวมาทำปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับมูลสัตว์ และใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทางเลือกนี้จะมีการหมุนเวียนคาร์บอนและฟอสฟอรัสกลับมามากที่สุดทำให้มีอัตราการเพิ่มสต็อกของคาร์บอนและฟอสฟอรัสในดินมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวได้น้อยกว่าทางเลือกที่ 3 มาก

เมื่อพิจารณาทางเลือกที่ 6 นำฟางข้าว 80% จากนาข้าวมาเข้ากระบวนการ Pyrolysis แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ตรงจากทางเลือกที่ 3 และมีการหมุนเวียนคาร์บอนและฟอสฟอรัสกลับมามากและทำให้มีอัตราการเพิ่มการกักเก็บของคาร์บอนและฟอสฟอรัสในดินมากกว่าทางเลือกที่ 5 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าทางเลือกนี้อาจสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ถึง 14% และ ลด ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือ N_2O ได้ถึง 28% ดังนั้นทางเลือกนี้อาจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมถึงผลกระทบจากการปฏิบัติจริงในระยะยาว ทางเลือกต่าง ๆ ได้ได้กล่าวถึงนี้สามารถใช้ร่วมกับทางเลือกที่ 1 คือ

การใช้ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนที่ปุ๋ยยูเรีย 15 กก./ไร่ ได้อีกด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจก

4.3 แนวทางและเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ในการจัดการการเกษตรและทรัพยากรชีวมวลเพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการหมุนเวียนพลังงานและธาตุอาหารพืช

แนวทางและเทคโนโลยีที่เหมาะสม ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ได้เสนอแนะแบ่งเป็นแผนเร่งด่วน แผนระยะกลางและแผนระยะยาวดังนี้

แผนเร่งด่วนคือ การส่งเสริมให้เกษตรกรไถกลบตอซังก่อนซังน้ำอย่างน้อย 1-2 เดือน เพื่อปล่อยให้ย่อยสลายก่อนก่อนจะซังน้ำ จะช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนที่ง่ายที่สุดและไม่ได้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับเกษตรกร เพียงแต่ต้องอาศัยการปรับพฤติกรรมเท่านั้น นอกจากนี้แนวทางการลดการเกิดก๊าซมีเทนนั้น การลดคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินโดยการส่งเสริมให้มีการใช้ที่ดินปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อไม่ให้เกิดช่วงที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่าสามารถทำให้เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน ทำให้ดินมีคุณภาพดีขึ้น

แผนระยะกลางคือ การส่งเสริมให้เกษตรกรนำฟางข้าวไปทำปุ๋ยหมักแล้วใส่กลับไปที่นาข้าว ร่วมกับ ทำการไถกลบตอซังก่อนซังน้ำอย่างน้อย 1 เดือน ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นแอมโมเนียมซัลเฟตแทนปุ๋ยยูเรีย เนื่องจากมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและได้ผลดีต่อสิ่งแวดล้อมสูงทั้งในเรื่องของการลดก๊าซมีเทน เพิ่มการสะสมของคาร์บอนในดิน เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน อย่างไรก็ตามการจะทำให้เกษตรกรเปลี่ยนพฤติกรรมเก็บเกี่ยวฟางข้าวมาทำปุ๋ยหมักใส่ในนาข้าวของตัวเองและไถกลบตอซังให้เร็วขึ้นต้องใช้ระยะเวลาพอสมควร เพื่อให้เกิดกลไกในการดำเนินการตามแผนนี้ได้จำเป็นต้องมีการจ่ายเงินจูงใจเกษตรกรเป็นค่า C credit จากการลด CH_4 (บาท/ตัน $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ที่ลดลง) และ C credit จากการเพิ่ม การสะสมของคาร์บอน (C stock) ในดิน (บาท/ตัน C stock ในดิน ที่เพิ่มขึ้น) โดยอาจมีการผนวกเข้ากับระบบ Voluntary Emission Reduction (VER) ก็ได้ ซึ่งกลไกนี้สามารถใช้ในการส่งเสริมเกษตรกรให้ทำการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นอีกโดยการลดคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินโดยการส่งเสริมให้มีการใช้ที่ดินปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อไม่ให้เกิดช่วงที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่าลดการเผาตอซัง และอาจเพิ่มการหมุนเวียนคาร์บอนโดยนำแกลบที่ขายออกไปมาใช้ในพื้นที่แทนและนำมูลสัตว์ที่จัดการไม่ถูกต้องหรือถูกนำไปใช้ในพื้นื่นี่มาจัดการตามกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักแล้วนำกลับไปใช้บำรุงดินในนาข้าวในพื้นที่

แผนระยะยาวคือ การส่งเสริมให้ผู้ประกอบการสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลระบบ Gasification หรือ Pyrolysis และให้เกษตรกรนำฟางข้าวไม่เกิน 80% จากนาข้าวมาเข้าเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า แล้วนำ Biochar ที่ได้ไปใช้กับนาข้าว เพราะ Biochar ซึ่งเป็นคาร์บอนที่เสถียรที่สุดสามารถเก็บกักได้ระยะยาวและสามารถทำให้ดินมีคุณสมบัติดีขึ้นและมีผลผลิตที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล เป็นเรื่องที่มีรายละเอียดมาก ต้องมีการศึกษาวิเคราะห์อย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง และเนื่องจากลงทุนสูงมากอาจต้องกระจายแบ่งเป็นโรงไฟฟ้าขนาดเล็กหลายๆแห่งกระจายตามพื้นที่ต่างๆ เพื่ออำนวยความสะดวกและเก็บขนโดยเกษตรกรต้องร่วมมือในการรวบรวมและขายชีวมวลด้วย เพื่อให้เกิดกลไกในการดำเนินการตามแผนนี้ได้จำเป็นต้องมีการจ่ายเงินจูงใจเกษตรกร

เป็นค่า C credit จากการลด CH_4 (บาท/ตัน $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ที่ลดลง) และ C credit จากการเพิ่ม การสะสมของคาร์บอน (C stock) ในดิน (บาท/ตัน C stock ในดิน ที่เพิ่มขึ้น) โดยอาจมีการผนวกเข้ากับระบบ Voluntary Emission Reduction (VER) ก็ได้ ซึ่งกลไกนี้สามารถใช้ในการส่งเสริมเกษตรกรให้ทำการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นอีก โดยการลดคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของดินโดยการส่งเสริมให้มีการใช้ที่ดินปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อไม่ให้เกิดช่วงที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่า ลดการเผาตอซัง และอาจเพิ่มการหมุนเวียนคาร์บอนโดยนำ Biochar ไปใช้บำรุงดินในนาข้าวในพื้นที่ นอกจากนั้นในส่วนของผู้ประกอบการนั้นควรมีกลไกในการส่งเสริมด้านเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติมเช่นกัน เช่น เช่น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกหรือกระทรวงพลังงานควรมีค่า C credit จาก CO_2 avoidance จากการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล (Thai grid mix 2009) เช่นเดียวกับประเทศอื่น เช่น อเมริกาและออสเตรเลีย ที่มีค่า REC (Renewable Energy Credit) เพื่อส่งเสริมโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน เพิ่มขึ้นมาจากค่า Adder โดยอาจมีการผนวกเข้ากับระบบ Voluntary Emission Reduction (VER) ก็ได้ ซึ่งกลไกนี้สามารถใช้ในการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการตัดสินใจลงทุนได้ง่ายขึ้นและเป็นผลดีต่อภาคการเกษตรของประเทศไทยทั้งในด้านคุณสมบัติของดินและผลผลิตที่อาจเพิ่มขึ้นและรายได้ของเกษตรกรที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นภาครัฐควรเริ่มต้นศึกษาและทำโครงการนำร่องในทางเลือกนี้โดยต้องมีการบูรณาการกันระหว่างหน่วยงานหลายกระทรวงเช่น กระทรวงเกษตร กระทรวงพลังงาน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวมถึงคนในชุมชนด้วย

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

กรณีที่มีงบประมาณและระยะเวลาทำวิจัยที่มากขึ้นควรเก็บแปลงตัวอย่างให้มากขึ้นและละเอียดขึ้น จะทำให้ค่าที่ได้มีความละเอียดและแม่นยำมากขึ้น นอกจากนั้นการทำสมดุลคาร์บอนในภาคการเกษตรเป็นงานที่ต้องศึกษาอย่างต่อเนื่องในระยะยาว เช่น 5 ปีขึ้นไปจึงจะเห็นผลการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนได้อย่างชัดเจนและนำค่าที่ได้ไปปรับปรุงแบบจำลองให้ดียิ่งขึ้น

ผลจากแนวทางการปรับปรุงต่างๆที่งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิเคราะห์ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์หรือตัวแปรต่างๆในการคำนวณจากการทบทวนวรรณกรรม ซึ่งอาจมีความไม่แน่นอนสูงเนื่องจากผลวิจัยที่ได้จากงานวิจัยอื่นที่มีสภาพพื้นที่ที่แตกต่างจากพื้นที่ศึกษา ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาวิจัยแนวทางการปรับปรุงต่างๆในพื้นที่ศึกษาจริงเพื่อลดความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามผลการวิจัยที่ได้สามารถทำให้ได้แนวทางที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่และเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงที่ดีในการเพิ่มคาร์บอนอินทรีย์และลดก๊าซเรือนกระจกจากแนวทางที่ทำการปรับปรุง จึงควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมถึงผลลัพธ์จริงที่เกิดขึ้นจากการนำข้อเสนอแนะไปปฏิบัติและควรมีการประสานงานกับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเช่นเกษตรจังหวัดและสำนักงานพัฒนาที่ดีจังหวัดนำผลไปใช้จริงเพื่อความยั่งยืนต่อไป รวมถึงนำข้อเสนอดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์หรือวิจัยเชิงนโยบายเพื่อหาแนวทางปฏิบัติจริงโดยการประชุมระดมสมองกับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องดังที่กล่าวมาแล้วเพื่อกำหนดนโยบายที่มีประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมส่วนรวมของประเทศมากที่สุด

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ
 - กำลังอยู่ในระหว่างการร่าง draft paper เพื่อเตรียมส่งไปตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ
2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์
 - เชิงสาธารณะ (มีเครือข่ายความร่วมมือ/สร้างกระแสความสนใจในวงกว้าง)
 - มีการติดต่อเป็นเครือข่ายความร่วมมือกับสำนักงานเกษตรจังหวัดพะเยาและสำนักงานพัฒนาที่ดินจังหวัดพะเยา
 - เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยใหม่)
 - มีการพัฒนากลุ่มวิจัย .การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มีนิสิตจบปริญญาโท 1 คนจากงานวิจัยนี้
3. อื่นๆ (เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร)
 - อิทธิฤทธิ์ มูลเมือง และ ภัทร จักรวัฒนา (2555), การหมุนเวียนคาร์บอนในระบบผลิตข้าวลุ่มน้ำกว๊านพะเยา, พะเยาวิจัย ครั้งที่ 1, วันที่ 12-13 มกราคม 2555, พะเยา
 - อิทธิฤทธิ์ มูลเมือง และ ภัทร จักรวัฒนา (2555), การหมุนเวียนคาร์บอนในระบบผลิตข้าวลุ่มน้ำกว๊านพะเยา, วารสารมหาวิทยาลัยพะเยา (อยู่ระหว่างรอตีพิมพ์)

บรรณานุกรม

- Anon. (2001). Phosphorus fertilizer. Retrieved October 12, 2011, from <http://vdo.kku.ac.th/mediacenter/rmediacenter-uploadslibs/htmlJl29iiFer/FerP.htm>
- Antikainen R. Haapanen R. and Rekolaine S. (2004). Flows of nitrogen and phosphorus in Finland—the forest industry and use of wood fuels. *Journal of Cleaner Production* (128-10). p.919-934.
- Antikainen, R., Haapanen, R. and Rekolaine, S. (2004). "Flows of nitrogen and phosphorus in Finland—the forest industry and use of wood fuels " *Journal of Cleaner Production* 128-10: 919-934.
- Australian Greenhouse Office (2000). Greenhouse Sinks and the Kyoto Protocol - An Issues Paper. Australian Greenhouse Office, Commonwealth of Australia.
- Australian Greenhouse Office (2005b). *Greenhouse Gas Emissions from Land Use Change in Australia: Results of the National Carbon Accounting Systems 1988-2003*. Australian Greenhouse Office, Department of the Environment and Heritage Canberra.
- Baccini, P. and Brunner, P.H. (1991). *Metabolism of the anthroposphere*. Springer-Verlag. Berlin.
- Bachelet, D., Kern, J. and Tölg, M. (1995). "Balancing the rice carbon budget in China using spatially-distributed data " *Ecological modelling* 79: 167-177.
- Baker, J. and Tidman, M.J. (2007). Phosphorus losses to surface water. Retrieved September 12, 2011, from <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icmJ2001/5-14-2001/ploss.html>
- Baumert, (2005). Greenhouse gas emissions from agriculture and land use. Retrieved September 12, 2011, from http://www.grida.no/graphicslib/detail/greenhouse-gas-emissions-from-agriculture-and-land-use_12b0
- Belevi, H. (2002). Material flow analysis as a strategic planning tool for regional waste water and solid waste management. GTZ/BMZ & ATV-DVWK workshop Globale Zukunft: Kreislaufwirtschaftskonzepte im kommunalen Abwasser und Fakalienmanagement. 12. Europaisches wasser, Abwasser und Abfall Symposium, IFAT. Munich.
- Berndes, G. (2006). The contribution of Renewables to society. In: *Renewables-Based Technology Sustainability Assessment* J. Dewulf and H. V. Langenhove. Sussex, John Wiley and Sons, Ltd.

- Birkeland, J. and Schooneveldt, J. (2003). *Mapping regional metabolism: a decision-support tool for natural resource amanagement*. Land and Water Australia. Canberra.
- Borjesson, P. (1999). "Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden-II: Economic valuation." *Biomass and Bioenergy* 16: 155-170.
- Brown, L. (1995), *Who Will Feed China? Wake Up Call for a Small Planet*, 163 pp., Norton, Washington, D. C.
- Brown, L., Syed, B., Jarvis, S. C., Sneath, R. W., Phillips, V. R., Groulding, K. W. T., and Li, C. (2002) "Development and application of a mechanistic model to estimate emission of nitrous oxide from UK agriculture." *Atmos. Environ.*, 36, 917–928.
- Bruce, J. P., Frome, M., Haites, E., Janzen, H., Lal, R. and Paustian, K. (1999). Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation* 54: 382-389.
- Busman, L., Lamb, J., Randall, G., Rehm, G. and Schmitt, M. (2002). *The Nature of Phosphorus in Soils*. University of Minnesota. Retrieved 15 Oct, 2008, from <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6795.html>.
- Butterbach-Bahl, K., Stange, F., Papen, H., and Li, C. (2001) "Regional inventory of nitric oxide and nitrous oxide emissions for forest soils of southeast Germany using the biogeochemical model PnET-N-DNDC." *J. Geophys. Res.*, 106(D24), 34 155–34 166.
- Cai, Z., Sawamoto, T., Li, C., Kang, G., Boonjawat, J., Mosier, A., Wassmann, R., and Tsuruta, H. (2003) "Field validation of the DNDC model for greenhouse gas emission in East Asian cropping system." *Global Biogeochem. Cycles*, 17(4), 18-1–18-10.
- Cai, Z. C., T. Sawamoto, C. S. Li, G. D. Kang, J. Boonjawat, A. Mosier, R. Wassmann, and H. Tsuruta (2003), Field validation of the DNDC model for Greenhouse gas emissions in East Asian cropping systems, *Global Biogeochem Cycles*, 17(4), 1107, doi:10.1029/2003GB002046.
- Center for Climate and Energy Solutions. (n.d.). Global Anthropogenic GHG Emissions by Sector. Retrieved December 10, 2011, from <http://www.c2es.org/facts-figures/international-emissions/sector>
- Chan, Y. (2008). *Increasing soil organic carbon of agricultural land*. NSW Department of Primary Industries. Richmond.
- Cordell, D. and White, S. (2008). "The Story of Phosphorus: Sustainability implications of global fertilizer scarcity for Australia ." *Discussion paper prepared for the National Workshop on the Future of Phosphorus*, 14th November, Sydney, Institute for Sustainable Futures, University of Technology.

- Chapman, A.S., Foster, I.D.L., Lees, J.A., Hodgkinson, R.A. and Jackson, R.H. (2001). Particulate phosphorus transport by sub-surface drainage from agricultural land in the UK. Environmental significance at the catchment and national scale. *Sci. Total Environ.* 266: 95-102.
- Climate Connect, 2010. Climate change. Retrieved October 15, 2011, from <http://www.climate-connect.co.uk/Home/?q=Thailand%20launch%20voluntary%20carbon%20trading%20scheme%202013>
- Diakoulaki, D. and Karangelis, F. (2007). "Multi-criteria decision making analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece." *Renewable and Sustainable energy Reviews* 11: 716-727.
- Devlin, D.L., McVay, K., Pierzynski, G.M. and Janssen K. (2002). Best management practice for phosphorus. Kansas State University, Agricultural experiment station and cooperative extension service.
- Ekholm, P., Turtola, E., Grönroos, J., Seuri, P. and Ylivainio, K. (2005). Phosphorus loss from different *farming* systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agric. Ecosyst. Environ.* 110: 266-278.
- Eriksson, O., Frostell, B., Björklund, A., Assefa, G., Sundqvist, J. O., et al. (2002). "ORWARE--a simulation tool for waste management." *Resources, Conservation and Recycling* 36: 287-307.
- European Commission (1995). *ExternE: externalities of energy*. Office for Official Publications of the European Communities Luxembourg.
- European Commission (2005). *ExternE Externalities of Energy*. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg.
- Evans, T.D. and Johnston, A.E. (2004). Phosphorus and crop nutrition: principles and practice. pp. 93-119. In E.V. Jones (ed). *Phosphorus in environmental technologies: Principles and applications*. Integrated environmental technology series. T.J. International (Ltd), UK.
- Fowles, M. (2007). "Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy." *Biomass and Bioenergy* 31: 426-432.
- Franko, U., (1996). Modeling approaches of soil organic carbon turnover within the CANDY system. In: Powlson, D., Smith, P., Smith, J.U. (Eds.), *Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-term Datasets*. NATO ASI Series I, vol. 38. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 247– 254.

- Gibson, T. S., Chan, K. Y., Sharma, G. and Shearman, R. (2002). *Soil Carbon Sequestration Utilizing Recycled Organics A review of the scientific literature*. The Organic Waste Recycling Unit, NSW Agriculture. Sydney.
- Grant, B., Smith, W. N., Desjardins, R., Lemke, R., and Li, C. (2004) "Estimated N₂O and CO₂ emissions as influenced by agricultural practices in Canada." *Climatic Change*, 65(3), 315–332.
- Groscurth, H. M., Almeida, A. d., Bauen, A., Costa, F. B. and Ericson, S.-O. (2000). "Total costs and benefits of biomass in selected regions of the European Union." *Energy* 25: 1081-1095.
- Indigo (2002). *Creating systems solutions for sustainable development through industrial ecology*. RRP International's Industrial Ecology Research Centre. Retrieved 15 December, 2008, from http://architectureandenvironmentaldesignlattice.net/IndigoDevelopment_IE.pdf.
- Intergovernmental panel on climate change guidelines for National greenhouse gas inventories (IPCC). 2006.
- Jenkinson, D.S., Hart, P.B.S., Rayner, J.H., Parry, L.C., (1987). Modeling the turnover of organic matter in long-term experiments. *INTECOL Bull.* 15, 1 – 8.
- Jo Dewulf Herman Van Langenhove and Göran Berndes. (2006). The contribution of Renewables to society. *Renewables-Based Technology Sustainability Assessment*. John Wiley and Sons, Ltd.
- Johnston, A. E. and Steen, I. (2000). *Understanding phosphorus and its use in agriculture*. European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA). Brussel.
- Johnston, A. E. and Steen, I. (2000). *Understanding phosphorus and its use in agriculture*. European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA). Brussel.
- Joint Graduate School for Energy and Environment. (2010). Thai Greenhouse Gas Inventory for Agricultural sector Final Report. Ministry of Natural Resource and Environment.
- Kesik, M., et al. (2005), Inventories of N₂O and NO emissions from European forest soils, *Biogeosciences*, 2, 353– 375.
- Kiese, R., Li, C., Hilbert, D., Papen, H., and Butterbach-Bahl, K. (2004) "Regional application of PnET-N-DNDC for estimating the N₂O source strength of tropical rainforests in the Wet Tropics of Australia" *Global Change Biology*, 11, 128–144, doi:10.1111/j.1365-2486.2004.00873x.

- Kimura, M., Murase, J. and Lu, Y. Carbon cycling in rice fields ecosystems in the context of input, decomposition and translocation of organic materials and the fates of their end products (CO_2 and CH_4). *Soil Biology and Biochemistry* 36 (2004). 1399-1416.
- Knoblauch, C. et al. (2011). Degradability of black carbon and its impact on trace gas fluxes and carbon turnover in paddy soils. *Soil Biology and Biochemistry* 43. 9:1768-1778.
- Koizumi, H., Usami, Y. and Satoh, M., (1993). Carbon dynamics and budgets in three upland doublecropping agro-ecosystems in Japan. *Agric. Ecosystems Environ.*, 43: 235-244.
- Korhonen, J. (2002). "A material and energy flow model for co-production of heat and power." *Journal of Cleaner Production* 106: 537-544.
- Korhonen, J., Wihersaari, M. and Savolainen, I. (2001). "Industrial ecosystem in the Finnish forest industry: using the material and energy flow model of a forest ecosystem in a forest industry system." *Ecological Economics* 391: 145-161.
- Kroodsma, D. A. and Field, C. B. (2006). "Carbon sequestration in california agriculture, 1980-2000." *Ecological Applications* 165: 1975-1985.
- Kuo, S., Ortiz-Escobar, M. E., Hue, N. V. and Hummer, R. L. (2006). *Composting and compost utilization for agronomic and container crops*. Retrieved 15 January, 2009, from www.ctahr.hawaii.edu/huen/compostingcompostutil.pdf
- Lal, R. (1997). "Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO_2 -enrichment." *Soil&Tillage Research* 43: 81-107.
- Lehmann, J., Gaunt, J. and Rondon, M. (2006). "Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems-A review." *Mitigation and adaptation Strategies for Global Change* 11: 403-427.
- Li, C., Frolking, S., Frolking, T.A., (1992a). A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: I. Model structure and sensitivity. *J. Geophys. Res.* 97, 9759– 9776.
- Li, C., Frolking, S., Frolking, T.A., (1992b). A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: II. Model applications. *J. Geophys. Res.* 97, 9777– 9783.
- Li, C., S. Frolking, and R. C. Harriss (1994), Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils, *Global Biogeochem. Cycles*, 8, 237–254, doi:10.1029/94GB00767.
- Lichaikul, N., Chidthaisong, A., Havey, N. W. and Wachrinrat, C. (2006). "Carbon Stock and Net CO_2 Emission in Tropical Upland Soils under Different Land Use." *Kasetsart Journal (Nat. Sci.)* 40: 382-394.

- Liu, Y., Yu, Z., Chen, J., Zhang, F., Doluschitz, R., et al. (2006). "Changes of soil organic carbon in an intensively cultivated agricultural region: A denitrification–decomposition (DNDC) modelling approach." *Science of the total environment* 372: 203-214.
- Liu, Y., Villalba, G., Ayres, R. U. and Schroder, H. (2008). "Global phosphorus Flows and Environmental Impacts from a Consumption Perspective." *Journal of Industrial Ecology* 122: 229-247.
- Liu, Y., Yang, M., et al. (2011). "Reducing CO₂ and CH₄ emissions from waterlogged paddy soil with biochar. J Soils Sediments 11:930-939. DOI 10.1007/s11368-011-0376-x.
- Minahan, K. (2006). Manure management and water quality. Retrieved October 11, 2010, from <http://dnr.wi.gov/org/water/wmlnps/ag/waterquality.htm>
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Current state and Trends, Volume 1*. ISLAND PRESS. London.
- Mitchell, C. P. (2000). "Development of decision support systems for bioenergy applications." *Biomass and Bioenergy* 184: 265-278.
- Miura, Y. (1995). Mitigation of methane emission from rice paddy fields by organic matter management. *Sekkai Chisso Dayori* 130: 19-23 (in Japanese)
- Molina, J.A.E., Clapp, C.E., Shaffer, M.J., Chichester, F.W., Larson, W.E., (1983). NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformations in soil: description, calibration and behaviour. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47 (1), 85–91.
- Monika, S., (2007). Applying a Material Flow Analysis Model to assess River Water Pollution and Mitigation Potentials. Swiss National Centre of Competence in Research (NCCR) North-South.
- Mueller, T., Jensen, L.S., Hansen, S., Nielsen, N.E., (1996). Simulating soil carbon and nitrogen dynamics with the soil–plant–atmosphere system model DAISY. In: Powlson, D., Smith, P., Smith, J.U. (Eds.), *Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-term Datasets*. NATO ASI Series I, vol. 38. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 275– 282.
- Murphy, S. (2005). General information on Phosphorus. Retrieved October 11, 2010, from <http://bcn.boulder.co.us/basin/data/FECAL/info/TP.html>
- Naser, H. M., Nagata, O., Tamura, S., and Hatano, R. "Methane emissions from five paddy fields with different amounts of rice straw application in central Hokkaido, Japan". *Soil Science and Plant Nutrition* (2007) 53, 95-101.

- Nishimura, S., et al. (2008), Effect of land use change from paddy rice cultivation to upland crop cultivation on soil carbon budget of a cropland in Japan, *Agriculture, Ecosystem and Environment* (125). p.9-20.
- Nittaya Chaoon, Sirinthornthep Taoproyoon. (2011). Effect of abandoned rice field management by energy crop rotation on SOC stock and greenhouse gases emission. Climate Thailand Conference 2011 on 18-19 August 2011, Bangkok.
- Noon, C. E. and Daly, M. J. (1996). "GIS-based biomass resource assessment with BRAVO." *Biomass and Bioenergy* 102-3: 101-109.
- Parton, W.J., Mosier, A.R., Ojima, D.S., (1996). Generalized model for N_2 and N_2O production from nitrification and denitrification. *Glob. Biogeochem. Cycles* 10, 401–412.
- Perret, S. and Kwansirinapa, T. (2012). Direct field emissions from rice cultivation in Thailand: Methods and Emission factors. Agri Balyse-Rice Thailand-CIRAD-Direct emissions version 2.4.
- Price, G. (2006). *Australian soil fertility manual*. CSIRO publishing. Collingwood.
- Qiu, J., C. Li, L. Wang, H. Tang, H. Li, and E. Van Ranst (2009), Modeling impacts of carbon sequestration on net greenhouse gas emissions from agricultural soils in China, *Global Biogeochem. Cycles*, 23, GB1007, doi:10.1029/2008GB003180.
- Relim, G., Schmitt, M., Lamb, J., Randall, G. and Busman, L. (2002). Phosphorus in the agricultural environment. Retrieved October 11, 2010, from <http://www.extension.unm.edu/distribution/cropsystems/DC6288.html>
- ROU (2007). *Life cycle inventory and life cycle assessment for windrow composting systems*. NSW department of environment and conservation. Sydney.
- Rutovitz, J. and Passey, R. (2004). *NSW Bioenergy Handbook*. NSW Department of energy, Utilities and Sustainability (DEUS). Sydney.
- Schlesinger, W. and Andrews, J. (2000). "Soil respiration and the global carbon cycle." *Biogeochemistry* 48: 7-20.
- Schlesinger, W. H. (1996). *Biogeochemistry-An Analysis of Global Change*. Academic Press.
- Seyhan, D. (2006). *Development of a method for the regional management and long-term use of non-renewable resources: The case for the essential resource phosphorus*. PhD Thesis. Institute for water quality, resource and waste management Vienna University of Technology, Vienna.

- Sims, R. E. H. (2002). *The Brilliance of Bioenergy in Business and in Practice*. James & James (Science Publishers) Ltd. London.
- Stan program Institute for Water Quality. (n.d.). STAN. Resources and Waste Management Vienna University of Technology. Karlsplatz 13, A-1040 Vienna, Retrieved February 1, 2009, from <http://iwr.tuwien.ac.at/resources/downloads/stan.html>
- Schlesinger, W. and Andrews, J. (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry* (48). p.7-20.
- Skjemstad, J. O., Spouncer, L.R. and Beech, A. 2000. Carbon Conversion Factors for Historical Soil Carbon Data. National Carbon Accounting System Technical Report No. 15, Australian Greenhouse Office. Internet publication <http://www.greenhouse.gov.au/ncas/files/consultancies/soilchange/soils.html>.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., et al. (2007). *In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Agriculture*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Sonesson, U., Dalemo, M., Mingarini, K. and Jönsson, H. (1997). "ORWARE - A simulation model for organic waste handling systems. Part 2: Case study and simulation results." *Resources, Conservation and Recycling* 21: 39-54.
- Sonesson, U., Bjorklund, A., Carlsson, M. and Dalemo, M. (2000). "Environmental and economic analysis of management systems for biodegradable waste." *Resources, Conservation and Recycling* 28: 29-53.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., et al. (2006). *Livestock's long shadow, environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Retrieved 1 Feb, 2009, from <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>
- Swift, R.S. (2001). Soil organic carbon - potential for sequestration and recycling. Workshop on Recycled Organics – Partnerships, Processes and Products, 25-27 September 2001, University of Queensland, Gatten, pp 21-27.
- Tang, H., Qiu, J., Ranst, E. V. and Li, C. (2006). "Estimations of soil organic carbon storage in cropland of China based on DNDC model." *Geoderma* 134: 200-206.
- The Institute of Biogeochemistry and Pollutant Dynamics (IBP). (2009). Wetland. Retrieved September 12, 2011. from <http://www.ibp.ethz.ch/research/environmentalmicrobiology/research/Wetlands>

- The National Library Network Services, University of Helsinki. (2007). Substance Flow Analysis in Finland—Four Case Studies on N and P Flows. Retrieved September 12, 2011, from <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/6153/substanc.pdf?sequence=1>
- University of Illinois, (2012). Use Nitrification Inhibitors When Effective. Retrieved October 12, 2012. from http://www.thisland.illinois.edu/50ways/50ways_5.html
- United States Environmental Protection Agency,(2010). Phosphorus. Retrieved October 12, 2011. from <http://www.epa.gov/agriculture/ag101/impactphosphorus.html>
- UNFCCC (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nation.
- Vinneras, B. (2002). *Possibilities for sustainable Nutrient Recycling by Faecal Separation Combined with Urine Diversion*. Doctoral thesis. Department of Agriculture Engineering, Swedish University if Agriculture Sciences, Uppsala.
- Voivontas, D., Assimacopoulos, D. and Koukios, E. G. (2001). "Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method." *Biomass and Bioenergy* 202: 101-112.
- Witney, D.A. (1988). Phosphorus facts soil, plant and fertilizer. Retrieved October 12, 2011. from www.oznet.k-state.edu/libra T/csl2/c665.pdf
- Wortman, C. S., Helmers, M., Mallarino, A., Barden, C., Devlin, D., et al. (2005). *Agricultural Phosphorus Management and Water Quality Protection in the Midwest*. University of Nebraska-Lincoln Extention. Nebraska.
- Wrisberg, N. and Haes, H. A. U. d. (2002). *Analytical Tools for Environmental Design and Management Systems Perspective*. Kluwer Academic publishers. Dordrecht.
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G. Li, L. et al. (2010). "Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139, 469-475.
- Zhang, F., Li, C., Wang, Z. and Wu, H. (2006) "Modeling impacts of management alternatives on soil carbon storage of farmland in Northwest China." *Biogeosciences discussions* 3, 451-466.
- Zoebisch, M. and Ranamukhaarachchi, S. (2009). *Land-Use dependent soil organic carbon (SOC) fluxes in a watershed-based ecosystems*. Asian Institute of Technology. Bangkok.

กนกศักดิ์ เอี่ยมโอภาส. (ม.ป.ป.). TECHNOLOGY UPDATE. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2554, จาก

http://eng.kps.ku.ac.th/powercenter/index.php?option=com_content&view=article&id=65:greenhouse-gases-and-cdm&catid=44&Itemid=74

กรมการค้าระหว่างประเทศ. (ม.ป.ป.). ข้าว. สืบค้นเมื่อ 11 มกราคม 2555,

จาก www.thaifta.com/thaifta/Portals/0/file/ascn_rice1.doc

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. (ม.ป.ป.). พลังงาน

ชีวมวล. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2553, จาก http://www2.dede.go.th/renew/bio_p.htm

กรรณิการ์ สิริสิงค์. (2544). เคมีของน้ำ. ใน กรรณิการ์ สิริสิงค์ (บรรณาธิการ). เคมีของน้ำ

โสโครกและการวิเคราะห์ (4, หน้า 309-311). :กรุงเทพมหานคร: วิทยาศาสตร์การพิมพ์.

กฤษฎีวรรณภา. (2554). การศึกษาศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งและหาที่ตั้งที่เหมาะสม

ของโรงงานไฟฟ้าชีวมวลในจังหวัดพะเยา. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วศ.ม.,

มหาวิทยาลัยนเรศวร, พะเยา.

ชาติชาย มณีสุวรรณ. (2545). อิทธิพลของวิธีการปลูกข้าวและการเพิ่มอินทรีย์วัตถุต่อการปลด

ปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. วิทยานิพนธ์ วท.ม.,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,

กรุงเทพมหานคร.

ทรงกรต กาลพงษ์วัล. (2544). การศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐกิจ และสังคม เพื่อ

การประยุกต์กฎระเบียบสาธารณะ สำหรับการพัฒนาชีวมวลในประเทศไทย.

วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ธเนศ อุทิศธรรม วีระชัย สุนทรรังสรรค์ และประพันธ์ ปิยะกุลดำรง (ธเนศ อุทิศธรรม). (2550).

ศักยภาพพลังงานจากชีวมวลเหลือทิ้งในประเทศไทย. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่าย

พลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร:เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย.

นิตยา ชำอุ่น (นิตยา ชำอุ่น). (18-19 สิงหาคม 2554). ผลของการจัดการนาร้างด้วยการ

ปลูกพืชพลังงานหมุนเวียนต่อปริมาณการสะสมคาร์บอนในดินและการปลดปล่อยก๊าซเรือน

กระจก. สถานที่: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน).

บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม. (2553). รายงานฉบับสมบูรณ์ การจัดทำ

บัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ในภาคการเกษตร. สำนักงานนโยบายและแผน

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

เบญจพร เอกะสิงห์, กุศล ทองงาม, ธันยา พรหมบุรณย์, ศุภกิจ สินไชยกุลและ นฤมล ทินราช.

(2548). รายงานฉบับสมบูรณ์ ระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตร

และการบริการ ระยะที่ 1 ภาคเหนือตอนบน: ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรดินและน้ำ

ชลประทาน. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ป.). องค์ประกอบของชีวมวลที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า.

สืบค้นเมื่อ 11 มกราคม 2555, จาก<http://www.efo.or.th/home.php?ds=preview&back=content&mid=hGtTu8zx7jWvD4by&doc=26nANzbw3SYaIPH>

- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. โครงการศึกษาแนวทางการบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล
เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (ระดับมหภาค), มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 2550.
แมน อมรสิทธิ์ และคณะ. (2553). หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ
Principles And Techniques of Instrumental Analysis Spectroscopy (1).
กรุงเทพมหานคร:ชวนพิมพ์ 50.
- แมน อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. (2534). Principles and Techniques of Instrumental
Analysis (1). กรุงเทพมหานคร:ชวนพิมพ์.
- รัตนารณ มั่งคั่ง และคณะ. (2553). คาร์บอนฟุตพริ้นท์และฉลากคาร์บอนผลิตภัณฑ์
ข้าว, 2553 (1), 10-30.
- วนิดา น้อยบุญญะ. (2550). วิเคราะห์การไหลของฟอสฟอรัสในลุ่มน้ำแม่กลอง (Material
flow analysis of Phosphorus in the Mae Klong river). วิทยานิพนธ์ วท.ม.,
มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วิมลรัตน์ บุตรดาชุย ปัทวี ปิมา เจนจิรา หมื่นเร็ว สาริต จินะสอน และสุทธัย พงศ์พัฒนศิริ.
(2553). คุณสมบัติและน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำหนองเล็งทราย. มหาวิทยาลัยพะเยา.
ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม. (2555). พลังงาน. สืบค้นเมื่อ 14 มกราคม
2555, จาก http://eng.kps.ku.ac.th/powercenter/index.php?option=com_content&view=article&id=84&Itemid=80
- ศูนย์วิจัยข้าวเชียงราย และสำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. (2550). จังหวัดพะเยา. สืบค้นเมื่อ 7
มกราคม 2553, จาก http://cri.brrd.in.th/km/index.php?option=com_content&view=article&id=1
- ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์ประยุกต์. (2553). คุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา. สืบค้นเมื่อ 11 มกราคม
2553, จาก <http://dbccc.onep.go.th/climate/attachments/article/124/NC.pdf>
- ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวชลบุรี สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว กรมการข้าว . (2553). ข้าว. สืบค้นเมื่อ 15
มกราคม 2553, จาก http://cbr-rsc.ricethailand.go.th/his_rice.htm
- ศูนย์เมล็ดพันธุ์ข้าวนครสวรรค์ สำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว กรมการข้าว. (ม.ป.ป.). เรื่องข้าวนารู้.
สืบค้นเมื่อ 7 มกราคม 2553, จาก <http://nsw-rice.com/index.php/riceknowledge/64-generalrice/296-riceknowledge>
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดจังหวัดพะเยา. (2554). คุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา. สืบค้น
เมื่อ 11 มกราคม 2555, จาก http://www.fisheries.go.th/if-phayao/web2/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=55
- ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2549). ชีวมวล. กรุงเทพมหานคร:
คิว พรินท์ แมเนจเม้นท์.
- สุพัต ครอบงษากุล. (2552). การวิเคราะห์การไหลของสาร (Substance Flow Analysis
: SFA). สืบค้นเมื่อ 23 ตุลาคม 2554, จาก <http://www.etm.sc.mahidol.ac.th/a8.shtml>

- สหัส นิลพันธุ์. มุลสัตว์ใช้เป็นปุ๋ยปรับปรุงดิน. (ม.ป.ป.). วารสารข่าวปศุสัตว์ปีที่ 2 . สืบค้นจาก <http://www.kwaitai.com/pdf/Dung.pdf> , กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักงานสถิติจังหวัดพะเยา. (2553). รายงานสถิติจังหวัด พ.ศ. 2553. สำนักสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2553). ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2552. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2553, จาก http://www.oae.go.th/download/download_journal/fundamnation-2552.pdf
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. World Gain Situation and Outlook. (ม.ป.ป.). United States Department of Agriculture (USDA). สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2555, จาก <http://www.oae.go.th/download/journal/trends2555.pdf>
- สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (ม.ป.ป.). การใช้ปุ๋ยในนาข้าว. สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม 2554, จาก <http://kkn-rsc.ricethailand.go.th/rice/plant/nutrient-fail.html>
- ธเนศ อุทิศธรรม, วีรชัย สุนทรรังสรรค์และประพันธ์ ปิยะกุลดำรง (2550). ศักยภาพพลังงานจากชีวมวลเหลือทิ้งในประเทศไทย. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3 23-25 พฤษภาคม 2550 กรุงเทพฯ
- เบญจพร เอกะสิงห์, กุศล ทองงาม, ธันยา พรหมบุรณย์, ศุภกิจ สิ้นไชยกุลและ นฤมล ทินราช. 2548. ระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตรและการบริการ ระยะที่ 1 ภาคเหนือตอนบน: ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรดินและน้ำชลประทาน ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- เมธี เอกะสิงห์, ชาญชัย แสงชโยสวัสดิ์, เฉลิมพล สำราญพงษ์, ปิ่นเพชร สกุลสองบุญสกุล, ประภัสสร พันธุ์สมพงษ์, ชาทุทธิ์ สุ่มเหม, วัฒนา พัฒนถาวร และฉัตรนภา พรหมานนท์. 2548. ระบบสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรเพื่อการเกษตรและการบริการ ระยะที่ 1 ภาคเหนือตอนบน: การใช้ทรัพยากรและระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (ระบบกลาง) ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- อรรถชัย จินตะเวช, สุนทร บุรณะวิริยะกุล, ก้อนทอง พวงประโคน, วินัย ศรวัตติ, ศรีนทิพย์ พรหมฤทธิ์, ปราการ ศรีงามและรัชภูมิ ใจกล้า. 2547. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการผลิตพืชระดับท้องถิ่น: ท้องทุ่งไทย 1.0 ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- นวลจันทร์ เอี่ยมประพันธ์, ชาลี นาวานุเคราะห์, รุ่งจิรส์ หุตะเจริญ และจำลอง อรุณเลิศอารีย์ (2550). "ผลของปุ๋ยผสมไนโตรเจนต่อการเก็บกักคาร์บอนของข้าวไม่ไวต่อแสงบางพันธุ์ในนาข้าวจังหวัดปทุมธานี." 33rd Congress on Science and Technology of Thailand 18-20 ตุลาคม 2550, Walailuk University, Nakhonsi Thammarat.

- นิตยา ชาอุ่น และ สิรินทรเทพ เต้าประยูร (2554). “ผลการของการจัดการนาร้างด้วยการปลูกพืชพลังงานหมุนเวียนต่อปริมาณการสะสมคาร์บอนในดินและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก”, การประชุมวิชาการระดับชาติเรื่อง ประเทศไทยกับภูมิอากาศโลก ครั้งที่ 2 การปรับเปลี่ยนกระบวนการทัศน์สู่เศรษฐกิจสีเขียว วันที่ 18 – 19 สิงหาคม 2554
- พิมพ์พันธ์ สวัสดิพงษ์ และคณะ. (2545). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการการปล่อยออกของก๊าซมีเทนจากนาข้าวในประเทศไทย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- พัชรี แสนจันทร์ และคณะ (2545). “ ปริมาณการปลดปล่อย CH₄จากนาข้าวเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ”, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
- พัชรี แสนจันทร์, วุฒิชัย จันทรมบัติ และ ชนะ ศรสมภาร, (2547), การเพิ่มผลผลิตนาหวานน้ำตมภายใต้การจัดการน้ำและปุ๋ยเคมีเพื่อลดก๊าซมีเทน และเปรียบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ, ว.สงขลานครินทร์ วทท., ฉบับที่ 26(6), หน้าที่ 795-806.
- ภัทรา เฟงธรรมกิติ และคณะ (2554). “ ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มการหมักเก็บคาร์บอนในดินตามหลักของการผลิตทางเกษตรดีที่เหมาะสม การผลิตเกษตรอินทรีย์ และการจัดการน้ำในพื้นที่ปลูกข้าว ”, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
- สิริกานดา วัชรไทย์,ภัทรา เฟงธรรมกิติ, พัฒนา อนุรักษ์พงศธร และอิสรา สุขสถาน (2550)"การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินและการกระจายตัวของคาร์บอนในรูปต่างๆในดินเหนียวและดินร่วนปนทรายที่ปลูกสับปะรด." 33th Congress on Science and Technology of Thailand, WalailukUniversity, NakhonsiThammarat
- สิรินทรเทพ เต้าประยูร และคณะ (2552). “ การศึกษาปัจจัยและความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ”, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
- สำเริง ปานอุทัย, สิริรัตน์จันทร์ มหาเสถียร และสาพิศ ดิลกสัมพันธ์ (2547) "การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณ." การประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้, 16-17 สิงหาคม 2547, โรงแรมมารวยการ์เด็น กรุงเทพฯ, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช.