ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม	สายวิชาวิทยาศาสตร์
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การประเมินคาร์บอนเครดิตจากการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง

Carbon Credit Assessment from Biogas Production in Small and Medium Pig Farm

นามผู้วิจัย นายณัฐพงษ์ ศรีคำแขก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(อาจารย์ประภา โซ๊ะสลาม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....

(อาจารย์ฐิติยา แซ่ปัง, Ph.D.)

หัวหน้าสายวิชา ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนวรรณ พาณิชพัฒน์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินคาร์บอนเครดิตจากการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง

Carbon Credit Assessment from Biogas Production in Small and Medium Pig Farm

โดย

นายณัฐพงษ์ ศรีคำแขก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณัฐพงษ์ ศรีคำแขก 2557: การประเมินคาร์บอนเครดิตจากการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สายวิชาวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ประภา โซ๊ะสลาม, Ph.D. 74 หน้า

การประเมินคาร์บอนเครดิตจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง โดยการทดลองใช้ระบบหมักก๊าซชีวภาพอย่างง่าย เพื่อทำการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง เปรียบเทียบกับระบบที่ใช้น้ำเสียผสม พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย และลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จะทำให้มีค่าสัดส่วนของมีเทนสูงสุด ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.130 กรัมซีโอดี/ล.วัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 120 วัน จะให้ค่าสัดส่วนของมีเทนสูงสุดร้อยละ 40.37 และผลผลิตของมีเทนเท่ากับ 110.4 มล.มีเทน/ก. ซีโอดี

การบำบัดบีโอดีของระบบ พบว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ มีความเข้มข้นของบีโอดีอยู่ในช่วง 7,500-10,500 มก./ล. สามารถบำบัดค่าบีโอดีในน้ำเสียให้เหลืออยู่ในช่วง 2,100 - 2,340 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีในแต่ละระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 120 วัน จะมีประสิทธิภาพสูงสุดคือ ร้อยละ 76.87

ฟาร์มสุกรในประเทศไทยผลิตน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงสามารถนำไปผลิตก๊าซชีวภาพได้ ในประเทศไทยมีการเลี้ยงสุกร ฟาร์มขนาดเล็กและขนาดกลางรวม 5,445,627 ตัว ซึ่งปล่อยน้ำเสียวันละ 147,031,929 ลบ.ม. น้ำเสียจำนวนนี้ถ้าเกษตรกรนำมาบำบัดด้วยระบบหมักก๊าซอย่างง่ายจะผลิตก๊าซชีวภาพได้ 233,745 ลบ.ม./วัน เทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้า 280,497 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสีเขียวนี้ในฟาร์มสุกรทำให้ประเทศไทยได้คาร์บอนเครดิตเพิ่มขึ้นปีละ 347 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ และสามารถขายเป็นคาร์บอนเครดิตได้เป็นมูลค่า 166,560 บาท

/ /

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Natthaphong Srikhomkhag 2014: Carbon Credit Assessment from Biogas Production in Small and Medium Pig Farm. Master of Science (Environmental Science and Technology), Major Field: Environmental Science and Technology, Division of Sciences. Thesis Advisor: Miss Prapa Shosalam, Ph.D. 74 pages.

The carbon credit was assessed from swine farm, small and medium size, by using simple biogas fermentation system. Biogas quantity was studied from treatment of swine farm wastewater compare with mixed swine farm wastewater with cafeteria wastewater. Increasing of hydraulic retention time (HRT) and reduction of organic loading rate (OLR) gave the highest methane content at OLR of 0.130 g COD/L.day and HRT of 120 day. The highest methane content was 40.37% and methane yield of 110.4 ml methane/g COD.

The influent BOD was in range of 7,500 - 10,500 mg/L. This biogas fermentation system could reduce BOD into range of 2,100 - 2,340 mg/L. Comparison of BOD treatment efficiency with HRT, the result showed that increasing of HRT was also increased BOD treatment efficiency. At HRT of 120 days showed the highest BOD treatment efficiency at 76.87%.

Swine farm in Thailand produce the high strength organic wastewater which can be produced biogas. There are 5,445,627 pigs from small and medium farm in Thailand that discharge wastewater of 147,031,929 m^3/day. This amount of wastewater can be treated by using the simple biogas fermentation system which can produce 233,745 m^3 of biogas per day equal to electric power of 280,497 KW-hr/day. Green technology applying in swine farm can increase carbon credit 347 CO_2 ton/year which equal to 166,560 bath/year.

____________________ ____________________ ___ / ___ / ____

Student’s signature Thesis Advisor’s signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

กระผมขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ประภา โซ๊ะสลาม ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำอบรม สั่งสอน คำแนะนำ คำปรึกษา ความรู้ต่างๆ ทั้งทางด้านวิชาการและการดำเนินชีวิตปัจจุบันและในอนาคต ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ฐิติยา แซ่ปัง กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนวรรณ พาณิชพัฒน์ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทดลองและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมา ขอบคุณเพื่อน ๆ ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

คุณค่าและสิ่งที่เป็นประโยชน์ที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้พึงมี ขอมอบแด่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน รวมทั้งครูบาอาจารย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ณัฐพงษ์ ศรีคำแขก

กรกฎาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	44
อุปกรณ์	44
วิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	55
สรุปผลการทดลอง	68
ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณ และลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำแนกตามขนาดฟาร์ม	8
2	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งออกจากฟาร์มสุกรขนาดต่าง ๆ	9
3	ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์ และคนคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตัว	9
4	อัตราการลงทุนเลี้ยงสุกรขุน	10
5	สถิติข้อมูลปศุสัตว์ในประเทศไทยปี 2553	13
6	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	23
7	ความสามารถในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ทดแทนพลังงานอื่น โดยใช้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 60% มีค่าความร้อน ระหว่าง 18.84 – 26.38 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร	24
8	รายชื่อฟาร์มสุกรขนาดเล็กและขนาดกลาง สถานที่ตั้งฟาร์มที่ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสีย	46
9	ข้อจำกัดชุดการทดลอง	50
10	ผลการวิเคราะห์น้ำเสียฟาร์มสุกรตัวอย่างทั้ง 10 ฟาร์ม	55
11	เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติจากค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ที่ได้จากชุดการทดลอง S	62
12	เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติจากค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ที่ได้จากชุดการทดลอง M	63
13	เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติจากค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ที่ได้จากชุดการทดลอง SC	64
14	เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติจากค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ที่ได้จากชุดการทดลอง MC	65
15	ตารางเปรียบเทียบการคำนวณความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ	66

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะโรงเรือนด้านนอก	12
2	ลักษณะภายในคอกขุน	12
3	โครงสร้างตลาดคาร์บอน	33
4	ขั้นตอนการดำเนินงานจัดทำโครงการ CDM การดำเนินงานในประเทศไทย	38
5	แสดงขั้นตอนดำเนินงานจัดทำโครงการ CDM การดำเนินงานตามขั้นตอนที่ UNFCCC CDM Executive Board	39
6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์, อุณหภูมิและระยะเวลาในการหมัก	40
7	ชุดการทดลองการศึกษาการย่อยสลายของเสีย (Treatability study) และการผลิตก๊าซชีวภาพ	48
8	รายละเอียดชุดการทดลองการศึกษาการย่อยสลายของเสีย และการผลิตก๊าซชีวภาพ	49
9	การเปรียบเทียบบีโอดีน้ำเข้าและน้ำออกชุดการทดลอง S	56
10	การเปรียบเทียบบีโอดีน้ำเข้าและน้ำออกชุดการทดลอง M	57
11	การเปรียบเทียบบีโอดีน้ำเข้าและน้ำออกชุดการทดลอง SC	57
12	การเปรียบเทียบน้ำเข้าและน้ำออกชุดการทดลอง MC	58
13	การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณก๊าซที่วัดได้จากชุดการทดลอง S	59
14	การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณก๊าซที่วัดได้จากชุดการทดลอง M	59
15	การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณก๊าซที่วัดได้จากชุดการทดลอง SC	60
16	การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณก๊าซที่วัดได้จากชุดการทดลอง MC	60
17	การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ จากแต่ละชุดการทดลอง	61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินคาร์บอนเครดิตจากการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง

Carbon Credit Assessment from Biogas Production in Small and Medium Pig Farm

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม อาชีพการทำฟาร์มปศุสัตว์มีแนวโน้มที่จะขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์จึงมีจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นของแข็ง (solid-waste) และของเหลว (wastewater) ของเสียเหล่านี้มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน ไนตรัส ไนเตรท เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง (เฉลิมราช, 2540) ถ้าปล่อยของเสียเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงจะทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำนั้น เกิดเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา อีกทั้งยังเป็นแหล่งเพาะพันธุ์พาหะของโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ซึ่งปัญหาเหล่านี้นับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น และจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของ จุลินทรีย์มีทั้งชนิดใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิด ก๊าซมีเทน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และออกซิเจน ซึ่งก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นตัวการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันเป็นอย่างมาก วิธีการหนึ่งในการจัดการของเสียเหล่านี้ โดยการนำเอาของเสียที่เกิดขึ้นกลับมาใช้ประโยชน์ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของเสียที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นการบรรเทาปัญหามลพิษที่เกิดขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ประโยชน์ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิต

ในพื้นที่ตำบลป่าขะ อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก เป็นพื้นที่ที่มีการเลี้ยงสุกรเป็นจำนวนมาก และส่วนมากเป็นการเลี้ยงสุกรในรูปแบบฟาร์มขนาดกลาง และขนาดเล็ก ยังไม่มีการจัดการของเสียภายในฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ว่าในแต่ละฟาร์มจะไม่ได้ปล่อยของเสียจากฟาร์มสุกรลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็ตาม โดยปัจจุบันมีการบำบัดแบบบ่อเปิดซึ่งใช้พื้นที่มากและมีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น จึงเกิดเป็นปัญหาทางสังคมและสิ่งแวดล้อม แนวทางหนึ่งในการจัดการของเสียจากฟาร์มสุกร ได้แก่ การใช้ระบบบำบัดแบบปิดไร้อากาศ (Anaerobic digestion) ซึ่งสามารถลดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น พาหะนำโรค และยังได้ก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการบำบัดสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนภายในฟาร์มเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้ แต่อย่างไรก็ตามจาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายงานของการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือน หรือบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขนาดเล็กที่ส่งเสริมให้กับเกษตรกรรายย่อยยังมีปัญหาในเรื่องข้อจำกัดของรูปแบบและเทคโนโลยีที่ใช้ โดยความต้องการของการใช้ในครัวเรือน เนื่องจากการพิจารณาขนาดของบ่อบำบัดที่ก่อสร้างพิจารณาจากจำนวนของเสียของฟาร์มเป็นหลัก จึงมีการเหลือก๊าซปล่อยทิ้งจำนวนมาก ทางหนึ่งที่อาจจะสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว ได้แก่ การจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวม (Central Treatment Plant) เพื่อบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกร และช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการดำเนินงานของบ่อก๊าซชีวภาพขนาดเล็ก ทั้งในเรื่องของเทคโนโลยี การดำเนินงาน การบำรุงรักษา และยังส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อม ก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียรวมดังกล่าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนได้อย่างคุ้มค่าโดยไม่มีการเหลือทิ้ง ดังนั้นก่อนที่จะดำเนินการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวม ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวมถึงความเหมาะสม โดยพิจารณาในประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ ความเป็นไปได้ทางเทคนิค การประเมินของเสีย เทคโนโลยีที่ใช้ พื้นที่ที่เหมาะสม ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม รวมถึงการนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานทดแทนภายในพื้นที่

การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Treatment) จะได้ก๊าซมีเทนซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง และยังสามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ภายในฟาร์มได้ และการนำหลักการเทคโนโลยีสะอาดไปปรับใช้ภายในฟาร์ม เป็นวิธีการลดปัญหามลพิษที่จะเกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการผลิต ในปัจจุบันมีนโยบายเกี่ยวกับคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) เกิดขึ้น ดังนั้นการลดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากฟาร์มปศุสัตว์จึงเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและยังสามารถขายเครดิตนี้เพื่อสร้างรายได้ให้ประเทศได้อีกทางหนึ่งด้วย

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการนำน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง โดยนำน้ำเสียจากโรงอาหารมาผสมเพื่อทำการศึกษาการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Treatability study) จากชุดการทดลองที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อบำบัดน้ำเสีย นำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปใช้ประโยชน์ และประเมินคาร์บอนเครดิตที่สร้างได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดเล็ก น้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดกลาง น้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กผสมกับน้ำเสียจากโรงอาหาร และ น้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดกลาผสมกับน้ำเสียจากโรงอาหาร

2. ประเมินปริมาณพลังงานที่สามารถผลิตทดแทน เพื่อนำไปคำนวณคาร์บอนเครดิตที่สามารถเสนอขายได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. คำจำกัดความ

1.1 ความหมายการเลี้ยงสุกร

การเลี้ยงสุกร หมายถึง การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกรชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปตามน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ ที่ระบุในราชกิจจานุเบกษา 23 กุมภาพันธ์ 2544 เล่ม 118 ง ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับการกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร ซึ่งจำแนกการเลี้ยงสุกรเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) การเลี้ยงสุกร ประเภท ก หมายถึง การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์เกินกว่า 600 หน่วย

2) การเลี้ยงสุกร ประเภท ข หมายถึง การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 60 หน่วย แต่ไม่เกิน 60 หน่วย

3) การเลี้ยงสุกร ประเภท ค หมายถึง การเลี้ยงสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ที่มีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ตั้งแต่ 6 หน่วย แต่ไม่เกิน 60 หน่วย น้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 1 หน่วย หมายถึง น้ำหนักสุทธิของสุกรพ่อพันธุ์แม่พันธุ์สุกรขุน หรือลูกสุกร ชนิดใดชนิดหนึ่ง หรือตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 500 กิโลกรัม โดยคิดคำนวณน้ำหนักเฉลี่ยสุกรพ่อพันธุ์ หรือแม่พันธุ์ตัวละ 170 กิโลกรัม สุกรขุนตัวละ 60 กิโลกรัม และลูกสุกร ตัวละ 12 กิโลกรัม โดยที่ สุกรพันธุ์หมายถึง สุกรเพศผู้ หรือเมียที่คัดเลือกไว้เพื่อจะใช้ทำพ่อพันธุ์ หรือแม่พันธุ์ หรือใช้ทำเป็นพ่อพันธุ์แม่พันธุ์อยู่แล้ว ลูกสุกร หมายถึง สุกรแรกเกิดจนถึงหย่านม สุกรขุนหมายถึง สุกรเล็กหลังหย่านมเลี้ยงขุนขายสู่ตลาดเพื่อบริโภค (ราชกิจจานุเบกษา, 2544)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 ความหมายของน้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรกในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไปที่พบเห็น สิ่งเจือปนที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ต่างๆ กรด ด่าง ของแข็งหรือสารแขวนลอย และสิ่งที่ลอยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลือและแร่ธาตุ ที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2535)

น้ำเสียตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น ลักษณะของ น้ำเสียแบ่งออกได้ 3 ด้าน คือ ด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านชีวภาพ

1) ลักษณะของน้ำเสียทางกายภาพ เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำและสามารถไหลผ่านกระดาษกรองใยแก้ว แล้วนำน้ำที่กรองได้ไประเหยจนแห้ง แล้วจึงนำไปอบ ของแข็งแขวนลอยหมายถึงปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เหลือค้างบนกระดาษกรองใยแก้ว ความขุ่นหมายถึง สมบัติทางแสงของสารแขวนลอยซึ่งทำให้แสงกระจาย และดูดกลืนมากกว่าที่จะยอมให้แสงผ่านเป็นเส้นตรง ความขุ่นของน้ำเกิดการมีสารแขวนลอยต่างๆ เช่น ดิน ดินตะกอน

2) ลักษณะของน้ำเสียทางเคมี เช่น ออกซิเจนละลาย การหาดีโอ (Dissolved Oxygen , DO) หรือออกซิเจนละลาย สามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมี และใช้เครื่องวัดโดยตรง บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำ ด้วยสารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูงในสารละลายที่เป็นกรด ให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ค่าซีโอดีมีความสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง การควบคุมระบบบำบัดน้ำทิ้ง การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย ความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีความสำคัญในการควบคุมคุณภาพน้ำและน้ำเสียควบคุมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สิ่งมีชีวิต เพื่อไม่ให้เกิดการกัดกร่อนของท่อ เพื่อใช้ในการควบคุมสารเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสียให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปน้ำมีค่า pH อยู่ในช่วง 5-8 ค่า pH เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจนในน้ำ ไนโตรเจน เป็นธาตุที่มีความสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน ทำให้พืชน้ำมีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว สารโลหะหนักชนิดต่างๆขึ้นอยู่กับชนิดของอุตสาหกรรม สารโลหะหนักยอมให้มีได้ในน้ำในปริมาณที่น้อยมากเนื่องจากบางตัวให้ความเป็นพิษสูง แต่บางชนิดหากมีปริมาณไม่มากนักจะมีผลดีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

3) ลักษณะของเสียทางชีวภาพ เช่น แบคทีเรีย คือ จุลินทรีย์เซลล์เดียว มีขนาดเล็ก ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเป็นผู้ย่อยสลายในแหล่งน้ำ รา เป็นจุลินทรีย์ที่มีหลายเซลล์ ไม่มีคลอโรฟีลล์ รามีความสำคัญในการย่อยสลายพวกคาร์บอนที่มีค่า pH ต่ำ รามีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียบางระบบ (พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2535)

2. ลักษณะของเสียจากฟาร์มสุกร และสถานภาพการเลี้ยงสุกร

2.1 ลักษณะน้ำเสียฟาร์มสุกร

ปัญหามลพิษทางน้ำของประเทศไทยจากการระบายน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ลงสู่แม่น้ำลำคลอง อาทิเช่น ชุมชนและกิจการอุตสาหกรรม การเพาะปลูก การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การปศุสัตว์เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำเสื่อมโทรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงสุกรซึ่งปัจจุบันมีอยู่เป็นจำนวนมาก และกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ ประกอบด้วยฟาร์มสุกรขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ รวมทั้งการเลี้ยงตามบ้านแบบดั้งเดิม การเลี้ยงสุกรนอกจากจะทำให้เกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง ยังทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็น และแมลงวันรบกวน ซึ่งทำให้เกิดความเดือดร้อนแก่ชุมชนใกล้เคียงได้ ดังนั้น ฟาร์มสุกรเหล่านี้จำเป็นต้องมีการจัดการของเสียและน้ำเสียจากฟาร์มสุกรอย่างเหมาะสม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของเสียจากฟาร์มสุกร มี 2 ประเภทหลัก คือ ส่วนที่เป็นมูลสุกร เศษอาหารที่ตกค้างในคอก น้ำล้างคอก และปัสสาวะสุกร ซึ่งจะกลายเป็นน้ำเสีย การเลี้ยงสุกรทำให้เกิดมูลสุกรเป็นจำนวนมาก หากไม่มีการจัดการที่ดีโดยเฉพาะด้านความสะอาด จะเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น โดยเฉพาะบนพื้นคอกที่มีการหมักหมมของมูลสุกรและใต้พื้นคอกที่มีการตกค้างของมูลสุกร ปัสสาวะ และน้ำจากการล้างคอก นอกจากนี้มูลสุกรที่เก็บกวาดออกจากพื้นคอก เมื่อนำมาตากแห้งต้องมีการดูแลโดยไม่กองทิ้งมูลไว้เป็นเวลานาน เพราะความชื้นในอากาศและอุณหภูมิจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดก๊าซที่มีกลิ่นได้

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอก และโรงเรือน ซึ่งในการทำความสะอาดคอกควรเก็บกวาดมูลสุกรออกจากพื้นคอกก่อน เพื่อลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย ในการเลี้ยงสุกรทำให้เกิดของเสียอื่น ๆ อีกหลายชนิดซึ่งต้องมีการกำจัดที่ถูกต้อง เช่น ขวดยา ถุงอาหาร เข็มฉีดยา รก และซากสุกรที่ตายต้องมีการฝังกลบให้เรียบร้อย สำหรับถุงใส่อาหารสัตว์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือใช้เป็นถุงบรรจุมูลสุกรขายเป็นปุ๋ย (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ จะมีลักษณะและปริมาณของเสียแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ปริมาณและลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจำแนกตามขนาดฟาร์ม

ลักษณะน้ำเสีย	ขนาดฟาร์ม	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
บีโอดี (BOD)	ขนาดใหญ่	1,225	9,000	3,000
(มก./ล.)	ขนาดกลาง	460	7,650	2,500
	ขนาดเล็ก	239	19,280	1,500
ซีโอดี (COD)	ขนาดใหญ่	2,152	18,388	7,000
(มก./ล.)	ขนาดกลาง	2,578	31,096	6,800
	ขนาดเล็ก	778	40,000	4,000
สารแขวนลอย (SS)	ขนาดใหญ่	1,304	9,530	4,800
(มก./ล.)	ขนาดกลาง	149	14,500	3,000
	ขนาดเล็ก	82	1,887	2,000
ไนโตรเจนในรูป	ขนาดใหญ่	367	981	540
ทีเคเอ็น (TKN)	ขนาดกลาง	235	3,371	540
(มก./ล.)	ขนาดเล็ก	261	24,480	400
อัตราการเกิดน้ำเสีย	ขนาดใหญ่	-	-	10
(ล./ตัว/วัน)	ขนาดกลาง	-	-	15
	ขนาดเล็ก	-	-	20

ที่มา: รายงานประจำปีงบประมาณกลุ่มพัฒนาคุณภาพสินค้าปศุสัตว์ สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดนครพนม (2550)

กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง เพื่อควบคุมให้ฟาร์มสุกรต้องมีการบำบัดน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนจะระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่ทั้งนี้ต้องอาศัยความร่วมมือของเกษตรกร ผู้ประกอบการเพื่อช่วยกันรักษาทรัพยากรน้ำ สภาวะสิ่งแวดล้อมที่ดีไว้ และยังทำให้ฟาร์มสุกรสามารถอยู่ร่วมกับชุมชนได้อย่างยั่งยืน ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งออกจากฟาร์มสุกรขนาดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งออกจากฟาร์มสุกรขนาดต่าง ๆ

ค่าที่ตรวจวัด	ขนาดฟาร์มสุกร		
	เล็ก	กลาง	ใหญ่
pH	5 - 9	5 - 9	5 - 9
บีโอดี (มก./ล.)	ไม่เกิน 120	ไม่เกิน 100	ไม่เกิน 60
ซีโอดี (มก./ล.)	ไม่เกิน 500	ไม่เกิน 400	ไม่เกิน 250
ของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	ไม่เกิน 300	ไม่เกิน 150	ไม่เกิน 100
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	ไม่เกิน 300	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 150

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2553)

ฟาร์มเลี้ยงสุกรมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมากในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร การใช้น้ำในฟาร์มแต่ละแห่งจะแตกต่างกันไป ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีข้อแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการจัดการของแต่ละฟาร์ม ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์ตามน้ำหนักตัว ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์ และคนคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักตัว

ชนิดสัตว์	สิ่งขับถ่ายตามน้ำหนักตัว		ในสิ่งขับถ่ายสด		น้ำหนักตัว (กก.)
	มูล (ร้อยละ)	ฉี่ (ร้อยละ)	TS (ร้อยละ)	VS (ร้อยละ)	
โค	5	4 - 5	16	13	135 - 800
กระบือ	5	4 - 5	14	12	340 - 420
สุกร	2	3	16	12	30 - 75
แพะ-แกะ	3	1 - 1.5	30	20	30 - 100
ไก่/สัตว์ปีก	4.5	-	25	17	1.5 - 2
คน	1	2	20	15	50 - 80

ที่มา: Werner et al. (1989)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 สถานภาพการเลี้ยงสุกร และลักษณะของฟาร์มสุกรขุนที่เหมาะสม

การเลี้ยงสุกรขุน หมายถึง การนำสุกรที่หย่านมแล้ว ทั้งตัวผู้ และตัวเมียมาเลี้ยงให้อ้วน โดยให้กินอาหารอย่างเต็มที่เป็นเวลา 4-5 เดือน สุกรจะมีน้ำหนัก 90-100 กิโลกรัม แล้วขายส่งตลาด การลงทุนเลี้ยงสุกรสำหรับเกษตรกรแต่ละราย และการเลี้ยงสุกรแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป

ยกตัวอย่างการลงทุนสำหรับเกษตรกรรายใหม่ที่ยังไม่เคยเลี้ยงสุกรมาก่อน ถ้าทำการเลี้ยงสุกรขุนรุ่นละ 20 ตัว จะต้องลงทุนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราการลงทุนเลี้ยงสุกรขุน

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1. ค่าโรงเรือนสุกร 20 ตัว	20,000
2. ค่าลูกสุกร 20 ตัว (ตัวละ 400 – 600)	10,000
3. ค่าอาหาร (ระยะเวลา 5 เดือน)	30,000
4. ค่าวัคซีน ยารักษาโรค และอื่น ๆ	4,000
รุ่นแรกจะต้องให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	64,000

ที่มา: การเลี้ยงหมูในยุคไอเอ็มเอฟ (สิริสุข, 2550)

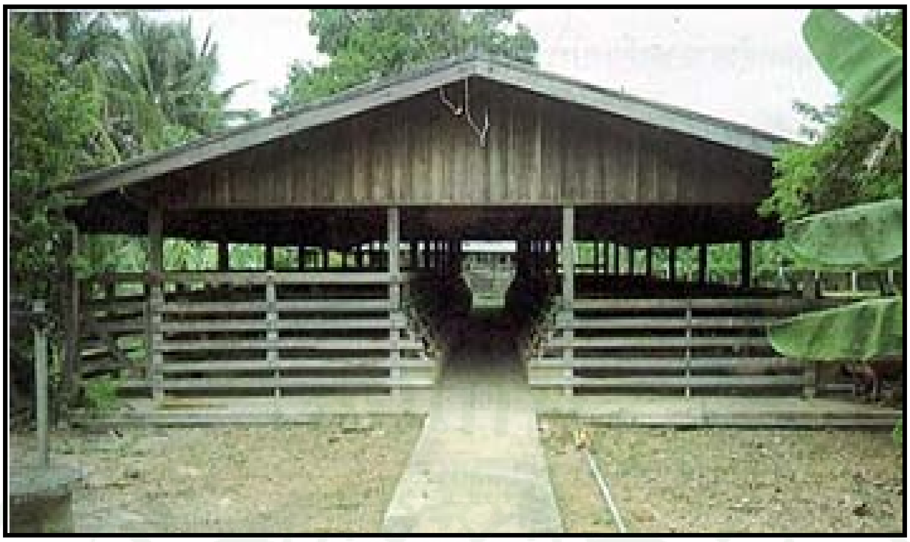
โรงเรือนขุนสุกร 20 ตัว จะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 30-40 ตารางเมตร แบ่งเป็นคอก 4-5 คอก แต่ละคอกเลี้ยงสุกรขุนได้ 4-5 ตัว ค่าก่อสร้างโรงเรือนประมาณ 20,000 บาท ค่าพันธุ์ สุกรหย่านมแล้ว ราคาตัวละ 400-600 บาท ถ้าเลี้ยง 20 ตัว ค่าพันธุ์ประมาณ 10,000 บาท ค่าอาหาร ตลอดระยะการเลี้ยงสุกรขุน 5 เดือน จะสิ้นเปลืองอาหาร 250-300 กิโลกรัม ราคาอาหารเฉลี่ยกิโลกรัมละ 5 บาท จะต้องเตรียมค่าอาหารประมาณ 30,000 บาท ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าวัคซีนป้องกันโรค ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า ค่ายารักษาโรค ค่าแรงงาน และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ควรจะเตรียมไว้อย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าอาหารรวมกับค่าพันธุ์ คือ ประมาณ 4,000 บาทต่อการเลี้ยงสุกรขุน 20 ตัว ต้องเตรียมเงินลงทุนในรุ่นแรก ๆ อย่างน้อยประมาณ 64,000 บาท การเลี้ยงสุกรแต่ละรุ่นจะใช้เงินลงทุนประมาณ 44,000 บาท ในความเป็นจริง ค่าพันธุ์ ค่าอาหารและค่าใช้จ่ายอื่นๆ จะขึ้นลงอยู่ตลอดเวลา และเมื่อเกษตรกรมีความชำนาญเพิ่มขึ้น ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ โดยเฉพาะค่าอาหารจะต่ำกว่านี้มาก เกษตรกรยังสามารถลดค่าใช้จ่ายค่าอาหารสุกรได้โดยการผสมอาหารใช้เองจะทำให้มีกำไรจากการเลี้ยงสุกรขุนมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 หลักทั่วไปในการจัดสร้างโรงเรือนสุกร

การจัดสร้างโรงเรือนสำหรับเลี้ยงสุกรควรคำนึงถึง โรงเรือนจะต้องตั้งในที่สูง น้ำท่วมไม่ถึง ควรจะตั้งโรงเรือนห่างจากชุมชน ถนนที่มีคนพลุกพล่าน และห่างจากฟาร์มสุกรฟาร์มอื่นๆ พอสมควร วางผังโรงเรือนให้ความยาวของโรงเรือนอยู่ในแนวทิศตะวันตก ตะวันออก เพื่อให้แสงแดดส่องภายในโรงเรือนน้อยที่สุด ควรจัดทางระบายน้ำเสีย และบ่อน้ำเสียไว้ใกล้ ๆ โรงเรือน และปลูกไม้ยืนต้นห่างจากตัวโรงเรือน 5-6 เมตร ไม่ควรปลูกไม้พุ่มเตี้ยเพราะจะบังลมที่พัดมาในระดับต่ำ เนื่องจากประเทศไทยอากาศร้อนอยู่ตลอดทั้งปี โรงเรือนสุกรควรจะโปร่ง หลังคาสูง ชายหลังคาที่นำแผ่นยางหรือแสลมมาขึงจะช่วยกันแดดได้มาก ฝาผนัง โรงเรือนโปร่งระบายอากาศได้ดีตลอดเวลา ถ้าสามารถขุดบ่อน้ำรอบๆ โรงเรือน หรือด้านใดด้านหนึ่งของโรงเรือน จะช่วยให้บรรยากาศภายในโรงเรือนดีขึ้น อากาศเย็นสบายตลอดทั้งวัน การออกแบบโรงเรือนควรจะเผื่อไว้สำหรับขยายโรงเรือนภายในอนาคตด้วย อายุการใช้งานของโรงเรือนควรกำหนดไว้อย่างน้อย 10 ปี ลักษณะของโรงเรือนนั้น เกษตรกรสามารถก่อสร้างแตกต่างออกไปหลายรูปแบบ เช่น แบบเพิงหมาแหงนสำหรับเลี้ยงสุกร 1-10 ตัว แบบหน้าจั่ว สำหรับเลี้ยงสุกร 10-100 ตัว และแบบหน้าจั่ว 2 ชั้น สำหรับเลี้ยงสุกร 100 ตัวขึ้นไป คอกสุกรขุนเป็นคอกที่สร้างง่าย มีส่วนประกอบน้อย และสร้างได้หลายแบบตามความต้องการของเกษตรกร เกษตรกรที่เลี้ยงสุกรจำนวนน้อย หรือเลี้ยงสุกรขุนเพียงอย่างเดียวอาจจะสร้างโรงเรือนเพิงหมาแหงนแล้วใช้ไม้ไผ่ทั้งลำกั้นเป็นคอกสูงขึ้นมา 1 เมตร กว้าง 3 เมตร ยาว 4 เมตร ก็สามารถใช้เลี้ยงสุกรขุนได้ถึง 10 ตัว เกษตรกรที่เลี้ยงสุกรขุน 20-100 ตัว อาจจะทำคอกด้วยอิฐบล๊อกก่อสูงขึ้นมา 5-6 ก้อน โดยให้ 2 ก้อนบนเป็นอิฐโปร่ง ช่วยให้ระบายอากาศดีขึ้น ทำพื้นคอนกรีตหยาบๆ จะเก็บกวาดทำความสะอาดได้ง่าย เกษตรกรที่เลี้ยงสุกรขุนอย่างเป็นอุตสาหกรรม ควรจะสร้างคอกยกพื้นปูพื้นคอกด้วยคอนกรีตเป็นร่องยาว เพื่อให้มูลสุกรไหลลงข้างล่างได้ง่าย คอกแบบนี้เป็นที่นิยมมาก เพราะป้องกันโรคได้ดีทำความสะอาดง่าย ประหยัดแรงงาน ในคอกหนึ่งๆ ควรจะเลี้ยงสุกรขุน 5-10 ตัวเท่านั้น และคอกสุกรขุนแต่ละคอกต้องเลี้ยงสุกรอายุเท่ากัน ขนาดเท่ากัน (ศิริสุข, 2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 ลักษณะโรงเรือนด้านนอก

ที่มา: การเลี้ยงหมูในยุคไอเอ็มเอฟ (2550)

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะภายในคอกขุน

ที่มา: การเลี้ยงหมูในยุคไอเอ็มเอฟ (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเพิ่มขึ้นของพลเมืองในประเทศไทย ทำให้ความต้องการบริโภคอาหารโปรตีนจากเนื้อสัตว์เพิ่มขึ้นติดต่อกันมาหลายปีการเลี้ยงสัตว์จึงขยายตัวมากขึ้นโดยเฉพาะฟาร์มสุกร จึงทำให้มีจำนวนสุกรมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สถิติปศุสัตว์ในประเทศไทยปี พ.ศ. 2553

ประเภทสัตว์ (ตัว)	ภาคกลาง	ภาคเหนือ	ภาคอีสาน	ภาคใต้	ยอดรวม (ตัว)
จำนวนเกษตรกร (ครัวเรือน)	353,546	554,598	1,591,012	345,150	2,844,306
โคนม	280,289	28,956	96,853	6,706	412,804
โคเนื้อ	1,315,270	1,564,797	4,316,949	839,041	8,036,057
กระบือ	100,818	171,742	1,046,678	32,613	1,351,851
สุกร	4,635,903	1,047,873	1,454,464	602,265	7,740,505
แพะ	111,742	56,149	15,014	141,245	324,150
แกะ	19,277	7,174	3,624	21,076	51,151
ไก่	90,689,632	23,776,769	59,322,572	10,537,779	184,326,752

ที่มา: สถิติข้อมูลสำนักงานกรมปศุสัตว์จังหวัด (2553)

3. การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร และเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

3.1 รูปแบบบ่อหมักแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic digester) สามารถจัดจำแนกออกได้ดังนี้

1) บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า (Low rate anaerobic digester) บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า เป็นบ่อหมักที่ออกแบบเพื่ออาศัยกลุ่มของแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้านี้ มีคุณสมบัติที่สามารถรับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียได้ในปริมาณสูง บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบรางสามารถใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ที่มาจากคอกสัตว์ที่มีความเข้มข้นของของแข็งรวม (Total solids , TS) ในอัตราร้อยละ 10 – 12 ได้ ซึ่งในปริมาณของของแข็งรวมในน้ำเสียดังกล่าวจะมีปริมาณของแข็งที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระเหยได้ (Volatile solids , VS) ประมาณร้อยละ 70 – 80 สำหรับน้ำเสียจากคอกสุกร อัตราการเติมภาระสารอินทรีย์ (Organic loading rate , OLR) ควรอยู่ในช่วงประมาณ 1.5 – 2 กิโลกรัมของของแข็งที่ระเหยได้ต่อลูกบาศก์เมตรของบ่อหมักต่อวัน โดยระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายใช้เวลานานประมาณ 40 วัน เพื่อให้แบคทีเรียซึ่งมีอยู่หลายกลุ่มย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลง และเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพในที่สุด ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้านี้ อยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 60 – 70 ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และระยะเวลาของการหมัก

บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้าจะมีท่อเติมน้ำเสียเพื่อใช้เป็นท่อปล่อยน้ำเสียลงสู่บ่อหมัก และมีท่อน้ำล้นออกเพื่อปล่อยน้ำที่ผ่านการย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วออกไปจากบ่อหมัก น้ำที่ออกจากบ่อหมักจะยังคงมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่สูง ดังนั้นจำเป็นต้องมีระบบที่จะมารองรับน้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักไร้ออกซิเจน ที่ยังมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียดังกล่าวต่อไป ก๊าซที่เกิดขึ้นในบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้านี้จะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบคทีเรียมีการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีส่วนของบ่อหมักที่ใช้ในการเก็บก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่ง และต้องมีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์อย่างสม่ำเสมอด้วย ลักษณะรูปแบบของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้าที่มีใช้อยู่ทั่ว ๆ ไปในประเทศไทย พอจะแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ

1.1) บ่อหมักช้าแบบถังลอย (Floating drum digester) บ่อหมักช้าแบบถังลอยนี้ เป็นรูปแบบจากประเทศอินเดียมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย ลักษณะของบ่อหมักโดยส่วนใหญ่เป็นรูปทรงกระบอกที่เป็นคอนกรีตหรือโลหะ ซึ่งอาจติดตั้งโดยการฝังดินหรืออยู่บนผิวดิน ถังหมักแบบนี้จะมีท่อเติมน้ำเสียและมีท่อน้ำล้นออกแบบง่าย ๆ การติดตั้งจะให้ปลายของท่อเติมน้ำเสียจมอยู่ทางด้านบนของบ่อหมักในส่วนที่เป็นของเหลวเพื่อใช้สำหรับเติมน้ำเสีย และปลายของท่อน้ำล้นจมอยู่ทางด้านล่างของบ่อหมักส่วนที่เป็นของเหลว เพื่อใช้สำหรับนำของเหลวที่ผ่านการหมักแล้วออก สำหรับในส่วนที่ใช้เก็บก๊าซชีวภาพนั้นจะมีฝาครอบซึ่งลอยอยู่ในน้ำ และมีน้ำหนักกดทับไว้บนฝาครอบเพื่อสร้างแรงดันของก๊าซชีวภาพซึ่งอยู่ใต้ฝาครอบให้มีค่าสูง และสามารถส่งออกไปตามท่อเพื่อใช้งาน ฝาครอบแบบลอยนี้จะลอยขึ้นและลงได้ตามปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และเก็บอยู่ภายใต้บ่อหมัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2) บ่อหมักช้าแบบโดมคงที่ (Fixed dome digester) บ่อหมักแบบโดมเป็นรูปแบบที่มาจากประเทศจีนซึ่งเคยมีการนำมาใช้ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 ลักษณะของบ่อหมักและที่เก็บก๊าซจะเป็นรูปครึ่งทรงกลมฝังอยู่ในดิน การก่อสร้างใช้วิธีเทคอนกรีตหรือก่ออิฐโบกปูน บ่อหมักแบบนี้มีท่อเติมน้ำเสียจมอยู่ทางด้านบนของบ่อหมักในส่วนที่เป็นของเหลว เพื่อใช้สำหรับเป็นที่เติมน้ำเสียลงในบ่อหมัก และปลายท่อน้ำล้นจมอยู่ทางด้านล่างของบ่อหมักส่วนที่เป็นของเหลว สำหรับท่อล้นส่วนปลายบนจะติดจะติดอยู่กับบ่อล้น เพื่อใช้น้ำหนักของของเหลวในบ่อล้นเป็นตัวกดให้ก๊าซชีวภาพที่อยู่ในส่วนบนของบ่อหมักมีแรงดันส่งไปตามท่อส่งก๊าซใช้งาน และขณะเดียวกันก็ใช้เป็นทางออกของน้ำที่ผ่านการหมักแล้วด้วย และบ่อหมักแบบนี้อาจมีท่อที่ใช้สำหรับดึงกากที่ตกค้างอยู่ในบ่อหมักด้วย ซึ่งท่อที่ใช้สำหรับดึงกากนั้นอยู่ส่วนล่างของบ่อหมัก บ่อหมักแบบโดมคงที่นี้ต้องการเทคนิคและความชำนาญในการก่อสร้างสูง โดยเฉพาะส่วนโดมของบ่อหมักถ้าขาดความชำนาญจะทำให้เกิดก๊าซรั่วซึมตามรอยแตกร้าว ซึ่งการซ่อมแซมหรือการรื้อสร้างใหม่นั้นทำได้ยาก ปัจจุบันบ่อหมักแบบโดมคงที่นี้นิยมใช้กับฟาร์มเลี้ยงขนาดเล็ก ที่ต้องการปริมาตรบรรจุของบ่อหมักตั้งแต่ 12 – 100 ลูกบาศก์เมตร

1.3) บ่อหมักช้าแบบราง (Channel digester) บ่อหมักช้าแบบราง เป็นบ่อที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จะมีลักษณะยาวคล้ายราง โดยความยาวจะมากกว่าความกว้างไม่น้อยกว่า 4 – 5 เท่า จะมีท่อเติมน้ำและน้ำล้นออกอยู่ส่วนหัวและท้ายของบ่อหมักตามลำดับ ปลายท่อเติมและท่อน้ำล้นจะจมอยู่ในของเหลว ส่วนบนของบ่อหมักมีพลาสติกคลุมอยู่เพื่อใช้เป็นที่สำหรับเก็บก๊าซชีวภาพ โดยปลายของพลาสติกจะจมอยู่ในของเหลวเพื่อกันไม่ให้ก๊าซชีวภาพหลุดออกไป ส่วนของบ่อหมักที่ใช้บรรจุของเหลวนั้นจะอยู่ในดิน และมีส่วนเก็บก๊าซอยู่บนผิวดิน ก๊าซที่เกิดขึ้นและเก็บใต้ถุงพลาสติกจะถูกส่งออกไปตามท่าส่งก๊าซเพื่อนำไปใช้งาน บ่อหมักแบบรางเป็นที่นิยมใช้สำหรับฟาร์มใหญ่ ที่ต้องการความจุของบ่อหมักมากกว่า 100 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งปัจจุบันได้มีการสร้างบ่อหมักแบบรางหลายขนาดตั้งแต่ ขนาดความจุ 400 ลูกบาศก์เมตร ไปจนถึง 1,400 ลูกบาศก์เมตร เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกรในหลาย ๆ แห่ง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) ก๊าซชีวภาพที่เก็บอยู่ใต้พลาสติกที่ใช้คลุมบ่อนั้นจะมีความดันของก๊าซน้อยมาก โดยความดันไม่เกิน 5 เซนติเมตรของน้ำ ดังนั้นในกรณีที่ต้องการใช้ก๊าซชีวภาพกับอุปกรณ์ต้องการความดันสูง จำเป็นที่จะต้องมีเครื่องส่งก๊าซ (Gas pump) ช่วยส่งก๊าซไปยังอุปกรณ์ใช้งาน(กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว (High rate anaerobic digester) บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว เป็นบ่อหมักที่ออกแบบเพื่อใช้เป็นบ่อหมักแบบปิดที่มีแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการใช้ออกซิเจนย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วนี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียซึ่งมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในรูปที่ละลายในน้ำเสีย โดยที่ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำปนเปื้อนอยู่น้อยกว่า ร้อยละ 1 ของปริมาณน้ำเสียนั้น ๆ ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย (Hydraulic retention time, HRT) ค่อนข้างสั้นมาก คือใช้ระยะเวลาประมาณ 80 – 90 วัน บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วนี้นิยมใช้มากสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียในรูปของสารที่ละลายน้ำได้ บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วที่มีใช้ทั่ว ๆ ไปในประเทศไทยขณะนี้พอที่จะแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

2.1) บ่อหมักเร็วแบบมีตัวกรอง (Anaerobic filter digester , AF) บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วชนิดที่มีตัวกรองนี้ เป็นบ่อหมักแบบเร็วที่ต้องอาศัยตัวกลางที่ให้แบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนเกาะยึด ซึ่งกลุ่มของแบคทีเรียที่ยึดเกาะกับตัวกลางนั้น ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ไหลผ่านได้ โดยที่แบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวไม่หลุดลอยออกไปกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว และบ่อหมักดังกล่าวนี้ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์แยกระหว่างของแข็ง-น้ำ-ก๊าซ ด้วยเนื่องจากแบคทีเรียยึดเกาะกับตัวกลางที่หมักอยู่แล้ว แต่จำเป็นต้องลงทุนเกี่ยวกับวัสดุตัวกลางดังกล่าว การปล่อยสารอาหารหรือน้ำเสียเข้าสู่บ่อหมัก โดยส่วนใหญ่ใช้วิธีปล่อยให้ไหลขึ้น โดยเติมเข้าทางด้านล่างและให้ล้นออกทางด้านบน

2.2) บ่อหมักแบบ (up-flow anaerobic sludge blanket digester , UASB) บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วชนิด UASB นี้ เป็นบ่อหมักแบบเร็วที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางที่จะให้แบคทีเรียยึดเกาะ แต่จะอาศัยการพัฒนาโครงสร้างกลุ่มของแบคทีเรียในบ่อหมักเอง โดยมีผลมาจากปริมาณความเข้มข้นของสารอาหารหรือน้ำเสียเข้าสู่บ่อหมักทางด้านล่าง และน้ำเสียจะผ่านชั้นของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งจับกลุ่มกัน แบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ และน้ำที่ผ่านการย่อยแล้วจะมีค่าซีโอดีลดลง หรือปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียดังกล่าวนั้นลดลง บ่อหมักแบบ UASB นี้ ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์แยกระหว่างของแข็ง-น้ำ-ก๊าซ ในส่วนบนของบ่อหมัก เพื่อทำหน้าที่แยกก๊าซออกจากกลุ่มของแบคทีเรีย ซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับก๊าซที่ผลิตและน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว มิฉะนั้นจะทำให้กลุ่มของแบคทีเรียหลุดออกไปกับน้ำที่ออกจากบ่อหมักถ้าหากปริมาณของแบคทีเรียที่ใช้ในการย่อยหลุดออกไปมาก ๆ จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการหมักและการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อหมักดังกล่าวลดต่ำลง แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากว่าจำนวนของแบคทีเรียที่อยู่ในบ่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หมักมีปริมาณมากเกินไปก็ควรที่ปล่อยออก เพื่อนำไปใช้เป็นหัวเชื้อให้กับบ่อหมักอื่น ๆ ได้ด้วย ซึ่งบ่อหมักที่มีการเติมหัวเชื้อนั้น จะสามารถพัฒนาการหมักและย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำได้เร็วและมีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกับบ่อหมักที่พัฒนามาแล้ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณหัวเชื้อที่ใส่ลงไปในบ่อหมัก

2.3) บ่อหมักแบบ (high suspension solid – up flow anaerobic sludge blanket digester , H-UASB) บ่อหมักแบบ H-UASB มีหลักการทำงานทั่วไปคล้ายกับบ่อหมักแบบ UASB คือ เป็นบ่อหมักแบบเร็วที่มีทิศทางการไหลของน้ำเสียจากข้างล่างขึ้นข้างบนแต่ไม่ใช้ตัวกลาง แบคทีเรียถูกเลี้ยงให้จับตัวกันเป็นเม็ด หรือฟล็อคจนกระทั่งมีน้ำหนักมากจนสามารถตกตะกอนได้ดี น้ำเสียที่ไหลเข้าถังปฏิกริยาจะทำให้เม็ดแบคทีเรียลอยตัวอยู่บนชั้นสลัดจ์ที่ไม่จมลงก้นถัง แต่บ่อหมักแบบ H-UASB จะมีข้อแตกต่างจากบ่อหมักแบบ UASB คือ มีการเพิ่มการจัดการตะกอนขึ้นมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของบ่อหมัก โดยใช้ปั๊มสำหรับดูดกากตะกอนออกมาจากบ่อหมัก ซึ่งปั๊มจะติดตั้งอยู่บน Travalling crane ที่สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้สะดวก ข้อแตกต่างอีกอย่างหนึ่งก็คือ รูปร่างของบ่อหมักแบบ H-UASB จะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งบ่อหมักแบบ UASB เป็นรูปทรงกระบอก โดยรูปร่างของบ่อหมักแบบ H-UASB ที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้านี้จะทำให้การก่อสร้างสะดวกกว่า (หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ, 2544)

3.2 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกรของกรมควบคุมมลพิษในปัจจุบัน

1) ระบบบ่อหมัก/บ่อผึ่ง ระบบนี้เป็นระบบที่เก็บกักน้ำเสียไว้โดยจะขุดเป็นบ่อดินยกคันบ่อไว้ 2-3 บ่อเป็นอย่างน้อย ขนาดของบ่อและจำนวนบ่อจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสียและค่าความสกปรก น้ำเสียจะมีการตะกอนและเกิดการหมักย่อยสลายสิ่งสกปรกแบบไร้ออกซิเจนใน 2 บ่อแรก ซึ่งสิ่งสกปรกจะถูกกำจัดไปเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในบ่อที่ 3 จะมีสภาพเป็นบ่อผึ่ง มีสาหร่ายเจริญเติบโต มีสภาพการบำบัดเป็นแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งจะทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้นก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ระบบนี้มีข้อจำกัดคือต้องใช้พื้นที่มาก และมีกลิ่นเหม็น ซึ่งจะเหมาะสมในกรณีที่มีพื้นที่มากไม่ต้องจัดซื้อใหม่ และอยู่ห่างไกลชุมชนเมือง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) ระบบถังหมัก/บ่อผึ่ง ระบบนี้ใช้ถังหมักแทนบ่อหมักในกรณีแรก โดยก่อเป็นคอนกรีต หรือใช้ถังคอนกรีตสำเร็จรูป เพื่อลดเนื้อที่ให้น้อยลง ข้อดีของระบบนี้คือสามารถนำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ประโยชน์ได้ โดยน้ำเสียจากสุกร 1 ตัว จะให้ก๊าซมีเทนประมาณ 100 – 200 ลิตร/วัน และจะลดปัญหาเรื่องกลิ่นลงได้มาก ระบบนี้เหมาะสำหรับฟาร์มที่มีที่ดินน้อย และต้องการนำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ประโยชน์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

3) ระบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว ระบบนี้เป็นการนำเอาระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนซึ่งได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นมาประยุกต์ใช้ เช่นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนชนิด AF หรือ UASB เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัด และลดเนื้อที่ใช้งานของระบบบำบัด แต่น้ำเสียที่จะบำบัดในระบบนี้จำเป็นต้องผ่านการแยกตะกอนเสียก่อน

4) ระบบก๊าซชีวภาพ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบครบวงจรซึ่งพัฒนาขึ้นมาใช้กับฟาร์มสุกรขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ องค์ประกอบที่สำคัญของระบบก๊าซชีวภาพนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ บ่อตะกอน บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า แบบรางหรือแบบโดมคงที่ ถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วชนิด UASB และลานกรองของแข็ง

5) ระบบบ่อปรับเสถียร (stabilization pond) เป็นระบบบำบัดแบบธรรมชาติ สภาพของการบำบัดน้ำทิ้งในบ่อจะสามารถแบ่งออกได้เป็น บ่อบำบัดแบบกึ่งไร้ออกซิเจน และแบบใช้ออกซิเจนหรือบ่อผึ่ง โดยอาศัยการถ่ายเทออกซิเจนจากทางผิวน้ำเป็นหลัก ระบบนี้ต้องการพื้นที่มากและอาจมีปัญหาเรื่องกลิ่น แต่มีค่าใช้จ่ายต่ำและต้องการบำรุงรักษาดูแลน้อย

6) ระบบบ่อเติมอากาศ (aerated lagoon) เป็นระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่ใช้เครื่องจักรกลเติมอากาศบนผิวน้ำ เพื่อรักษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อให้มีสภาพการบำบัดเป็นแบบใช้ออกซิเจน น้ำที่ได้รับการบำบัดแล้วจะถูกส่งผ่านไปยังบ่อตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำทิ้ง ระบบบำบัดแบบนี้ต้องการพื้นที่น้อยกว่าระบบบ่อปรับเสถียรและไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่น แต่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศในระบบ

7) ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) เป็นระบบบำบัดซึ่งประกอบด้วยถังบำบัด ซึ่งเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในสภาพที่ใช้ออกซิเจนด้วยการเติมอากาศ และมีถังตกตะกอนที่ใช้สำหรับแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้ง โดยทำการหมุนเวียนตะกอนจุลินทรีย์ส่วนหนึ่งจากถังตกตะกอนกลับมาสู่ถังเติมอากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ ระบบบำบัดประเภทนี้มีประสิทธิภาพใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การบำบัดสูง ต้องการพื้นที่น้อยแต่มีค่าลงทุน และค่าดำเนินการสูงอีกทั้งต้องการผู้ดูแลระบบที่มีความชำนาญ (มณฑิรา, 2544)

จากแนวทางการใช้ประโยชน์พื้นที่ในนิคมเลี้ยงสุกร ซึ่งแบ่งพื้นที่ใช้สอยออกเป็นส่วน ๆ โดยกำหนดให้ระบบบำบัดน้ำเสียอยู่ในพื้นที่เทคนิคหรือระบบควบคุมซึ่งมีพื้นที่คิดเป็นประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ใช้สอยรวม สามารถออกแบบเบื้องต้นระบบบำบัดน้ำเสียแบบก๊าซชีวภาพแบบใช้บ่อหมักแบบรางร่วมกับบ่อหมักแบบ UASB ตามความหนาแน่นของการเลี้ยงสุกร โดยพบว่าพื้นที่ของระบบบำบัดแบบก๊าซชีวภาพจะมีความเหมาะสมเมื่อมีความหนาแน่นของสุกรประมาณ 300 ตัว/พื้นที่แปลง 1 ไร่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

3.3 แนวทางในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียในฟาร์มเลี้ยงสุกร จากการศึกษาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนำมากำหนดเป็นแนวทางเลือกของระบบบำบัดน้ำเสียดังนี้

1) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (pound system) เป็นระบบบำบัดแบบธรรมชาติโดยจัดทำบ่อเก็บกักน้ำเสียต่อเนื่องกันแบบอนุกรมซึ่งเป็นบ่อเปิด และสามารถแบ่งสภาพของการบำบัดภายในบ่อออกได้เป็น บ่อหมักหรือบ่อไร้ออกซิเจน บ่อกึ่งไร้ออกซิเจน และบ่อผึ่ง โดยอาศัยการถ่ายเทออกซิเจนจากทางผิวน้ำเป็นหลัก น้ำทิ้งจากบ่อบำบัดขั้นสุดท้ายสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยตรง นอกจากนี้ระบบอาจดัดแปลงใช้ถังหมักเพื่อลดกลิ่นจากบ่อหมักแทนก็ได้

2) ระบบบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic treatment system) โดยอาจใช้ระบบถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วแบบ AF หรือ UASB ซึ่งระบบปิด ทำการบำบัดน้ำเสียซึ่งระบบประกอบด้วยบ่อตกตะกอน บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบราง ถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว และลานกรองของแข็ง ระบบบำบัดแบบนี้เป็นระบบบำบัดแบบครบวงจรโดยมีการบำบัดตะกอนรวมด้วย น้ำทิ้งจากระบบก๊าซชีวภาพนี้จะต้องได้รับการบำบัดเพิ่มเติมด้วยระบบบำบัดแบบเติมอากาศ ก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเช่นเดียวกัน เนื่องจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ซึ่งมีความสกปรกอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน เป็นระบบที่เหมาะสมดังที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระบบซึ่งมีการใช้พลังงานต่ำ และอาจนำพลังงานที่เกิดขึ้นในระหว่างการบำบัดกลับมาใช้ใหม่ในรูปของก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้ระบบยังมีอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องนำไปกำจัดน้อยลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยทั่วไปจะไม่สามารถลดปริมาณสิ่งสกปรกหรือสารอินทรีย์ในน้ำเสียลงได้จนถึงระดับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้จำเป็นจะต้องมีระบบบำบัดเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อม ในการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรนั้น จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของระบบในด้านต่าง ๆ โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาประกอบการคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกรได้แก่ ขนาดของฟาร์ม ตำแหน่งที่ตั้งของฟาร์ม คุณภาพของสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียง เป็นต้น โดยพิจารณาคุณสมบัติของระบบใน 2 ลักษณะ คือ

2.1) ความเหมาะสมทางด้านเทคนิค เป็นการพิจารณาคุณสมบัติของระบบในด้านต่าง ๆ เช่น ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียหรือประสิทธิภาพของระบบ ปริมาณและการกำจัดตะกอนส่วนเกิน ความยืดหยุ่นของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาณ คุณภาพน้ำเสียและสภาพแวดล้อมทางกายภาพ และความสามารถในการใช้งาน เช่น ความยากง่ายในการดำเนินการบำรุงรักษา จำนวนบุคลากรที่ต้องการ

2.2) ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการลงทุนของระบบ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นค่าก่อสร้างระบบบำบัด และค่าดำเนินการบำรุงรักษาระบบ เช่นค่าจ้างบุคลากรค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาระบบเป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

3.4 ระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดต่าง ๆ เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

การตัดสินใจเลือกระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่เหมาะสม จะขึ้นอยู่กับขนาดของนิคมการเลี้ยงสุกรเป็นเกณฑ์ โดยปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวกำหนดพื้นที่ของระบบบำบัดน้ำเสีย ค่าลงทุนและค่าใช้จ่ายที่จำเป็นในการดำเนินการ จากการพิจารณาเปรียบเทียบทางเลือกของระบบบัดน้ำเสียต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น ทั้งในแง่ของประสิทธิภาพ ค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พอสรุปเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรตามขนาดของฟาร์ม ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1) ในกรณีของฟาร์มสุกรรายย่อย หรือขนาดเล็กระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสม ได้แก่ ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียหรือระบบถังหมัก/บ่อผึ่ง โดยในระบบนี้น้ำเสียจะถูกส่งผ่านไปยังบ่อหมักหรือถังหมักแบบโดมคงที่ เพื่อทำการแยกตะกอนและการบำบัดขั้นต้น จากนั้นน้ำทิ้งจะถูกส่งต่อไปยังบ่อผึ่งเพื่อทำการบำบัดเพิ่มเติมจนกระทั่งมีคุณสมบัติได้ตามมาตรฐานต่อไป ทั้งนี้เนื่องจากในฟาร์มขนาดเล็กมีปริมาณน้ำเสียไม่มากนักจึงควรเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่ดำเนินการได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องดูแลรักษามากนัก ทั้งนี้ระบบก๊าซชีวภาพก็เป็นระบบที่เหมาะสมที่น่าพิจารณาด้วยเช่นกัน แต่จะสร้างบ่อหมักที่มีขนาดเท่าใดนั้นจะต้องพิจารณาจากจำนวนสุกรที่เลี้ยงอยู่เป็นหลัก สำหรับบ่อหมักที่ส่งเสริมให้สร้างในปัจจุบันมีอยู่ 5 ขนาด คือ ขนาด 8 12 16 30 50 และ 100 ลูกบาศก์เมตร โดยบ่อหมักที่มีขนาดเล็กที่สุด 8 ลูกบาศก์เมตร สามารถรองรับของเสียจากสุกรขั้นต่ำ 16 ตัวขึ้นไป และขนาดใหญ่ที่สุด 100 ลูกบาศก์เมตร สามารถรองรับของเสียจากสุกรได้ประมาณ 500 ตัว

2) ในกรณีของฟาร์มสุกรขนาดกลาง และฟาร์มขนาดใหญ่ระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสม ได้แก่ ระบบก๊าซชีวภาพร่วมกับระบบบำบัดแบบเติมอากาศโดยน้ำเสียจะถูกส่งเข้ามายังระบบก๊าซชีวภาพ เพื่อทำการบำบัดในขั้นต้น จากนั้นน้ำทิ้งจะถูกส่งต่อไปยังระบบบำบัดแบบเติมอากาศ เพื่อทำการบำบัดเพิ่มเติมจนมีคุณภาพน้ำได้ตามมาตรฐาน ข้อดีของระบบบำบัดแบบนี้ คือ สามารถนำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะสามารถชดเชยค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดได้ส่วนหนึ่ง ส่วนประเภทของระบบบำบัดแบบเติมอากาศที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ ค่าลงทุน ซึ่งเป็นข้อจำกัดของฟาร์มแต่ละแห่ง จากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ ได้เสนอแนวทางการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่เหมาะสมไว้ 3 รูปแบบ ได้แก่

2.1) การใช้ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียในฟาร์มสุกร (pond system on farm) ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่มีจำนวนสุกรน้อยกว่า 500 ตัว โดยระบบบ่อบำบัดน้ำเสียจะมีลักษณะเป็นระบบบ่อหมัก/บ่อผึ่ง หรือเรียกรวมว่า บ่อปรับเสถียร ซึ่งสามารถบำบัดน้ำเสียจนมีค่าบีโอดี ในน้ำทิ้งจากบ่อสุดท้ายประมาณ 60 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2) การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศต่อเชื่อมกับระบบแบบเติมอากาศในฟาร์มสุกร (Anaerobic treatment and aerobic post treatment on farm) ซึ่งเหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดกลาง โดยมีจำนวนสุกรตั้งแต่ 500 ตัวขึ้นไป ระบบบำบัดแบบไร้อากาศจะเป็นระบบก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบราง ถังหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วชนิด UASB และลานตากตะกอนของแข็ง ระบบบำบัดแบบไร้อากาศนี้สามารถลดความเข้มข้นค่าบีโอดี ในน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทิ้งได้เหลือประมาณ 150 มิลลิกรัม/ลิตร ต่อเชื่อมกับระบบบำบัดแบบเติมอากาศซึ่งจะสามารถบำบัดน้ำเสียจนมีค่าบีโอดี ในน้ำทิ้งสุดท้ายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้

2.3) การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในฟาร์มสุกรแต่ละแห่งต่อเชื่อมกับระบบบำบัดน้ำเสียชนิดเติมอากาศแบบรวม ซึ่งเหมาะสมสำหรับฟาร์มสุกรขนาดใหญ่และมีจำนวนสุกรมากกว่า 60,000 ตัว โดยมีระบบบำบัดน้ำเสียแบบก๊าซชีวภาพ ต่อเชื่อมกับระบบบำบัดน้ำเสียชนิดเติมอากาศส่วนกลาง ซึ่งรวบรวมน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดใหญ่หลายแห่งที่รวมกลุ่มกันจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นระบบบำบัดส่วนกลางนี้จะสามารถบำบัดน้ำเสียจนมีค่าบีโอดี ในน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐาน ซึ่งรูปแบบการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ได้เสนอมานี้มีความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้ แต่ว่าจะต้องมีการลงทุนที่สูง ผู้ประกอบการยังไม่เชื่อมั่นในเรื่องของความคุ้มทุนของระบบจึงไม่มีการนำไปปฏิบัติ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

4. องค์ประกอบและคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

4.1 องค์ประกอบ และคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ biogas หรือ marsh gas เป็นผลพลอยได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์ อุจจาระ น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยการย่อยของจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งในสภาพขาดออกซิเจน ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ มากมาย ได้แก่ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และอื่น ๆ โดยก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบสำคัญซึ่งค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพขึ้นกับปริมาณของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพนั้น ส่วนประกอบของก๊าซที่ได้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของประเภทของสารอินทรีย์ อุณหภูมิ และเวลาในการย่อยสลาย องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 6

ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นโดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุรินทรีย์ จนเกิดเป็นก๊าซชีวภาพ สารอินทรีย์ที่ใช้ในการสร้างก๊าซชีวภาพ ได้แก่ เศษอาหารที่ย่อยไม่ได้และถูกขับออกจากร่างกายสัตว์ ซึ่งประกอบด้วยสารที่ใช้สร้างก๊าซชีวภาพ คือ เซลลูโลส (Cellulose) ,โปรตีน (Protein) , ลิกนิน (Lignin) , แป้งและน้ำตาล (Tanin) ,ไขมัน (Fit) ,กรดนิวคลีอิค (Nucleic acid) , แอลกอฮอล (Alcohol)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัวการสร้างก๊าซชีวภาพ ได้แก่จุลินทรีย์บางกลุ่มจะย่อยสลายมูลสัตว์จนมีอนุภาคเล็กลง และได้สารที่จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic bacteria) นำไปสร้างก๊าซมีเทนในที่สุด โดยมีการแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน คือ

1) การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolytic stage) เป็นปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบรไฮเดรต ไขมัน โปรตีน โดยกลุ่มของแบคทีเรีย ให้เป็นโมเลกุลเล็กละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กลีเซอรอล เป็นต้น ในขณะเดียวกัน ผลจากปฏิกริยาย่อยสลายนี้ก็จะเป็นก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งแอลกอฮอล จากนั้นปฏิกริยานี้จึงทำให้สภาพในบ่อหมักมีความเป็นกรด และแบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพความเป็นกรดจะทำหน้าที่ต่อไป

2) การสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Stage) การสร้างกรดอะซิติก จากกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยแบคทีเรียที่สร้างกรดอะซิติก ในขณะเดียวกันผลจากปฏิกิริยานี้ก็จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ ที่จะปนอยู่ในก๊าซชีวภาพ

3) การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic Stage) ปฏิกริยาการสร้างก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียชนิดที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methane Produing หรือ Methanogenic Micro Organism) ซึ่งมีอยู่หลายชนิดและเป็นแบคทีเรียที่ต้องอยู่ในสภาวะที่ปราศจากอ๊อกซิเจน ถ้ามีออกซิเจนเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้แบคทีเรียพวกนี้หยุดการเจริญเติบโต ก๊าซมีเทนอาจเกิดจากปฏิกริยาระหว่างกรดอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติกกับน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน

ตารางที่ 6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ	องค์ประกอบ (% โดยปริมาตร)
มีเทน (CH_4)	40-80
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	30-60
ไฮโดรเจน (H_2)	0-1
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	0-3

ที่มา: นันทิยา, 2545

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนประกอบสำคัญของก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซมีเทน เนื่องจากเป็นก๊าซที่มีความร้อน ที่สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ โดยปกติมีเทนบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน จะมีความร้อน 34,000 กิโลจูล/ลูกบาศก์เมตร สำหรับก๊าซชีวภาพที่มี มีเทนเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 40 – 80 จะให้ค่าความร้อนประมาณ 13,720 – 27,440 กิโลจูล/ลูกบาศก์เมตร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2551)

4.2 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน หรือใช้แทนเชื้อเพลิงอื่นได้ โดยจากปริมาณก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนร้อยละ 60 มีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 18.84 – 26.38 เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนเชื้อเพลิง หรือพลังงานต่าง ๆ ได้ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความสามารถในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ทดแทนพลังงานอื่น โดยใช้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนร้อยละ 60 มีค่าความร้อนระหว่าง 18.84 – 26.38 เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร

ชนิดของพลังงาน	ปริมาณพลังงาน	
ก๊าซ liquefied petroleum gas (LPG)	0.46	กิโลกรัม
ไฟฟ้า	1.2	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
น้ำมันเตา	0.55	ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.4	กิโลกรัม
น้ำมันเบนซิน	0.6	กิโลกรัม
ถ่านหิน	0.8	กิโลกรัม
ถ่านไม้	1.6	กิโลกรัม

ที่มา: นันทิยา, 2545

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างดีสำหรับหุงต้มอาหาร จุดตะเกียงเพื่อให้แสงสว่างและใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ หรือแทรกเตอร์สำหรับการเกษตร ปริมาณความต้องการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับเป็นเชื้อเพลิงต่าง ๆ ในการนำก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักไปใช้ประโยชน์ จำเป็นจะต้องมีระบบจัดการกับก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ระบบการจัดการก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประกอบด้วย

1) การรวบรวมก๊าซชีวภาพ (Gas Handling)
2) การเก็บก๊าซชีวภาพ (Gas Storage)
3) การทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ (Gas Purification)
4) การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ (Gas Utilization) (ชวลิต, 2543)

4.2.1 การนำก๊าซชีวภาพมาเป็นแหล่งพลังงานทดแทนในฟาร์มขนาดเล็ก

จากผลการประเมินโครงการส่งเสริมก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เพื่อเป็นพลังงานทดแทนและปรับปรุงสิ่งแวดล้อมโดยสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีได้สรุปลักษณะการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในฟาร์มขนาดเล็ก พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ที่เข้าร่วมโครงการจะมีการใช้ก๊าซชีวภาพกับเตาหุงต้มในครัวเรือน ประมาณร้อยละ 97 ของกลุ่มตัวอย่างที่สำรวจ ประมาณร้อยละ 24 ของกลุ่มตัวอย่างที่สำรวจ ใช้กับตะเกียงให้แสงสว่าง นอกจากนั้นมีการใช้ก๊าซชีวภาพกับเครื่องให้ความอบอุ่นสัตว์ เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องยนต์ และเตาอบ โดยก่อนที่จะมีบ่อก๊าซชีวภาพ เกษตรกรมีการใช้พลังงานจากหลายแห่ง ที่สำคัญได้แก่ ก๊าซ LPG ที่ใช้เพื่อการหุงต้มอาหารในครัวเรือนเป็นส่วนใหญ่ แต่ทั้งนี้ยังมีครัวเรือนอื่นที่ยังคงใช้ถ่านฟืน ร้อยละ 40 แต่เมื่อมีบ่อก๊าซชีวภาพแล้วก๊าซที่ผลิตได้สามารถนำไปทดแทนการใช้พลังงานในรูปแบบเดิมได้มาก แต่การใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อทดแทนก๊าซ LPG ยังมีปัญหาอยู่บ้าง โดยเฉพาะในการหุงต้มในช่วงเวลารีบเร่ง เนื่องจากความแรงของก๊าซไม่สามารถเร่งได้ และปัญหาการอุดตันของหัวเตาก๊าซ การสึกกร่อนของอุปกรณ์ แต่อย่างไรก็ตามจากการใช้ก๊าซชีวภาพทำให้เกษตรกรประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อพลังงานได้เฉลี่ยระหว่าง 280 – 1,200 บาท/เดือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2.2 การนำก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทนในฟาร์มขนาดกลางและขนาดใหญ่

ระบบก๊าซชีวภาพที่สร้างขึ้นตามโครงการ สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 25,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน หรือ 9,125,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี และเมื่อคิดอายุโครงการ 15 ปีจะได้ก๊าซชีวภาพ 136,875,000 ลูกบาศก์เมตร โดยสามารถทดแทนการใช้ก๊าซ LPG ได้ 62,962,500 กิโลกรัม/ 15 ปี หรือสามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้า 164,250,000 กิโลวัตต์- ชั่วโมง/ 15 ปี จากผลการประเมินโครงการส่งเสริมก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เพื่อเป็นพลังงานทดแทนและปรับปรุงสิ่งแวดล้อมโดยสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีได้สรุปลักษณะการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในฟาร์มขนาดกลางและขนาดใหญ่ พบว่าลักษณะการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์จะแตกต่างกับฟาร์มขนาดเล็ก โดยเน้นไปที่การนำไปผลิตไฟฟ้า เนื่องจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีปริมาณมากพอที่จะนำไปผลิตไฟฟ้า โดยสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าตั้งแต่ 20,000 – 120,000 บาท/เดือน นอกจากนี้ยังมีบางฟาร์มที่ใช้ก๊าซเป็นแหล่งความร้อนโดยตรงโดยใช้กับเครื่องกกลูกสุกร ทำให้ไม่ต้องซื้อก๊าซ LPG เพื่อใช้กับหัวกกลูกหมูและประหยัดเงินได้ถึง 60,000 บาท/เดือน แต่อย่างไรก็ตามการนำก๊าซไปใช้ยังมีปัญหาในเรื่องการสึกกร่อนของเครื่องยนต์และอุปกรณ์เสียงเครื่องยนต์รบกวนชาวบ้านข้างเคียงหัวกกลูกสุกรเกิดการอุดตัน (สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544)

5. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับคาร์บอนเครดิต

5.1 ความหมายของคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit)

คาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) คือสินค้าชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นเอกสิทธิ์ของปริมาณ ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ที่ลดได้ซึ่งประกอบด้วยก๊าซ 6 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) มีเทน (Methane) ไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrofluorocarbon) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (Perfluocarbons) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulphur Hexafluoride) คาร์บอนเครดิตเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกผ่านกลไกสำคัญที่เรียกว่า Cap and Trade นั่นคือการที่ประเทศพัฒนาแล้วต่าง ๆ ถูกกำหนดโควตาก๊าซเรือนกระจกที่ตนสามารถปล่อยได้ ประเทศใดที่สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าโควตาของตนเองก็จะสามารถขายโควตาที่เหลือให้กับประเทศอื่นๆที่ไม่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ตามที่ถูกกำหนดโควตาไว้สำหรับประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลายก็

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถผลิตคาร์บอนเครดิตได้ โดยการพัฒนาโครงการขึ้นเอง หรือร่วมทุนกับประเทศที่พัฒนาแล้วในการดำเนินโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism , CDM) ที่ได้รับการรับรองว่ามีส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างแท้จริง การซื้อขายคาร์บอนเครดิตนั้นทำในตลาดที่เรียกว่าตลาดคาร์บอน (Carbon Market) ราคาที่ซื้อขายนั้นเป็นไปตามกลไกตลาด โดยคาร์บอนเครดิตจะถูกนำไปคิดรวมในบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศต่าง ๆ ทั้งประเทศผู้ขายและประเทศผู้ซื้อคาร์บอนเครดิตเป็นสินค้าที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลาที่มีการดำเนินโครงการ

5.2 ความเป็นมาของโครงการคาร์บอนเครดิต

ปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เนื่องจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจของมนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งนำไปสู่ปรากฏการณ์ที่เรียกว่าสภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) หรือภาวะโลกร้อน (Global -Warming) จากสภาพดังกล่าว ประเทศต่างๆ ได้มีความพยายามร่วมกันที่จะแก้ไขปัญหาโลกร้อน โดยในปี พ.ศ. 2535 ประเทศต่างๆ ได้บรรลุข้อตกลงที่เรียกว่า อนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change , UNFCCC) ซึ่งได้มีการแบ่งกลุ่มประเทศภาคีสมาชิก 191 ประเทศออกเป็นสองกลุ่มได้แก่ กลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว (Annex I countries) จำนวน 41 ประเทศ และกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา (Non-Annex I) จำนวน 150 ประเทศ อนุสัญญา มีหลักการสำคัญคือการเรียกร้องให้ประเทศพัฒนาแล้วเป็นผู้นำในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และให้ประเทศกำลังพัฒนาดำเนินการตามความสามารถของตน อนุสัญญานี้ไม่มีผลบังคับใช้ทางกฎหมายอย่างแท้จริง โดยการลดก๊าซเรือนกระจกนั้นยังขึ้นอยู่กับความสมัครใจของประเทศภาคี ดังนั้น ในปี พ.ศ. 2540 จึงได้มีการทำข้อตกลงเพิ่มเติมได้แก่ พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ซึ่งมีผลบังคับทางกฎหมายโดยกำหนดให้กลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว (Annex I countries) 1 จะต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 5 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยในปี พ.ศ. 2533 ภายในปี พ.ศ. 2552 สำหรับกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา (Non-Annex I) นั้นไม่ถูกบังคับให้ต้องลดก๊าซเรือนกระจก มีเพียงพันธกรณีในการส่งรายงานแห่งชาติ (National Communication) และสนับสนุนการดำเนินงานการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศตามอนุสัญญา พิธีสารเกียวโตมีกลไก 3 ประการที่กำหนดไว้ว่าภาคีสมาชิกต้องดำเนินการ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พิธีสารเกียวโตได้กำหนดกลไกยืดหยุ่น (Flexibility Mechanisms) ขึ้น 3 กลไกดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1) กลไกการทำโครงการร่วม (Joint Implementation , JI) ตามที่ระบุไว้ในมาตรา 6 ซึ่งกำหนดให้ประเทศพัฒนาแล้วสามารถดำเนินโครงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร่วมกันเองระหว่างประเทศในกลุ่ม ภาคผนวกที่ 1 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้เรียกว่า (Emission Reduction Units , ERUs)

2) กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism , CDM) ตามที่ระบุไว้ในมาตรา 12 ซึ่งกำหนดให้ประเทศในภาคผนวกที่ 1 สามารถดำเนินโครงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร่วมกับประเทศกำลังพัฒนาหรือประเทศในกลุ่ม Non-Annex ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จะต้องผ่านการรับรองจึงเรียกว่า (Certified Emission Reduction , CERs)

3) กลไกการซื้อขายสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Trading , ET)ตามที่ระบุไว้ในมาตรา 17 ซึ่งกำหนดให้ประเทศในภาคผนวกที่ 1 ที่ไม่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศตามที่กำหนดไว้ได้สามารถซื้อสิทธิ์การปล่อยจากประเทศในภาคผนวกที่ 1 ด้วยกันเองที่มีสิทธิ์การปล่อยเหลือ อาจเป็นเครดิตที่เหลือจากการทำโครงการ JI และ CDM หรือ สิทธิ์การปล่อยที่เหลือเนื่องจากระบบเศรษฐกิจทำให้ปริมาณการปล่อยในปัจจุบันน้อยกว่าปริมาณการปล่อยเมื่อปี ค.ศ. 1990 จึงมีสิทธิ์การปล่อยเหลือพร้อมที่จะขายได้ เรียกสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะซื้อขายกันนี้ว่า (Assigned Amount Units, AAUs)

ตัวอย่างการซื้อขายคาร์บอนเครดิตเช่นประเทศ A อยู่ในยุโรปถูกกำหนดให้ลดก๊าซเรือนกระจก 50 ล้านตันแต่โรงงานอุตสาหกรรมหรือโครงการที่มีในประเทศ A พยายามลดแล้วลดได้เพียง 30 ล้านตันจึงต้องไปซื้อคาร์บอนเครดิตจากประเทศกำลังพัฒนามาอีก 20 ล้านตันไม่เช่นนั้นจะโดนปรับตันละ 3,000 บาท หรือประมาณ 6 หมื่นล้านบาทประเทศ A จึงติดต่อไปที่ฟาร์มเลี้ยงหมูขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในประเทศ B เพื่อช่วยสร้างโรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ เมื่อสร้างเสร็จ ทำให้ต้นทุนค่าไฟฟ้าฟาร์มหมูลดลงเดือนละ 2 ล้านบาท ถือเป็นการลดจำนวนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม สมมติว่าลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ปีละ 1 ล้านตันจำนวนที่ลดได้จะถูกเรียกว่า คาร์บอนเครดิต ซึ่งประเทศ A จะได้คาร์บอนเครดิต 1 ล้านตันไปรวมกับ 30 ล้านตันที่มีอยู่หรือในอนาคตฟาร์มหมูที่อยู่ใกล้เคียงอาจใช้เทคโนโลยีเดียวกัน มาลงทุนสร้างโรงงานไฟฟ้าก๊าซชีวภาพเองแล้วขายคาร์บอนเครดิตให้ประเทศ A ก็ได้ โดยทั่วไป โครงการ CDM อาจแบ่งตามลักษณะโครงสร้างการลงทุนได้หลายแบบ เช่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1) Unilateral CDM ซึ่งเป็นการลงทุนพัฒนาโครงการขนาดเล็กโดยประเทศกำลังพัฒนาเอง และนำ CERs ที่ได้ไปขายให้กับประเทศพัฒนาแล้ว

2) Bilateral CDM เป็นการร่วมมือกันระหว่างประเทศแล้วและประเทศกำลังพัฒนา โดยประเทศพัฒนาแล้วอาจเป็นผู้ลงทุนเองทั้งหมดหรือเฉพาะบางส่วน โดยโครงการที่ดำเนินนั้นจะต้องอยู่ในประเทศกำลังพัฒนา

3) Multilateral CDM คือ โครงการกลไกพัฒนาที่สะอาดที่ประเทศพัฒนาแล้วลงทุนผ่านกองทุน และได้รับ CERs ตอบแทนตามสัดส่วนการลงทุน

4) Hybrid Model หรือ Integration Approach เช่น การจัดตั้งกองทุน CDM แห่งชาติเพื่อรับซื้อ CERs และนำไปขายในตลาดโลก กองทุนดังกล่าวจำเป็นต้องมีสภาพคล่องสูงเนื่องจากการขาย CERs อาจใช้เวลานาน

คาร์บอนเครดิตในตลาดมีหลายประเภท แต่ราคาคาร์บอนเครดิตแต่ละประเภทนั้นมีความแตกต่างกัน เช่น คาร์บอนเครดิตประเภท CERs นั้น จะมีราคาต่ำกว่าราคาคาร์บอนเครดิตประเภท AAUs เพราะในการคิดราคา CERs จะต้องมีการนำต้นทุนในการลงทุนโครงการ ปัจจัยความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของปริมาณก๊าซที่ลดได้รวมคำนวณเข้าด้วย ในขณะที่คาร์บอนเครดิตประเภท AAUs นั้นไม่มีต้นทุนใดๆ เพราะเป็นเครดิตที่ได้รับจากพันธกรณีในพิธีสารเกียวโตโดยตรง นอกจากนั้นคาร์บอนเครดิต ยังเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา (Renewable) ดังนั้น หากกลุ่มกำลังพัฒนาที่ยังไม่มีบัญชีการเก็บสะสมปริมาณคาร์บอนเครดิต (Registry) หรือยังไม่ได้ขายคาร์บอนเครดิตออกไปหรือไม่มีผู้ซื้อ คาร์บอนเครดิตก็จะสูญหายไปในอากาศกลายเป็นการลงทุนที่สูญเปล่าในทันที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.3 การซื้อขายคาร์บอนเครดิต

ผู้ซื้อ CERs รายใหญ่ของโลกก็คือ corporate buyers จากสหภาพยุโรปที่จำเป็นต้องซื้อคาร์บอนเครดิตเพื่อไปชดเชยกับปริมาณคาร์บอนที่ตนเองปล่อยออกมา ผู้ซื้อที่สำคัญรายอื่นๆ นอกเหนือไปจาก corporate buyer จากสหภาพยุโรป คือ ญี่ปุ่น ซึ่งมีทั้งที่เป็นหน่วยงานภาครัฐ และบริษัทภาคเอกชน ส่วนแหล่งที่มาของ CERs หรือที่ตั้งของโครงการ CDM นั้นพบว่าที่ผ่านมา จีนเป็นผู้ผลิต CERs รายใหญ่ของโลก โดย CERs ที่มาจากจีนนั้นมากถึงประมาณร้อยละ 60 ของ CERs ทั่วโลก รองลงมาได้แก่ CERs ที่มาจากอินเดีย บราซิล และประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆ สำหรับราคา CERs ที่มีการซื้อขายกันอยู่นั้นขึ้นอยู่กับอุปสงค์และอุปทานของคาร์บอนเครดิตในตลาด ซึ่งจากการประมาณการของ Deutsche Bank พบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2555 ประเทศในยุโรป ญี่ปุ่น และแคนนาดาคาดว่าจะมีความต้องการคาร์บอนเครดิต (AAU Shortage) ประมาณ 700 mio tones /ปี คำนวณจากอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนในปี 2003 ในขณะที่ประเทศยุโรปตะวันออกคาดว่าจะมีคาร์บอนเครดิตเหลือ (AAU Surplus) ประมาณ 2,050 mio tones/ปี ซึ่งหมายความว่าเมื่อมีการซื้อขายกันระหว่างสองฝ่ายแล้วก็ยังอาจจะมีปริมาณคาร์บอนเครดิตเหลืออยู่ใน Kyoto System ประมาณ 1.3 bil tones/ปี อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีแนวโน้มว่าอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนในประเทศยุโรปมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจดังนั้น น่าจะส่งผลให้ AAUs ที่เหลือ (AAU surplus) ลดลง แต่ก็ยังไม่อาจทราบได้ว่าจะเหลือประมาณเท่าไหร่ อย่างไรก็ตาม ปริมาณ AAUs ที่เหลือใน Kyoto System นั้นเป็นประเด็นที่มีนัยสำคัญต่อราคาคาร์บอนเครดิตประเภทอื่นได้แก่ CERs และ ERUs เนื่องจาก ยิ่งถ้ามี AAUs เหลือใน Kyoto System มากก็ยิ่งจะเป็นแรงกดดันให้ราคา CERs และ ERUs ลดลง เนื่องจาก AAUs เป็นคาร์บอนเครดิตที่มีความเสี่ยงน้อยกว่า ซึ่งที่ผ่านมาคาร์บอนเครดิตที่เป็น AAUs จากประเทศยุโรปอาจไม่ได้รับความนิยมจากผู้ซื้อมากนักเพราะถูกมองว่าไม่ได้มีส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จริง

แนวโน้มในปัจจุบันเริ่มเปลี่ยนไปเห็นได้จากการที่ญี่ปุ่นเริ่มประกาศว่าจะซื้อ AAUs จากยูเครน และนอกจากนี้ยังมีแนวโน้มว่าการซื้อขาย AAUs ในระดับรัฐบาลระหว่างประเทศนั้นน่าจะเพิ่มมากขึ้น AAUs ในที่นี้ส่วนมากจะเป็น Greened AAUs ซึ่งหมายถึงรายได้จากการขาย AAUs ถูกนำไปใช้ลงทุนในโครงการที่ช่วยเหลือทางด้านสิ่งแวดล้อม ถ้าเป็นเช่นนั้นก็จะส่งผลให้เกิดแรงกดดันทางด้านราคาแก่ CERs และ ERUs ต่อไป จากแนวโน้มดังกล่าวเห็นได้ว่าเจ้าของโครงการ CDM นั้นมีโอกาสที่จะเผชิญความเสี่ยงในเรื่องของการที่จะมีปริมาณ CERs มากเกินไปใน Kyoto System ดังนั้นเจ้าของโครงการ CDM จึงจำเป็นจะต้องมีการศึกษาความเคลื่อนไหวของตลาดและมีการวางแผนทางด้านการเงินในระยะยาว รวมทั้งอาจจะต้องมีการทำประกันความเสี่ยงด้านราคา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจุบันมูลค่าตลาดการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในตลาดโลกขยายตัวอย่างรวดเร็วมาก โดยในปี พ.ศ. 2549 มูลค่าตลาดขยายตัวเป็น 25,000 ล้านดอลล่าร์สหรัฐ ซึ่งขยายตัวสูงขึ้นถึง 3 เท่าเมื่อเทียบกับปี 2548 ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 8,000 ล้านดอลล่าร์สหรัฐ การเติบโตของการค้าคาร์บอนเครดิตทำให้โครงสร้างของตลาดมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ห่วงโซ่การผลิตคาร์บอนเครดิตตั้งแต่ผู้ผลิตคาร์บอนเครดิต (Supplier or Project Owners) ตัวกลางในการซื้อขาย (Intermediary) จนไปถึงผู้ซื้อ (End User) แต่ตลาดคาร์บอนเครดิตยังมีอยู่หลายแห่ง และกระจัดกระจายอยู่ทั่วโลก (Fragmented) ซึ่งแต่ละแห่งมีรูปแบบการดำเนินงาน และการซื้อขายคาร์บอนเครดิตที่แตกต่างและเป็นเอกเทศ

ทำให้ปัจจุบันยังไม่มี Global Price Signals ในตลาดคาร์บอนเครดิตอย่างแท้จริง ปัจจุบันตลาดคาร์บอนเครดิตมีแนวโน้มการเติบโตอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว ทำให้คาร์บอนเครดิต ได้แก่ CERs และ ERUs กลายมาเป็นสินค้าทางการเงินตัวใหม่ (New Financial Services) ที่มีความน่าดึงดูดใจเป็นอย่างมากต่อสถาบันการเงินระหว่างประเทศต่างๆ จึงทำให้สถาบันการเงินเหล่านี้จะได้เข้ามาเป็นตัวกลาง (Intermediary) ในการซื้อขายในตลาด เนื่องจากการดำเนินโครงการ CDM/JI นั้น ถือว่าเป็นโครงการที่ช่วยสนับสนุนการรักษาสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศต่างๆ สถาบันการเงินระหว่างประเทศทั้งหลายจึงเข้ามามีส่วนให้ความช่วยเหลือทางด้านการเงิน การพัฒนาด้านเทคนิค รวมไปถึงทางด้านการตลาดแก่ทั้งรัฐบาลของประเทศกำลังพัฒนา และเจ้าของโครงการ CDM/JI โดยตรง สรุปคือบทบาทที่สำคัญของเหล่าสถาบันการเงินระหว่างประเทศ และสถาบันการเงินเอกชนต่างๆ นี้ ประกอบไปด้วย

1) การให้เงินกู้แก่โครงการ CDM/JI ที่สามารถผลิตคาร์บอนเครดิต (Financing)

2) การเป็นนายหน้าระหว่างผู้ซื้อผู้ขายคาร์บอนเครดิต (Brokers)

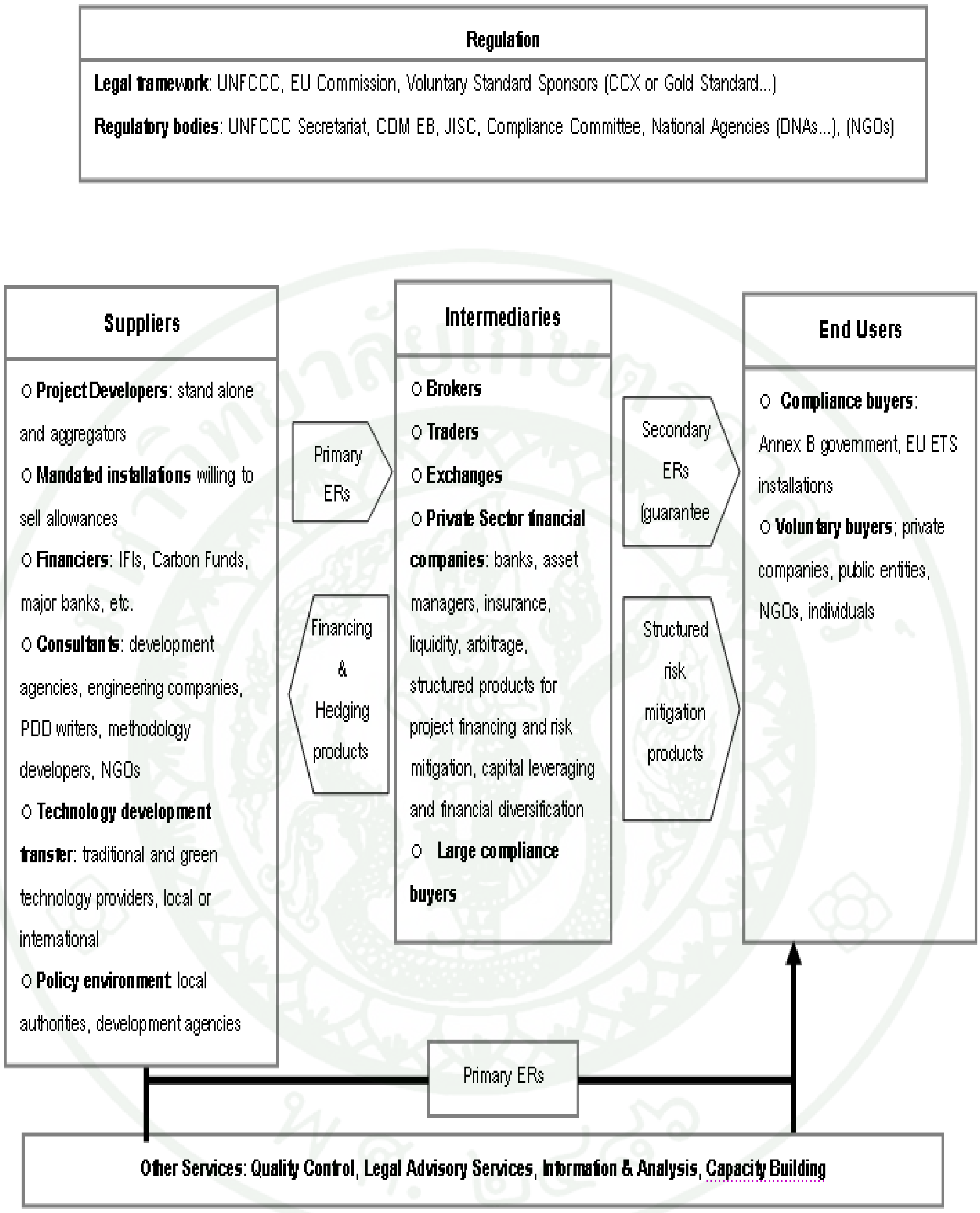
3) การเป็นผู้ซื้อผู้ขายโดยตรง (Trader of CERs หรือ ERUs)

4) การเป็นที่ปรึกษาทางด้านการเงิน และด้านเทคนิคให้แก่เจ้าของโครงการ CDM/JI คาร์บอน (Providing Advisory Services) เพื่อให้โครงการ CDM/JI มีคุณสมบัติที่สามารถได้รับ CERs หรือ ERUs เพื่อนำไปขายได้ เมื่อตลาดคาร์บอนเครดิตเริ่มขยายตัวและมีความซับซ้อนมากขึ้น ก็ได้มีความพยายามในการพัฒนานวัตกรรมทางการเงินใหม่ๆ เพื่อเพิ่มสภาพคล่องในตลาด รวมทั้งเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ซื้อผู้ขายคาร์บอนเครดิต เช่น การแปลงรายรับจากคาร์บอนเครดิตในอนาคตเป็นทุน(Securitization) การรับประกันการส่งมอบคาร์บอนเครดิต การคิดค้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุพันธ์การเงิน (Financial Derivative) ที่มีคาร์บอนเครดิตที่มีทรัพย์สินอ้างอิง (Underlying Assets) การทำประกัน (Insurance) และการให้ค้ำประกัน (Guarantee) เพื่อลดความเสี่ยงในการซื้อขายคาร์บอนเครดิต การออกพันธบัตรคาร์บอน (Carbon-linked Bond Transactions) รวมไปถึงธุรกิจที่เกี่ยวกับคาร์บอนเครดิตในรูปแบบอื่นๆ อีกมากมาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 โครงสร้างตลาดคาร์บอน

ที่มา: องค์กรบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.4 บทบาทของสถาบันการเงิน

สถาบันการเงินภาคเอกชนในต่างประเทศนั้นถือได้ว่ามีบทบาทสำคัญในตลาดคาร์บอนเครดิตเป็นอย่างมาก จุดแข็งที่สำคัญของสถาบันการเงินเหล่านี้ก็คือการเป็นกลุ่มธุรกิจการเงินข้ามชาติ Global Financial Group ขนาดใหญ่ทำให้มีเครือข่ายลูกค้าจำนวนมากที่เข้าถึงได้ จึงสามารถทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมโยงระหว่างเจ้าของโครงการที่ต้องการขายคาร์บอนเครดิตกับผู้ซื้อไม่ว่าจะเป็นผู้ซื้อที่เป็นรัฐบาลของประเทศต่างๆ (Sovereign Buyer) หรือผู้ซื้อที่เป็นบริษัทเอกชน (Corporate Buyer) โดยทั่วไปบทบาทของสถาบันการเงินได้ให้บริการด้านการเงินได้อย่างครบวงจร ได้แก่

1) การเป็นแหล่งเงินทุนทั้งในรูปแบบการให้เงินกู้ (Loan) หรือ การร่วมลงทุน (Equity) แก่เจ้าของโครงการ (Project Owners)

2) การเป็นนายหน้าหรือตัวกลางซื้อขาย (Broker) และการเป็น (Trustee) ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย ซึ่งได้แก่เจ้าของโครงการ

3) การให้บริการทางด้านคำปรึกษา (Providing Advisory Services) ทั้งด้านเทคนิคและการเงินเพื่อให้โครงการ CDM/JI มีคุณสมบัติที่สามารถได้รับ CERs หรือ ERUs แก่เจ้าของโครงการเพื่อนำไปขายได้

4) การเป็นผู้ซื้อ/ผู้ขาย คาร์บอนเครดิตโดยตรงในตลาด Carbon Exchange จากการแลกเปลี่ยนประสบการณ์การเป็นที่ปรึกษาโครงการของสถาบันการเงินดังกล่าวในกาสัมมนา พบว่าในการดำเนินโครงการ CDM นั้นมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และใช้ระยะเวลานานไม่ว่าจะเป็นค่าใช้จ่ายจากการได้การรับรองจาก DNA ก่อนที่จะเริ่มดำเนินโครงการ รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบ และการกำกับดูควบคุม (Monitoring & Verification) จนกว่าจะได้รับ CER และค่าใช้จ่ายในการออก CERs ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้ส่วนหนึ่งอาจจะสามารถผลักไปให้ผู้ซื้อเป็นผู้รับผิดชอบได้ แต่อย่างไรก็ตาม เจ้าของโครงการเองก็ยังคงต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น นอกจากนั้นกรณีที่เจ้าของโครงการยังไม่ได้ตกลงการซื้อขาย CERs ตั้งแต่เริ่มพัฒนาโครงการ (จัดทำ PDD) หรือซื้อขายในช่วงขั้นตอนอื่น ๆ รอจนกระทั่งได้รับการตรวจสอบจึงจะมีรายได้เข้ามา ซึ่งอาจจะใช้เวลาอย่างน้อยถึงหนึ่งปีกว่าที่เจ้าของโครงการจะเริ่มมีรายรับจากการขาย CERs ในเรื่องความแตกต่างระหว่างการดำเนินโครงการทั่วไปกับการดำเนินโครงการ CDM จากมุมมองของสถาบันการเงินนั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พบว่า การดำเนินโครงการ CDM จะต้องคำนึงถึงหลักการที่เรียกว่า (Additionality10) อาจไม่ได้รับการยอมรับจาก CDMEB ในเรื่องของ Additionality อาจจะส่งผลให้โครงการไม่ได้รับการรับรองว่าเป็นโครงการ CDM ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงในการดำเนินโครงการอย่างหนึ่ง (Additionality Risk) ที่สถาบันการเงินจะต้องคำนึงถึงในการให้เงินกู้ จากหลักการดังกล่าวนี้ทำให้วิธีการประเมินโครงการ CDM นั้นจึงแตกต่างจากการประเมินโครงการทั่วไป ในกรณีโครงการทั่วไปถ้าโครงการมี (Internal Rate of Return , IRR) สูงก็ยิ่งจะทำให้โครงการมีความน่าดึงดูดใจมากขึ้น สถาบันการเงินสนใจปล่อยเงินกู้มากขึ้น แต่สำหรับโครงการ CDM นั้น IRR ของบางโครงการอาจจะไม่สูงเท่าแต่ประเด็นสำคัญคือการที่เจ้าของโครงการจะต้องแส ดงให้เห็นให้ได้ว่าโครงการดังกล่าวนั้นถ้าไม่ได้รับการยอมรับว่าเป็นโครงการ CDM ก็จะไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน นอกจากนี้ การลงทุนในโครงการ CDM นั้นถือได้ว่าเป็นธุรกิจที่มีความเสี่ยงสูง ส่วนหนึ่งเป็นความเสี่ยงเช่นเดียวกับการทำ Project Finance ทั่วไป แต่อีกส่วนหนึ่งเป็นความเสี่ยงที่เกิดจากการซื้อขายคาร์บอนเครดิตโดยเฉพาะ ได้แก่

1) ความเสี่ยงของการดำเนินโครงการ (Operational Risk) ซึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนว่าโครงการ CDM นั้น จะสามารถผลิตคาร์บอนเครดิตในปริมาณที่นำไปขายได้ตามที่คาดการณ์ไว้แต่เดิม

2) ความเสี่ยงทางด้านกฎเกณฑ์ (Regulatory Risk) ซึ่งทำให้เกิดความไม่แน่นอนว่าโครงการจะได้รับการอนุมัติให้เป็นโครงการ CDM หรือไม่ และความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนของตลาดคาร์บอนหลังจาก Kyoto System ใน Phase แรกจบลงในปี พ.ศ. 2555

3) ความเสี่ยงทางด้านตลาด (Market Risk) เนื่องจากคาร์บอนเครดิตที่มีการซื้อขายกันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสัญญาซื้อขายล่วงหน้า ณ ราคาที่เป็น Fixed Price ซึ่งอาจจะเป็นราคาที่สูงหรือต่ำกว่าราคา ณ วันส่งมอบ

4) ความเสี่ยงในระดับประเทศ คือความเสี่ยงที่เกิดจากการที่ประเทศที่โครงการตั้งอยู่นั้นจะปฏิบัติตามพันธกรณีที่มีต่อพิธีสารเกียวโตหรือไม่ ซึ่งความเสี่ยงต่างๆ นี้มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับราคาคาร์บอนเครดิตที่จะขายได้ คาร์บอนเครดิตที่มีความเสี่ยงน้อยมีแนวโน้มที่จะขายได้ราคาสูงในขณะที่คาร์บอนเครดิตที่มีความเสี่ยงสูง ผู้ซื้อต้องเป็นผู้รับความเสี่ยงนั้นก็จะทำให้ขายได้ราคาต่ำลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.5 ประเทศไทยกับตลาดคาร์บอนเครดิต

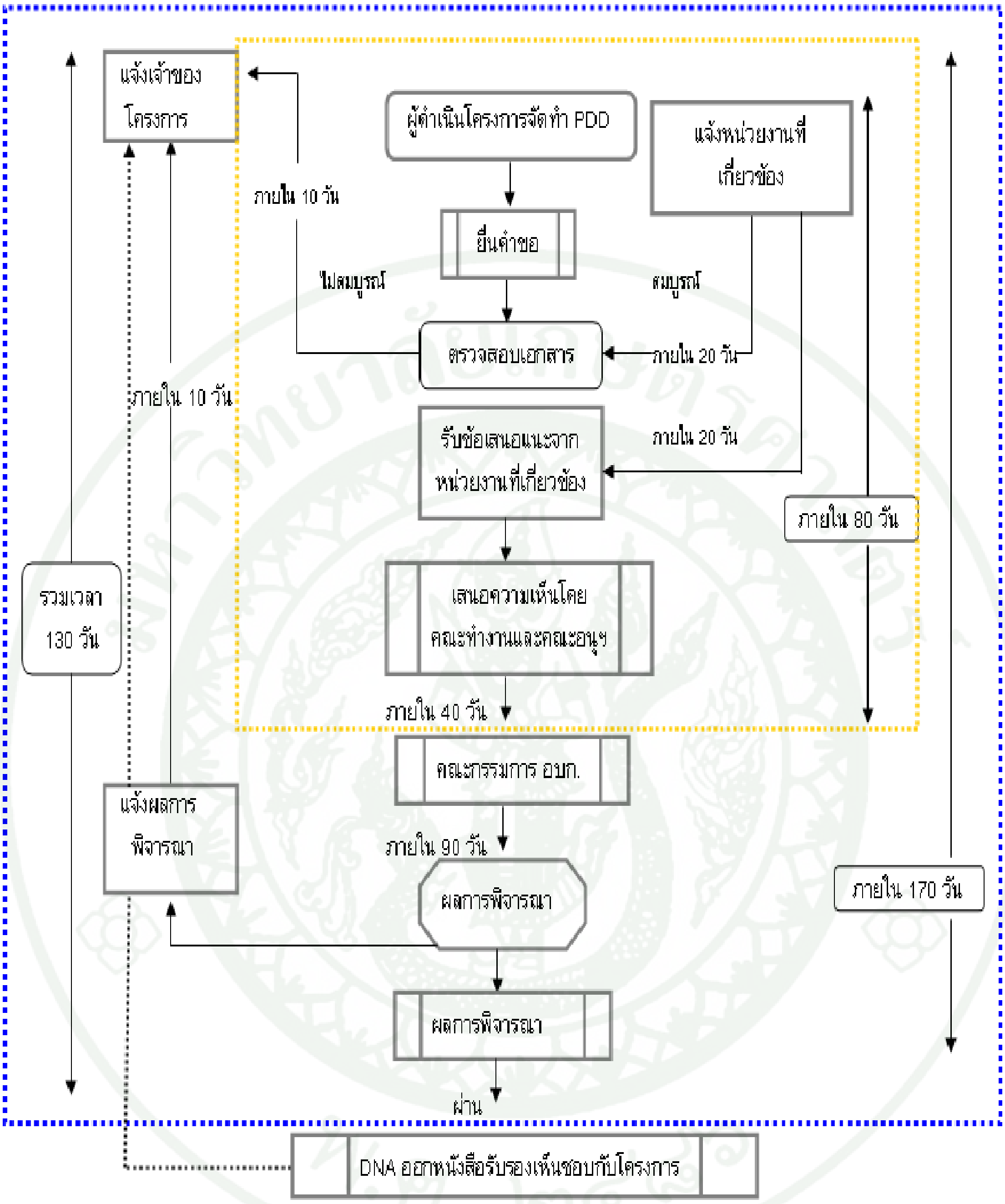
ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันต่อพิธีสารเกียวโตเมื่อ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2545 โดยประเทศไทยถูกจัดให้เป็นประเทศที่อยู่ในกลุ่มประเทศนอกภาคผนวกที่ 1 (Non – Annex1) ซึ่งไม่มีพันธกรณีในการลดก๊าซเรือนกระจก และสามารถมีส่วนร่วมในการซื้อขายคาร์บอนเครดิตได้โดยอาศัยกลไกของการดำเนินโครงการ CDM ในปี พ.ศ. 2542 ประเทศไทยมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 155.8 ล้านตัน คาร์บอนไดออกไซด์ /ปี หรือคิดเป็น 2.4 ตันคาร์บอน/ประชากร 1 คน ซึ่งถือเป็นปริมาณที่สูงเทียบเท่ากับประเทศจีน แต่ยังต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของโลกที่ปริมาณ 3.9 ตันคาร์บอน/ประชากร 1 คน ดังนั้นธุรกิจคาร์บอนเครดิตนับเป็นโอกาสทางธุรกิจที่น่าสนใจ โดยเฉพาะธุรกิจเอกชนที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมาก เช่น ธุรกิจโรงไฟฟ้า ธุรกิจโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานน้ำตาล เป็นต้น ปัจจุบันอุตสาหกรรมไทยที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดได้แก่ ภาคพลังงาน โดยในปี พ.ศ.2546 มีปริมาณการปล่อยสูงถึง 120 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 56 ปริมาณการปล่อยก๊าซทั่วประเทศ รองลงมาได้แก่ ภาคการเกษตร คิดเป็นร้อยละ 24 ภาคการกำจัดของเสีย ร้อยละ 8 ภาคการใช้ที่ดิน และป่าไม้ ร้อยละ 7 และ ภาคการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม ร้อยละ 5 ประเทศไทยค่อนข้างตื่นตัวกับการพัฒนาโครงการ CDM รวมทั้งมีความพยายามในการริเริ่มโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด ใหม่ๆ เพื่อรองรับการซื้อขายปริมาณก๊าซเรือนกระจก นอกจากนี้ ภาครัฐเองก็เริ่มเล็งเห็นความสำคัญและได้เข้ามามีบทบาทให้การสนับสนุนมากขึ้น โดยในปี 2550 ได้มีการออกพระราชกฤษฎีกาเพื่อจัดตั้ง องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน (Thailand Greenhouse Gas Management Organisation หรือ อบก.ทำหน้าที่ในการ วิเคราะห์ กลั่นกรอง และทำความเห็นเกี่ยวกับการให้การรับรองโครงการที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามกลไกการพัฒนาที่สะอาด และสนับสนุนการพัฒนาโครงการและการตลาดซื้อขายปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ได้รับการรับรอง รวมทั้งติดตามประเมินผลโครงการที่ได้รับคำรับรอง ซึ่งทำหน้าที่เป็น (Designated National Authority , DNA) ของประเทศไทย

ผู้ดำเนินโครงการจะต้องออกแบบลักษณะของโครงการและจัดทำเอกสารประกอบโครงการ (Project Design Document , PDD) โดยมีการกำหนดขอบเขตของโครงการ วิธีการคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจก วิธีการในการติดตามผลการลดก๊าซ การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะต้องได้รับหนังสือเห็นชอบในการดำเนินโครงการจากประเทศเจ้าบ้าน โดยหน่วยงาน Designated National Authority ซึ่งเป็นการยืนยันว่าโครงการที่เสนอนั้น เป็นโครงการที่ดำเนินการโดยสมัครใจ และโครงการมีส่วนช่วยในการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศเจ้าบ้านที่โครงการนั้นตั้งอยู่ สำหรับโครงการที่ลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ไม่เกินหนึ่งหมื่นห้าพันตัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี มีอัตราค่าธรรมเนียมโครงการละ 75,000 บาท และโครงการที่ลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าหมื่นห้าพันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี มีอัตราค่าธรรมเนียม 10 บาทถ้วน ต่อหนึ่งตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยมีอัตราค่าธรรมเนียมสูงสุดไม่เกิน 900,000 บาท และในปัจจุบันมีโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด ที่ได้รับการรับรอง (Letter of Approval: LOA) ทั้งสิ้น 41 โครงการ และคาดว่าจะมีเพิ่มอีกกว่า 40 โครงการ คิดเป็นจำนวน CERs ทั้งสิ้นประมาณ 2.94 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี ซึ่งถือว่ายังน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณความต้องการของโลกที่ประมาณ 3,700 ล้านตัน และมีโครงการที่กำลังอยู่ระหว่างการพิจารณาของ อบก. อีกประมาณ 27 โครงการ คิดเป็นจำนวน CERs ประมาณ 1.14 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ปี

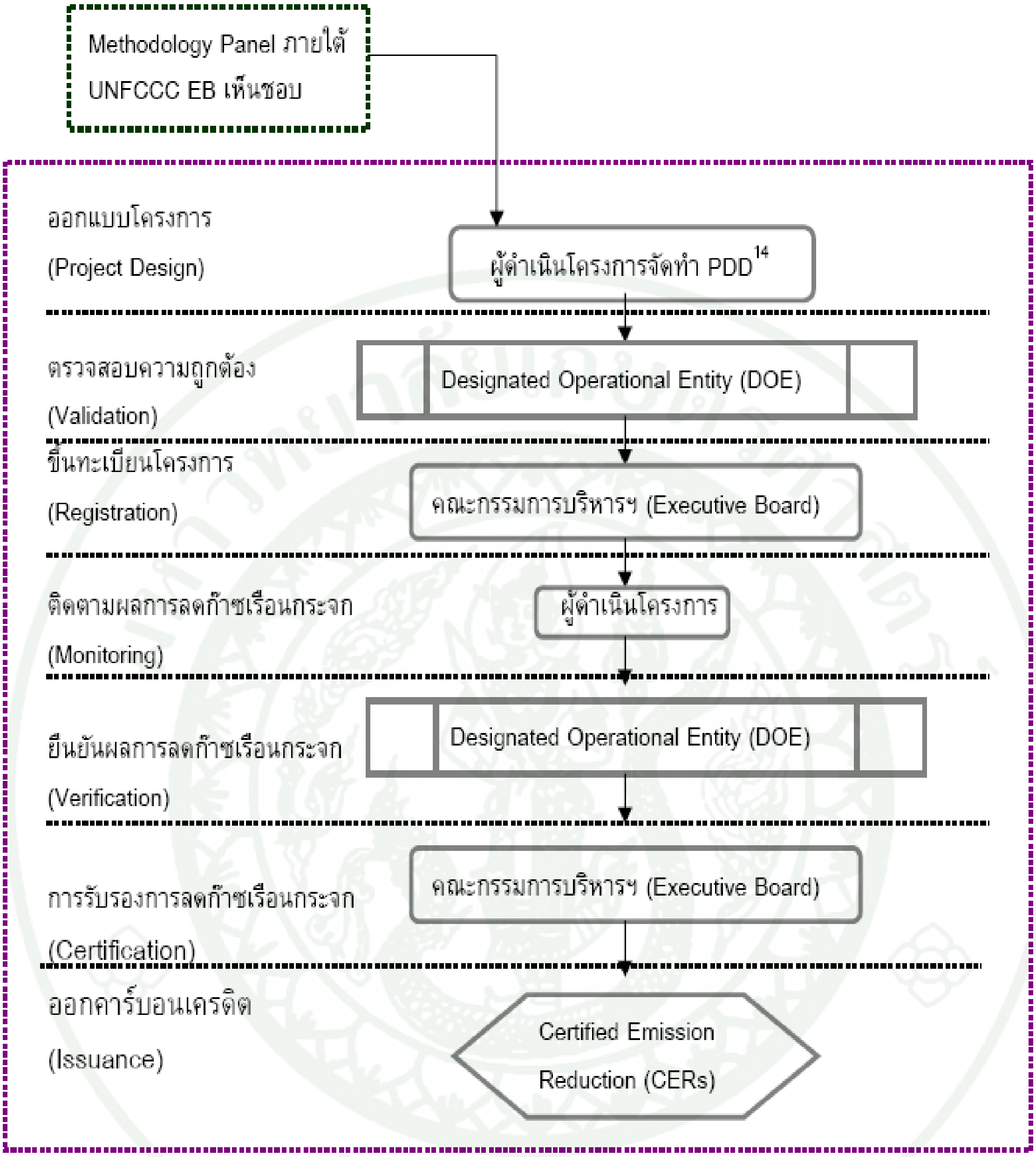
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานจัดทำโครงการ CDM การดำเนินงานในประเทศไทย

ที่มา: องค์กรบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 แสดงขั้นตอนดำเนินงานจัดทำโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด การดำเนินงานตามขั้นตอนที่ UNFCCC CDM Executive Board

ที่มา: องค์กรบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2552

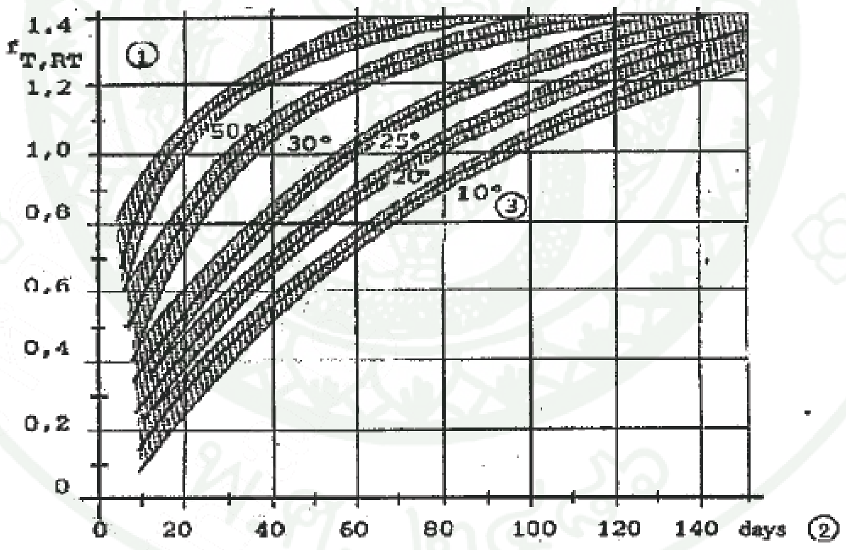
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.6 การประเมินปริมาณก๊าซชีวภาพ

การประเมินปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้จะคำนวณจากสมการของ Werner et al. (1989) โดยที่ปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้ต่อวัน (G : ลบ.ม./วัน) สูงสุด จะขึ้นกับปริมาณสารที่เป็นตัวการในผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน (VS-Volatile Solid : กก.) ดังแสดงในตารางที่ 10 และอัตราการเกิดก๊าซจำเพาะ (Specify G_y : ลิตร/วัน) จะขึ้นกับค่าอัตราเกิดก๊าซ (G_y) และค่าสัมประสิทธิ์ ($f_{T,RT}$) ดังสมการ

G	=	(kg VS x Specify G_y) / 1000	(1)
Specify G_y	=	G_y x $f_{T,RT}$	(2)
VS input	=	Volatile solid in swine effluent	(3)

โดยค่าสัมประสิทธิ์ ($f_{T,RT}$) จะขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการหมัก ซึ่งจะหาได้จาก รูปที่ 1



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์, อุณหภูมิและระยะเวลาในการหมัก (Werner et al., 1989)

ในงานศึกษานี้ ได้เลือกอุณหภูมิเฉลี่ย คือ 30 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการหมักก๊าชีวภาพที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยใช้ของเสียจากการเกษตร คือ ที่ 90 วัน (Thakur and

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Singh, 2000) ดังนั้นค่า $f_{T,RT}$ ที่ใช้ในการศึกษานี้คือ 1.3 แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการข้างต้นและนำไปคำนวณร่วมกับปริมาณสุกรทั้งประเทศ

5.7 การคำนวณปริมาณคาร์บอนเครดิต

ประมาณปริมาณไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากก๊าซชีวภาพ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลหรือเบนซินเก่านำมาดัดแปลง มีสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าได้ 1.2-1.5 กิโลวัตชั่วโมงโดยใช้ก๊าซชีวภาพปริมาตร 1 ลบ.ม. ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าประมาณการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1.2 กิโลวัตชั่วโมง / 1 ลบ.ม. ของก๊าซชีวภาพ

ปริมาณคาร์บอนเครดิตรวมจากโครงการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร (Net CO_2) หาได้จากปริมาณ คาร์บอนเครดิต จากปริมาณไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากก๊าซชีวภาพ (carbon credit from electricity – production , CEP) หักลบด้วยปริมาณ CO_2 ที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าในการดำเนินการภายในฟาร์มตามปกติ (In-Farm Use , IFU) และหักลบด้วยปริมาณของ CO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้า (CO_2 – Emission , CE) ตามสมการ

$$\text{Net } CO_2 = CEP - IFU - CE \quad (4)$$

โดยที่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ จากกิจกรรมการใช้หรือผลิตไฟฟ้า (CEP และ IFU) คำนวณจาก Emission and Generation Resource Integrated Database (eGRID, 2004) เท่ากับ 0.778 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ / กิโลวัตชั่วโมง โดยกำหนดให้โรงเรือนสุกรแบบธรรมดาใช้ไฟฟ้า 0.003 กิโลวัต/ตัว/วัน และโรงเรือนเลี้ยงสุกรแบบ Evaporative cooling ใช้ไฟฟ้า 0.008 กิโลวัต/ตัว/วัน (อนุสรณ์ และอุเทน, 2550) ส่วนปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้า (CE) เท่ากับ 0.0036 คาร์บอนไดออกไซด์ /กิโลวัตชั่วโมง (ปรีชา, 2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. การออกแบบระบบบำบัดและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุษบา (2537) ศึกษาเรื่องการกำจัดของเสียจากสุกรโดยใช้ระบบหมักแบบ UASB ในระดับห้องปฏิบัติการ UASB ผลการศึกษาพบว่า ระบบ UASB สามารถลดค่าซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชม. ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบบมีค่าระหว่าง 182-220 ล./กก.ซีโอดีที่เข้าสู่ระบบ (ปริมาตรก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน, STP) โดยมีส่วนประกอบของก๊าซมีเทนประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณก๊าซทั้งหมด ลักษณะเม็ดจุลินทรีย์ที่ตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด ประกอบด้วยแบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นเส้นสายเป็นส่วนใหญ่ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ระบบ UASB สามารถบำบัดน้ำเสียจากมูลสุกรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ธีระเทพ (2540) ศึกษาเรืองมูลสุกรสู่ก๊าซหุงต้ม การบรรจุก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลสุกรต้องใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 HP ใช้เวลาในการบรรจุใส่ถังก๊าซหุงต้มจากความดันที่ 180 Psi ใช้เวลา 11.24 นาที และเมื่อนำก๊าซชีวภาพที่ทำการบรรจุได้ มาเปิดเพื่อใช้งาน เวลาที่ใช้งานคือ 40.96 นาที การทดสอบพบว่าด้วยกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 HP ใช้เวลาในการบรรจุก๊าซชีวภาพความดันที่ 180 psi ในเวลา 11.24 นาที เปิดใช้งานได้ 40.96 นาที ค่าสิ้นเปลืองไฟฟ้าคิดเป็นจำนวน 0.56 บาทต่อการบรรจุหนึ่งครั้ง ด้วยต้นทุนของเครื่องอยู่ที่ประมาณ 25,000 บาท สามารถหุงต้ม ทำอาหารได้เหมือนก๊าซทั่วไป น้ำหนักเบา เป็นวิธีทำให้สิ่งไรค่ากลับมาใช้ประโยชน์

อาณัติ (2544) ศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวมเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพในจังหวัด นครปฐม พบว่าของเสียจากฟาร์มสุกร และโรงงานอุตสาหกรรมอาหารประเภทแป้งและผลิตภัณฑ์จากแป้งสามารถถูกย่อยสลาย และเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพได้ดี และเมื่อรวมน้ำเสียจากทั้งสองแหล่งด้วยกันเป็นน้ำเสียรวมพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดีได้ร้อยละ 70 ประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.4-0.5 ลบ.ม./กก.ซีโอดี โดยมีมีเทนร้อยละ 70 เป็นองค์ประกอบในก๊าซชีวภาพ

สดุดี (2544) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศจากกากของเสีย ผลการศึกษาพบว่า กากของเสียจากโรงงานแปรรูปผลไม้สามารถผลิตก๊าซธรรมชาติได้โดยอัตราการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ สมดุลของระบบระหว่างถังหมักแบบ Digester with 6 h/d mixing กับ ถังหมักแบบ Conventional digestion มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 408.8 และ 418 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ หรือเท่ากับ 0.645 และ 0.657 ลบ.ม./วัน ตามลำดับ และพบว่ามีอัตราการลดสลาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารอินทรีย์ (TVS Reduction) ระหว่างทั้งสองถังเฉลี่ยเท่ากับ 18.78 และ 21.19 ตามลำดับ มีอัตราการลดซีโอดี (COD Reduction) เฉลี่ยเท่ากับ 27.93 และ 35.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

นันทิยา (2545) ศึกษาแนวทางการใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของฟาร์มสุกรและโรงงานอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลาง-เล็กไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในจังหวัดนครปฐม พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียรวมแบบ H-UASB และระบบบำบัดขั้นหลังแบบ Constructed Wetland ใช้พื้นที่ทั้งหมด 184 ไร่ น้ำเสียเข้าระบบบำบัดรวมประมาณวันละ 2,500 ลบ.ม. และมีค่าความสกปรก 23,300 กก.ซีโอดี/วัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณวันละ 7,000 ลบ.ม.ที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 65

เบญจวรรณ (2545) ศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในการบำบัดน้ำเสียจากการทำผ้ามัดย้อมของพื้นที่ตำบลแม่แรง อำเภอป่าซาง จังหวัดลำพูน ซึ่งมีขนาด 14.1 ล. สูง 2 เมตร มีปริมาตรช่องว่างตัวกลาง 11 ล. มีอัตราภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6.11 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีระยะเวลาเก็บกักน้ำ 61.1 นาที ซึ่งได้มีการศึกษาค่าประสิทธิภาพในช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นซึ่งได้ใช้เวลาในการเดินระบบตั้งแต่วันที่ 1-42 มีการเก็บตัวอย่างการศึกษาเป็นจำนวน 10 ครั้งและในแต่ละวันได้มีการเดินระบบเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวันมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า ซีโอดี มีค่าเป็นร้อยละดังนี้ 55.63 , 52.18 , 55.45 , 61.72 , 59.60 , 62.11 , 672.37 , 64.59 , 75.98 และ 69.63 ตามลำดับ

สถาบันวิจัย และพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2552) ศึกษาการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในรูปแบบการหมักย่อยร่วม โดยถังปฏิกรณ์ UASB และ CSTR เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทำการศึกษาที่อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ค่าของแข็งระเหยระหว่างของเสียต่อน้ำเสียฟาร์มสุกร ที่ 5 , 30 และร้อยละ 60 VS พบว่า เศษอาหารที่อัตราส่วนร้อยละ 60 VS มีค่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุดเท่ากับ 0.605 ลบ.ม.กก.มีเทน-1VS น้ำเข้า รองลงมาคือ หญ้าเนเปียร์ ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 ซึ่งมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.589 ลบ.ม.กก.มีเทน-1VSน้ำเข้า จากนั้นจึงได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักย่อยร่วมระหว่างของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรร่วมด้วยเศษอาหารและหญ้าเนเปียร์ โดยถังปฏิกรณ์ UASB และ CSTR พบว่าการหมักย่อยร่วมระหว่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกรและเศษอาหาร โดยถังปฏิกรณ์แบบ CSTR จะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การทดลอง

1.1 น้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง

1.2 น้ำเสียจากโรงอาหาร

1.3 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชนิด (Anaerobic)

1.4 แผ่นอะคีริค

1.5 ชุดอุปกรณ์ถุงน้ำเกลือ

1.6 วาล์วเปิดปิดแก๊ส

1.7 นาฬิกาจับเวลา

1.8 เข็มฉีดยา

1.9 ขวดแก้วพร้อมจุกยาง

2. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี

2.1 Balance (เครื่องชั่ง)

2.2 Oven (เตาอบ)

2.3 Hot plate (เตาต้ม)

2.4 pH meter (เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง)

2.5 Magnetic Stirrer (เครื่องกวนแม่เหล็ก)

2.6 Suction Pump (เครื่องดูดสุญญากาศ)

2.7 Gas Chromatograph (เครื่องวัดปริมาณแก๊ส)

2.8 Hood (ตู้ดูดควัน)

2.9 Incubator (ตู้ควบคุมอุณหภูมิ)

2.10 Desiccator (โถทำแห้ง)

2.11 Buchner (กรวยบุคเนอร์)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. สารเคมี

3.1 $MnSO_4.4H_2O$

3.2 NaOH

3.3 NaI

3.4 NaN_3

3.5 H_2SO_4

3.6 $Na_2S_2O_3.5H_2O$

3.7 $K_2Cr_2O_7$

3.8 $Na_2HPO_4.7H_2O$

3.9 anhydrous $CaCl_2$

3.10 $FeCl_3.6H_2O$

3.11 $MgSO_4.7H_2O$

3.12 C_2H_5OH 95%

3.13 $K_2Cr_2O_7$

3.14 Ag_2SO_4

3.15 $C_{12}H_8N_2.\ H_2O$

3.16 $FeSo_4.7H_2O$

3.17 $(Fe(NH_4)_2(So_4)_2.\ 6H_2O$

3.18 $Hg\ SO_4$

3.19 HgO

3.20 K_2SO_4

3.21 $CO(NH_2)_2$

3.22 ฟีนอฟทาลีน

3.23 น้ำแป้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง

การศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำเสียฟาร์มสุกร เพื่อทำการประเมินถึงความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสียที่จะทำการประดิษฐ์ขึ้น โดยกำหนดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย เป็นระยะเวลา 4 เดือน หรือเท่ากับ 1 รอบของการเลี้ยงสุกรขุน โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียรอบแรก ตั้งแต่เดือน มิถุนายน – กันยายน 2551 ทำการเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม โดยใช้ขวดพลาสติกชนิด Poly Ethylene (PE) ใช้วิธีจ้วงเก็บน้ำเสียตัวอย่าง จากบ่อเกรอะท้ายฟาร์มปริมาตร 1 ลิตร สัปดาห์ละ 1 ครั้งแล้วทำการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

1.1 ตัวอย่างน้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง

เก็บตัวอย่างน้ำเสีย จากฟาร์มสุกรทั้งสองขนาด โดยทำการสุ่มเก็บบริเวณบ่อเกรอะท้ายฟาร์มด้วยขวดพลาสติก (PE) โดยเก็บตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 4 เดือน หรือ 1 รอบของการเลี้ยงสุกรขุน

ตารางที่ 8 รายชื่อฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง สถานที่ตั้งฟาร์มที่ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

ชื่อฟาร์มสุกร	ขนาด	สถานที่ตั้ง
1. นางรัตนากร ชิณวงษ์	เล็ก 380 ตัว	ต.ป่าขะ อ.บ้านนา จ.นครนายก
2. นางถนอม ทวีศักดิ์	เล็ก 400 ตัว	,,
3. นางสังเวียน ไกรงามสม	เล็ก 300 ตัว	,,
4. นายน้อม เอี่ยมสะอาด	เล็ก 400 ตัว	,,
5. นายสมศักดิ์ คงชุ่ม	เล็ก 380 ตัว	,,
6. นางทัศนีย์ อิสระ	กลาง 1,000 ตัว	,,
7. นางปราณี กุลบุตร	กลาง 1,300 ตัว	,,
8. นางธัญญารัตน์ ศรีคำแขก	กลาง 1,000 ตัว	,,
9. นายพรม มีแก้ว	กลาง 1,000 ตัว	,,
10. นายยนต์ บุญมี	กลาง 1,100 ตัว	,,

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 การเตรียมน้ำเสียฟาร์มสุกรก่อนทำการวิเคราะห์

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกรทั้งสองขนาด ฟาร์มละ 1 ลิตร/สัปดาห์ แล้วทำการแช่เย็นก่อนนำมาเข้าห้องปฏิบัติการ ก่อนทำการวิเคราะห์ต้องนำน้ำเสียตัวอย่างมาปรับอุณหภูมิให้เป็นอุณหภูมิปกติก่อน ถ้าทำการวิเคราะห์ไม่เสร็จภายในวันเดียวให้นำน้ำเสียที่เหลือไปแช่แข็งเพื่อรอวิเคราะห์ในวันต่อไป

1.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำเสียฟาร์มสุกร

เมื่อทำการเตรียมน้ำเสียฟาร์มสุกรที่จะทำการวิเคราะห์แล้ว ก็ดำเนินการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ ได้แก่ บีโอดี ซีโอดี pH ของแข็งทั้งหมด และไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ตามวิธีการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียมาตรฐาน (มั่นสิน, 2543)

1.4 ประดิษฐ์ชุดการทดลองการเพื่อศึกษาการย่อยสลายของเสียจากฟาร์มสุกร (Treatability - study)

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และคัดเลือกเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสีย โดยพิจารณาจากคุณภาพน้ำเสียฟาร์มสุกรที่ได้ทำการวิเคราะห์ ทำการประดิษฐ์ชุดการทดลองขึ้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการศึกษาการย่อยสลายของเสียจากฟาร์มสุกร โดยเทคโนโลยีที่นำมาประดิษฐ์ต้องเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและมีการใช้งานจริง ชุดการทดลองทำขึ้นจากแผ่นอะคีริค จำนวน 4 ชุดการทดลอง ดังนี้

1) ชุดการทดลองที่ 1 (S) ใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดเล็กเพียงอย่างเดียว

2) ชุดการทดลองที่ 2 (M) ใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดกลางเพียงอย่างเดียว

3) ชุดการทดลองที่ 3 (SC) ใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดเล็กผสมน้ำเสียโรงอาหารโดยมีอัตราส่วนที่ 70/30 โดยปริมาตร

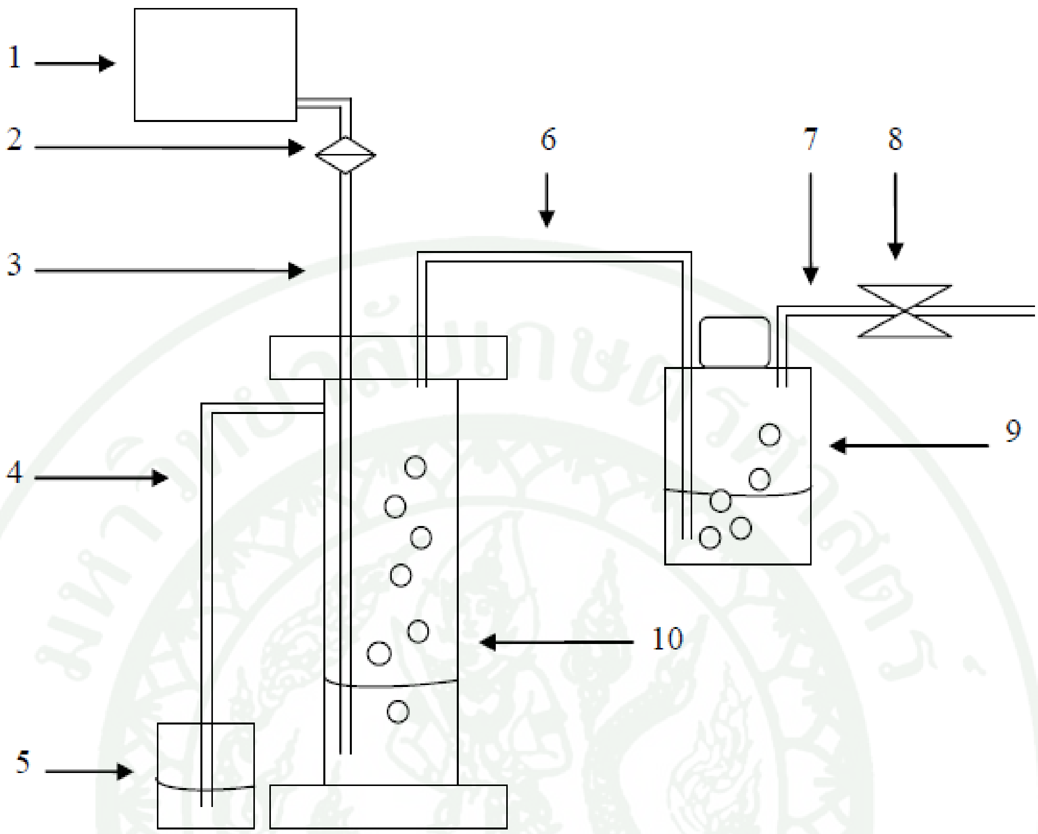
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4) ชุดการทดลองที่ 4 (MC) ใช้น้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดกลางผสมน้ำเสียโรงอาหารโดยมีอัตราส่วนที่ 70/30 โดยปริมาตร

ภาพที่ 7 ชุดการทดลองการศึกษาการย่อยสลายของเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพ

ทุกชุดการทดลองจะถูกออกแบบให้มีลักษณะเหมือนกันทุกประการแตกต่างกันเพียงลักษณะของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเท่านั้น เพื่อทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพของแต่ละชุดการทดลอง ชุดการทดลองแต่ละชุดจะถูกกำหนดข้อจำกัดให้เหมือนกัน ดังแสดงในตารางที่ 9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 รายละเอียดชุดการทดลองการศึกษาการย่อยสลายของเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพ

หมายเหตุ หมายเลข 1 คือ ขวดบรรจุน้ำเสียเข้าระบบ

หมายเลข 2 คือ วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

หมายเลข 3 คือ ทางน้ำเสียเข้าระบบ

หมายเลข 4 คือ ทางน้ำออกระบบ

หมายเลข 5 คือ ภาชนะบรรจุน้ำผ่านการบำบัด

หมายเลข 6 คือ ทางผ่านก๊าซออกระบบสู่ถังเก็บก๊าซ

หมายเลข 7 คือ ทางปล่อยก๊าซออกจากถังเก็บก๊าซ

หมายเลข 8 คือ วาล์วปล่อยก๊าซออกจากถังเก็บก๊าซ

หมายเลข 9 คือ ถังเก็บก๊าซที่ผลิตได้จากระบบ

หมายเลข 10 คือ ระบบถังผลิตก๊าซชีวภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 ข้อจำกัดชุดการทดลอง

ค่าที่กำหนด	ปริมาณ
1. pH	5 – 7.5
2. C/N ratio	30 /1
3. ระยะเก็บกัก	30 , 60 , 90 , 120 วัน
4. อุณหภูมิ	35 – 40 องศาเซลเซียส
5. ปริมาตรของระบบ	3,500 มล.
6. ปริมาณเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ	1,050 มล. หรือ ~ ร้อยละ 30 ของระบบ
7. ปริมาณน้ำเสียเข้าระบบ	1-30 วัน = 117 มล./วัน 30-60 วัน = 58 มล./วัน 60-90 วัน = 39 มล./วัน 90-120 วัน = 30 มล./วัน

1.5 การเตรียมน้ำเสียฟาร์มสุกรก่อนเข้าชุดการทดลอง

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกรทั้งสองขนาดโดยทำการสุ่มเก็บบริเวณบ่อเกรอะท้ายฟาร์ม และน้ำเสียจากโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนด้วยขวดพลาสติก (PE) เก็บตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ในวันอาทิตย์ของทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 4 เดือน หรือ 1 รอบของการเลี้ยงสุกรขุน ครั้งละ 1 ลิตรต่อสัปดาห์ แล้วทำการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ที่กำหนด ได้แก่ บีโอดี , ซีโอดี , pH , ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ตามวิธีการวิเคราะห์น้ำ และน้ำเสียมาตรฐาน

การเตรียมน้ำเสียเข้าชุดการทดลองนั้นจำเป็นต้องทำการปรับคุณสมบัติของน้ำเสียก่อนเข้าชุดการทดลองเพื่อให้ชุดการทดลองทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยต้องปรับค่า C/N ratio ให้อยู่ระหว่าง 30/1 ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ นั้นอยู่ในช่วงที่ระบบสามารถทำงานได้โดยปกติ ค่าคาร์บอน (C) จะมีปริมาณที่มากพอ แต่ค่าไนโตรเจน (N) จะมีปริมาณไม่เพียงพอ ให้ทำการเติมยูเรีย $CO(NH_2)_2$ เพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้อยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะกับการทำงานของชุดการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.6 การเติมน้ำเสียเข้าชุดการทดลอง

เมื่อทำการปรับคุณสมบัติของน้ำเสียให้เหมาะสมแล้ว ทำการต่อขวดซึ่งบรรจุน้ำเสียเข้ากับชุดการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ โดยทำการปล่อยน้ำเข้าชุดการทดลองแบบต่อเนื่อง (Batch) โดยปรับวาล์วให้น้ำไหลในปริมาณที่กำหนดของแต่ละช่วงวันที่กำหนด นำแผ่นฟลอยด์มาหุ้มตัวระบบไว้เพื่อไม่ให้จุลชีพบางชนิดที่ติดมากับน้ำเสียสามารถสังเคราะห์แสงได้จนเกิดเป็นตะไคร่ หรือสาหร่ายในชุดการทดลองจนเกิดการอุดตันช่องระบายน้ำออก

ขวดเก็บน้ำเสียมีปริมาตร 1 ลิตร จะต้องทำการเปลี่ยนน้ำเสียทุกสัปดาห์เพราะทำการเก็บน้ำเสียใหม่ทุกสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงสุกรขุ่น 1 ช่วงการเลี้ยง ระยะเวลา 4 เดือน จะต้องทำการวิเคราะห์น้ำเสียใหม่ทุกครั้งเพื่อทำการปรับคุณสมบัติน้ำเสียให้เหมาะสมกับชุดการทดลอง โดยจะทำการเปลี่ยนน้ำเสียเข้าระบบทุกวันอาทิตย์ จนสิ้นสุดการทดลอง

1.7 การเก็บตัวอย่าง น้ำออกจากชุดการทดลอง

หลังจากเติมน้ำเสียเข้าชุดการทดลองได้ 1 สัปดาห์ จะมีน้ำที่ผ่านการบำบัดจากชุดการทดลองไหลออกมาทางช่องน้ำออกเป็นน้ำที่ผ่านการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ ให้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำออก ไปทำการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ที่กำหนด ได้แก่ บีโอดี,ซีโอดี, pH , ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ตามวิธีการวิเคราะห์น้ำ และน้ำเสียมาตรฐาน เพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของชุดการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำออกทั้ง 4 ชุดการทดลอง สัปดาห์ละ 2 ครั้ง จนสิ้นสุดการทดลอง

1.8 การเก็บตัวอย่างก๊าซที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียของชุดการทดลอง

เมื่อจุลินทรีย์ชนิด (Anaerobic) ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียผลผลิตที่ได้ คือก๊าซชีวภาพซึ่งมีก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบหลักเฉลี่ยประมาณ 40 – 80% มีเทนบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน จะมีความร้อน 34,000 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร จะให้ความร้อนประมาณ 13,720 – 27,440 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.8.1 การเตรียมชุดอุปกรณ์เก็บก๊าซ

ใช้ขวดแก้วขนาด 10 มิลลิลิตรพร้อมจุกยางปิดสนิทล๊อคด้วยอลูมิเนียม ไซด์-ลิงฉีดยาพร้อมเข็ม เขียนป้ายระบุชุดการทดลอง เวลา และวันที่ ติดให้เรียบร้อย

1.8.2 การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพเพื่อทำการวิเคราะห์

ทำการปิดวาล์วทางปล่อยก๊าซเพื่อให้ก๊าซอัดแน่นอยู่ในชุดเก็บ ใช้นาฬิกาจับเวลา 30 นาที ทำการเก็บก๊าซ 1 ครั้ง โดยใช้เข็มฉีดยาแทงลงบนสายยางบริเวณเหนือวาล์ว ดูดก๊าซขึ้นมา 20 ซีซี แล้วฉีดเข้าไปในขวดแก้วที่เตรียมไว้ ทำซ้ำ 3 ซ้ำ ทั้ง 4 ชุดการทดลอง

เมื่อทำการเก็บก๊าซเสร็จให้นำขวดแก้วเก็บตัวอย่างก๊าซไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas - Chromatograph เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซที่ได้ ทำการเก็บก๊าซทุกสัปดาห์ ๆ ละ 2 ครั้งจนสิ้นสุดการทดลอง หากไม่สามารถนำก๊าซที่เก็บไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas – Chromatograph ได้ทันทีให้นำขวดแก้วที่ทำการเก็บก๊าซแล้วไปแช่เย็นเพื่อรักษาสภาพ

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph จะทำการวิเคราะห์ก๊าชชีวภาพที่เกิดขึ้นดังนี้

1) มีเทน (CH_4)
2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
3) ไฮโดรเจน (H_2)
4) ซัลไฟด์ (S^{2-}) วิเคราะห์ด้วยวิธี Iodometric Method

1.8.3 การวัดปริมาณความดันแก๊ส

ใช้อุปกรณ์วัดความดันแก๊ส ความละเอียด 0.5 kg/cm^2 ต่อเข้ากับวาล์วเก็บก๊าซของชุดการทดลอง จับเวลาที่ 30 นาที จดบันทึกปริมาณที่ได้ ทั้งสี่ชุดการทดลอง ทำการวัดสัปดาห์ละ 2 ครั้งจนสิ้นสุดการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลต่างๆ ในการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) หากค่าการทดสอบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มของประชากร (F-test) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ด้วยวิธี LSD (Least Significant Difference) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. สถานที่ทำการวิจัย

3.1 สถานที่วิเคราะห์น้ำเสียฟาร์มสุกร น้ำเสียโรงอาหาร และน้ำจากชุดการทดลอง

ห้องปฏิบัติการศูนย์ส่งเสริมเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ตึกศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอ กำแพงแสน จังหวัด นครปฐม

3.2 สถานที่ตั้งชุดการทดลองการเพื่อศึกษาการย่อยสลายของเสียจากฟาร์มสุกร

ระเบียงชั้น 4 ตึกศิลปะศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอ กำแพงแสน จังหวัด นครปฐม

3.3 สถานที่วิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากชุดการทดลอง

ศูนย์ปฏิบัติการกลาง คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอ กำแพงแสน จังหวัด นครปฐม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ระยะเวลาทำการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ.2551 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ.2553

5. ทุนสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณทุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ประจำปีงบประมาณ 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดเล็กและ ขนาดกลาง

1.1 สมบัติทางเคมีของน้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดเล็กและขนาดกลาง

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำเสียฟาร์มสุกรทั้ง 2 ขนาด พบว่า มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) บีโอดี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และ ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ดังนี้

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียฟาร์มสุกรตัวอย่างทั้ง 10 ฟาร์ม

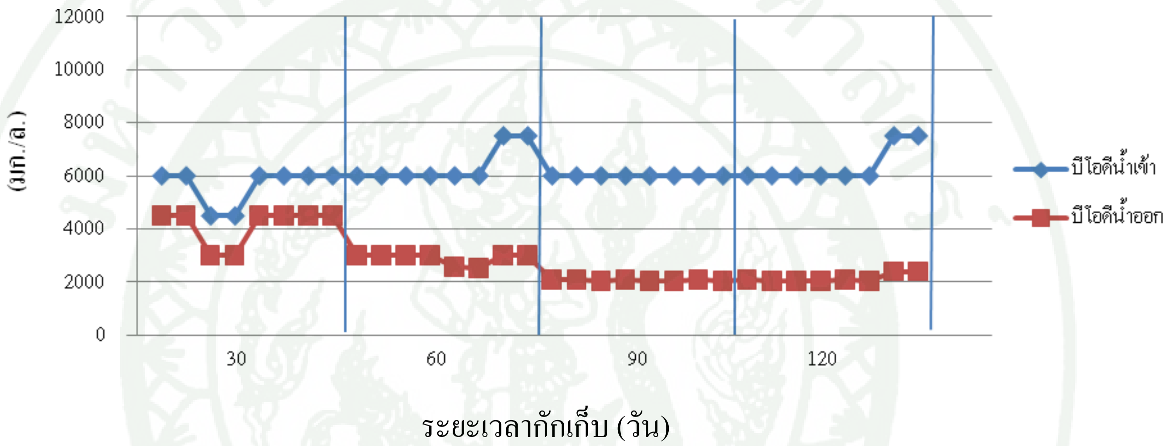
ขนาดฟาร์ม	สมบัติทางเคมี ค่าที่ทำการตรวจวัด (มก/ล.)				
	pH	บีโอดี	ซีโอดี	ของแข็งทั้งหมด	ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น
1. เล็ก	7.3±0.06	6400±890	13013±1900	124.5±2.50	85.33±6.83
2. เล็ก	7.1±0.08	6500±123	12907±2802	108.2±1.90	83.73±6.58
3. เล็ก	7.1±0.07	6400±133	13120±2580	110.8±1.30	84.00±7.75
4. เล็ก	7.5±0.06	6200±112	13120±1931	112.6±1.20	84.40±7.10
5. เล็ก	7.3±0.09	6300±101	13440±1456	112.4±1.60	81.07±7.85
6. กลาง	7.4±0.06	6700±960	12693±2219	160.5±1.10	96.53±6.61
7. กลาง	7.7±0.07	6900±949	13653±1994	211.9±3.10	96.27±6.36
8. กลาง	7.3±0.07	6800±125	13227±2991	184.2±3.20	98.53±4.44
9. กลาง	7.2±0.08	6700±960	13013±2409	208.2±3.60	96.80±4.77
10. กลาง	7.1±0.08	6900±111	13867±2469	184.6±1.70	99.47±3.89

หมายเหตุ รายชื่อขนาดฟาร์มเรียงตามลำดับรายชื่อตามตารางที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก และขนาดกลาง จำนวน 10 ฟาร์ม ในตำบลป่าขะ อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก มาวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสีย ดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าค่า pH ของฟาร์มแต่ละขนาด มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันในขณะที่ค่าบีโอดี , ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อฟาร์มสุกรมีขนาดใหญ่ขึ้น

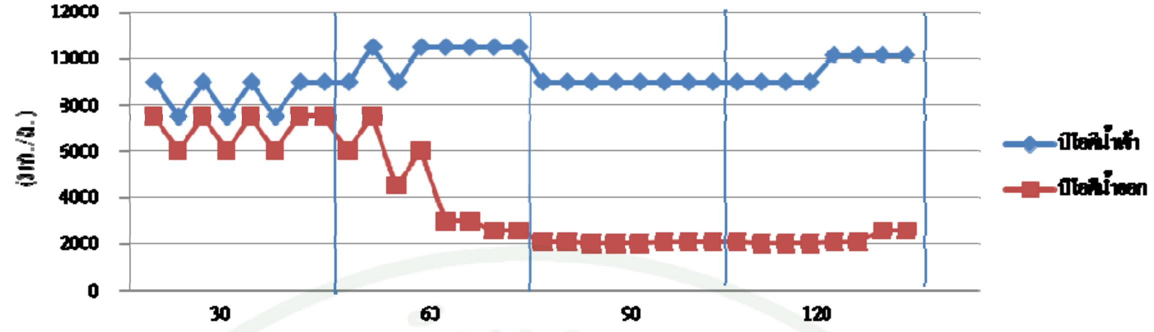
1.2 ผลของการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของบีโอดีน้ำเข้าและบีโอดีน้ำออกของแต่ละชุดการทดลอง



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบบีโอดีน้ำเข้าและน้ำออกชุดการทดลอง S

จากภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราความเข้มข้นของบีโอดีน้ำเข้าและบีโอดีน้ำออกชุดการทดลอง S พบว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ มีความเข้มข้นของบีโอดีอยู่ในช่วง 6,000-7,500 มก./ล. เมื่อนำน้ำเสียเข้าสู่ถังหมักก๊าซชีวภาพจะสามารถบำบัดค่าบีโอดีในน้ำเสียให้ผ่านตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ (มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรตารางที่ 2) ค่าความเข้มข้นของบีโอดีน้ำออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพที่เข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) แล้ว จะอยู่ในช่วง 2,040-2,220 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีในแต่ละระยะเวลากักเก็บน้ำเสียพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีดีขึ้น โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย เท่ากับ 90 และ 120 วัน มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ ร้อยละ 66.66 แตกต่างจากระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย เท่ากับ 30 และ 60 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

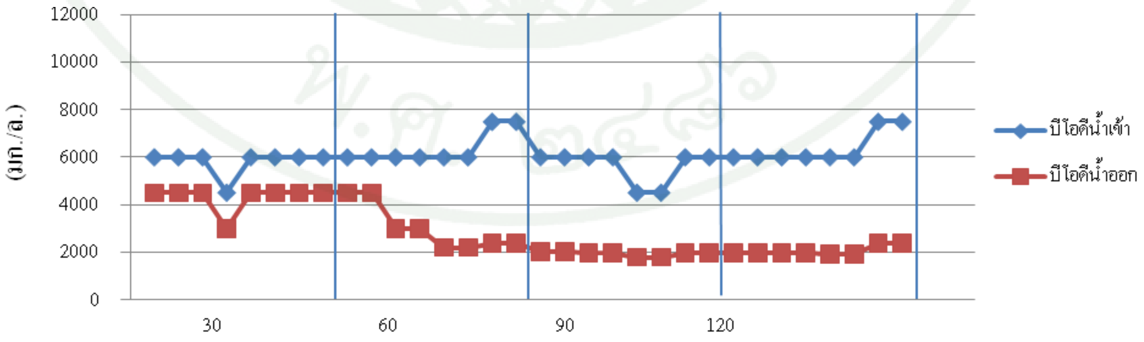
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ระยะเวลากักเก็บ (วัน)

ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบบีโอดีน้ำเข้าและน้ำออกชุดการทดลอง M

จากภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราความเข้มข้นของบีโอดีน้ำเข้าและบีโอดีน้ำออกชุดการทดลอง M พบว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ มีความเข้มข้นของบีโอดีอยู่ในช่วง 7,500-10,500 มก./ล. เมื่อนำน้ำเสียเข้าสู่ถังหมักก๊าซชีวภาพจะสามารถบำบัดค่าบีโอดีในน้ำเสียให้ผ่านตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ค่าความเข้มข้นของบีโอดีน้ำออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพที่เข้าสู่สภาวะคงที่ แล้วจะอยู่ในช่วง 2,100 - 2,340 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีในแต่ละระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี ดีขึ้น โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย เท่ากับ 90 และ 120 วัน มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ ร้อยละ 76.87 แตกต่างจากระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย เท่ากับ 30 และ 60 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

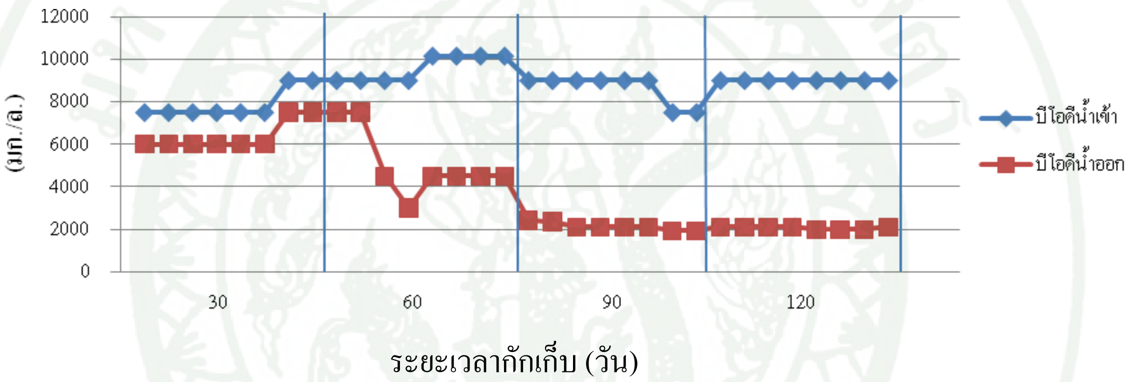


ระยะเวลากักเก็บ (วัน)

ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบน้ำเข้าและน้ำออกชุดการทดลอง SC

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราความเข้มข้นของบีโอดีน้ำเข้าและบีโอดีน้ำออกชุดการทดลอง SC พบว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ มีความเข้มข้นของบีโอดีอยู่ในช่วง 4,500-7,500 มก./ล. เมื่อนำน้ำเสียเข้าสู่ถังหมักก๊าซชีวภาพจะสามารถบำบัดค่าบีโอดีในน้ำเสียให้ผ่านตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ค่าความเข้มข้นของบีโอดีน้ำออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพที่เข้าสู่สภาวะคงที่ แล้วจะอยู่ในช่วง 1,920 - 2,220 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีในแต่ละระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีดีขึ้น โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย เท่ากับ 90 และ 120 วัน มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ ร้อยละ 65.80 แตกต่างจากระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย เท่ากับ 30 และ 60 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

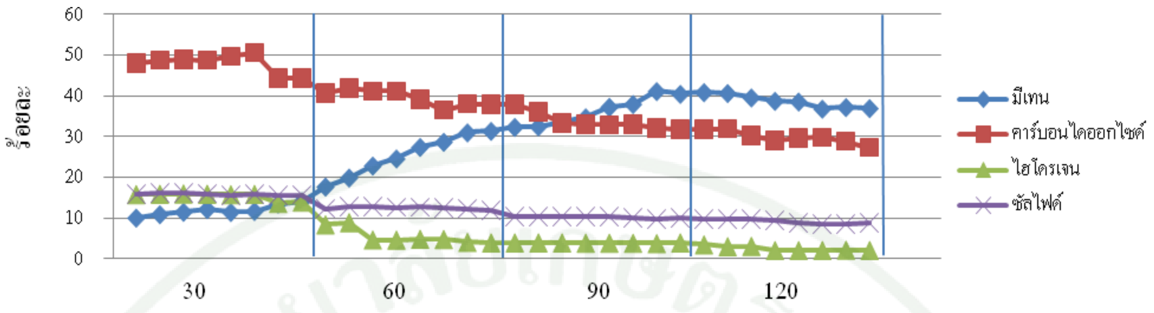


ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบน้ำเข้าและน้ำออกชุดการทดลอง MC

จากภาพที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราความเข้มข้นของบีโอดีน้ำเข้าและบีโอดีน้ำออกชุดการทดลอง MC พบว่าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ มีความเข้มข้นของบีโอดีอยู่ในช่วง 7,500-10,500 มก./ล. เมื่อนำน้ำเสียเข้าสู่ถังหมักก๊าซชีวภาพจะสามารถบำบัดค่าบีโอดีในน้ำเสียให้ผ่านตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ ค่าความเข้มข้นของบีโอดีน้ำออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพที่เข้าสู่สภาวะคงที่ แล้วจะอยู่ในช่วง 1,980 - 2,340 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีในแต่ละระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีดีขึ้น โดยที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย เท่ากับ 90 และ 120 วัน มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ ร้อยละ 76.51 แตกต่างจากระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย เท่ากับ 30 และ 60 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

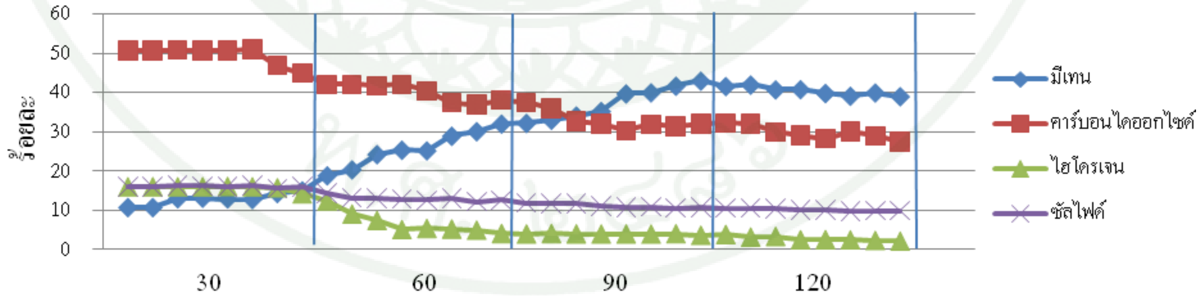
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 ผลของการเปรียบเทียบสัดส่วนของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ของแต่ละชุดการทดลอง



ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณก๊าซที่วัดได้จากชุดการทดลอง S

จากการศึกษาปริมาณสัดส่วนของก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้จากชุดการทดลอง S พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนมีแนวโน้มสูงขึ้นที่ปริมาณระยะเวลากักเก็บที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ 41 ในช่วงระยะเวลากักเก็บ ที่ 90 วัน ในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซซัลไฟด์มีปริมาณลดต่ำลงจนมีค่าค่อนข้างคงที่ ที่ช่วงระยะเวลากักเก็บ 90 วัน และ 120 วัน จากภาพที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ของชุดการทดลอง S

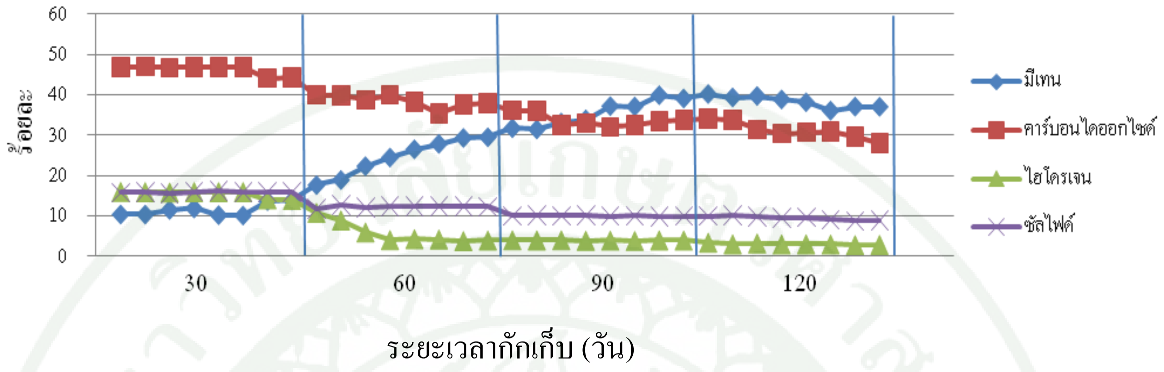


ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณก๊าซที่วัดได้จากชุดการทดลอง M

จากการศึกษาปริมาณสัดส่วนของก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้จากชุดการทดลอง M พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนมีแนวโน้มสูงขึ้นที่ปริมาณระยะเวลากักเก็บที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ

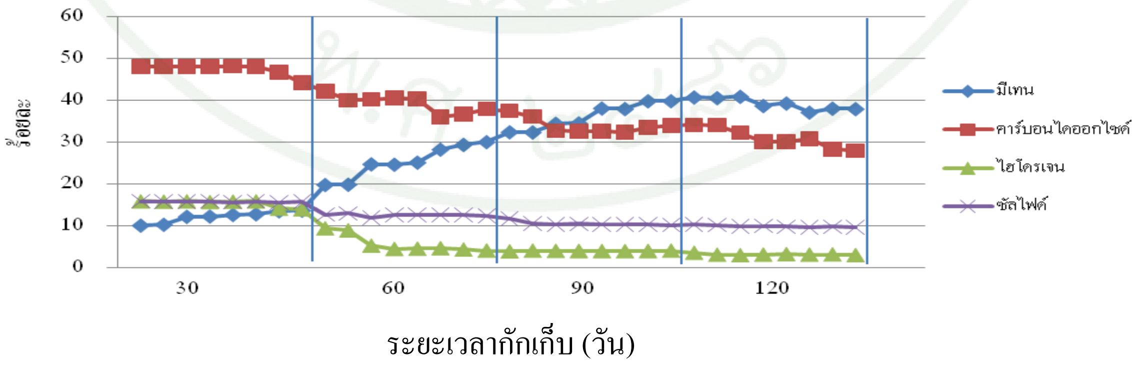
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

43 ในช่วงระยะเวลากักเก็บ ที่ 90 วัน ในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซซัลไฟด์มีปริมาณลดต่ำลงจนมีค่าค่อนข้างคงที่ ที่ช่วงระยะเวลากักเก็บ 90 วัน และ 120 วัน จากภาพที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ของชุดการทดลอง M



ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณก๊าซที่วัดได้จากชุดการทดลอง SC

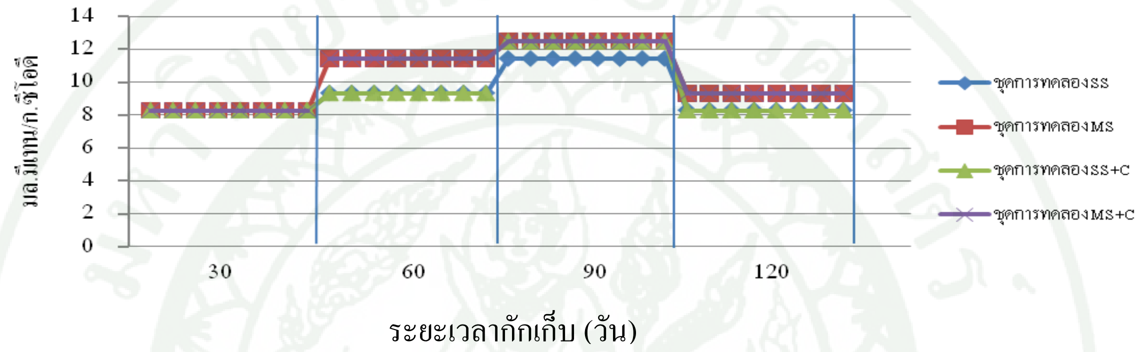
จากการศึกษาปริมาณสัดส่วนของก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้จากชุดการทดลอง SC พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนมีแนวโน้มสูงขึ้นที่ปริมาณระยะเวลากักเก็บที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ 40 ในช่วงระยะเวลากักเก็บ ที่ 90 วัน ในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซซัลไฟด์มีปริมาณลดต่ำลงจนมีค่าค่อนข้างคงที่ ที่ช่วงระยะเวลากักเก็บ 90 วัน และ 120 วัน จากภาพที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ของชุดการทดลอง SC



ภาพที่ 16 การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณก๊าซที่วัดได้จากชุดการทดลอง MC

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการศึกษาปริมาณสัดส่วนของก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้จากชุดการทดลอง MC พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนมีแนวโน้มสูงขึ้นที่ปริมาณระยะเวลากักเก็บที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณสูงสุดที่ร้อยละ 41 ในช่วงระยะเวลากักเก็บ ที่ 90 วัน ในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซซัลไฟด์มีปริมาณลดต่ำลงจนมีค่าค่อนข้างคงที่ ที่ช่วงระยะเวลากักเก็บ 90 วัน และ 120 วัน จากภาพที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ของชุดการทดลอง MC



ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้จากแต่ละชุดการทดลอง

จากการศึกษาปริมาณสัดส่วนของก๊าซมีเทนที่สามารถผลิตได้จากชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นที่ปริมาณระยะเวลากักเก็บที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณสูงสุดในช่วงระยะเวลากักเก็บ ที่ 90 วัน และเริ่มลดลงที่ช่วงระยะเวลากักเก็บ 120 วัน จากภาพที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติจากค่าเฉลี่ยของค่าต่างๆที่ได้จากชุดการทดลอง S

ชุดการทดลอง	HRT			
S	30	60	90	120
OLR (g COD/(l.d))	0.335[a]	0.217[b]	0.154[c]	0.112[d]
Methane content (%)	11.94[a]	26.16[b]	36.43[c]	38.33[d]
Methane yield (ml-CH_4 /g COD)	12.8[a]	55.94[b]	76.43[c]	104.9[d]
pH	4.3[a]	5.8[b]	6.4[c]	6.7[d]

หมายเหตุ a b c d ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการทำการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลอง S พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย และลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) จะทำให้มีค่าสัดส่วนของมีเทน (Methane content) สูงสุด เช่นที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำสุดเท่ากับ 0.112 กรัมซีโอดี/ล.วัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย จะให้ค่า สัดส่วนของมีเทน สูงสุดร้อยละ 38.33 และผลผลิตของมีเทน (Methane yield) เท่ากับ 104.9 มล.มีเทน/ก. ซีโอดี และค่า pH อยู่ในช่วงที่ระบบสามารถทำงานได้อย่างปกติ คือ pH เท่ากับ 5-7.5 (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์, 2552) จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าทุกระยะ เวลากักเก็บน้ำเสียส่งผลให้ค่าสัดส่วนของมีเทน และผลผลิตของมีเทน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติจากค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ที่ได้จากชุดการทดลอง M

ชุดการทดลอง	HRT			
M	30	60	90	120
OLR (g COD/(l.d))	0.420^{a}	0.250^{b}	0.171^{c}	0.130^{d}
Methane content (%)	12.73^{a}	26.61^{b}	37.80^{c}	40.37^{d}
Methane yield (ml-CH_4/g COD)	13.86^{a}	58.09^{b}	80.68^{c}	110.4^{d}
pH	4.3^{a}	5.6^{b}	6.4^{c}	6.6^{d}

หมายเหตุ a b c d ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการทำการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลอง M พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย และลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จะทำให้มีค่าสัดส่วนของมีเทนสูงสุด เช่นที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำสุดเท่ากับ 0.130 กรัมซีโอดี/ล.วัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย จะให้ค่าสัดส่วนของมีเทนสูงสุดร้อยละ 40.37 และผลผลิตของมีเทนเท่ากับ 110.4 มล. มีเทน/ก. ซีโอดี และค่า pH อยู่ในช่วงที่ระบบสามารถทำงานได้อย่างปกติ คือ pH เท่ากับ 5-7.5 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าทุกระยะ เวลากักเก็บน้ำเสียส่งผลให้ค่าสัดส่วนของมีเทน และผลผลิตของมีเทน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติจากค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ที่ได้จากชุดการทดลอง SC

ชุดการทดลอง	HRT			
SC	30	60	90	120
OLR (g COD/(l.d))	0.407[a]	0.227[b]	0.152[c]	0.108[d]
Methane content (%)	11.48[a]	25.14[b]	34.88[c]	36.77[d]
Methane yield (ml-CH_4/g COD)	11.41[a]	53.79[b]	85.24[c]	102.12[d]
pH	4.3[a]	5.6[b]	6.4[c]	6.7[d]

หมายเหตุ a b c d ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการทำการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลอง SC พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย และลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จะทำให้มีค่าสัดส่วนของมีเทนสูงสุด เช่นที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำสุดเท่ากับ 0.108 กรัมซีโอดี/ล.วัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย จะให้ค่าสัดส่วนของมีเทนสูงสุดร้อยละ 36.77 และผลผลิตของมีเทนเท่ากับ 102.12 มล.มีเทน/ก. ซีโอดี และค่า pH อยู่ในช่วงที่ระบบสามารถทำงานได้อย่างปกติ คือ pH เท่ากับ 5-7.5 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าทุกระยะ เวลากักเก็บน้ำเสียส่งผลให้ค่าสัดส่วนของมีเทน และผลผลิตของมีเทน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติจากค่าเฉลี่ยของค่าต่างๆ ที่ได้จากชุดการทดลอง MC

ชุดการทดลอง	HRT			
MC	30	60	90	120
OLR (g COD/(l.d))	0.43[a]	0.50[b]	0.17[c]	0.12[d]
Methane content (%)	11.59[a]	25.68[b]	34.19[c]	36.53[d]
Methane yield (ml-CH_4/g COD)	12.80[a]	55.94[b]	76.43[c]	107.64[d]
pH	4.3[a]	5.6[b]	6.4[c]	6.5[d]

หมายเหตุ a b c d ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการทำการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของชุดการทดลอง MC พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย และลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จะทำให้มีค่าสัดส่วนของมีเทนสูงสุด เช่นที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำสุดเท่ากับ 0.120 กรัมซีโอดี/ล.วัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย จะให้ค่าสัดส่วนของมีเทนสูงสุดร้อยละ 36.53 และผลผลิตของมีเทนเท่ากับ 107.64 มล.มีเทน/ก. ซีโอดี และค่า pH อยู่ในช่วงที่ระบบสามารถทำงานได้อย่างปกติ คือ pH เท่ากับ 5-7.5 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าทุกระยะ เวลากักเก็บน้ำเสียส่งผลให้ค่าสัดส่วนของมีเทน และผลผลิตของมีเทน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 เปรียบเทียบผลผลิตก๊าซมีเทนที่ประมาณได้จากทฤษฎี (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) และผลผลิตก๊าซมีเทนที่ได้จากถังปฏิกิริยาอย่างง่ายที่ทำขึ้น

ตารางที่ 15 ตารางเปรียบเทียบการคำนวณความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการประมาณตามทฤษฎี (กรมควบคุมมลพิษ ,2552) เปรียบเทียบกับการทดลองในถังหมักก๊าซชีวภาพอย่างง่ายจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลางทั่วประเทศ

ปริมาณการผลิตก๊าซ	ก๊าซชีวภาพจากทฤษฎี	ก๊าซชีวภาพในถังหมักอย่างง่าย
ผลผลิตของมีเทน (มล.มีเทน/ก.ซีโอดี)	322.02	110.4
ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ลบ.ม./วัน	673,289	233,745
ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน)	807,947	280,494
ค่าไฟฟ้าเทียบเท่า (บาท/วัน)	2,343,047	813,433
ปริมาณคาร์บอนเครดิต จากปริมาณสุกรจากฟาร์มขนาดกลางและเล็กทั้งประเทศ (ตันคาร์บอน/ปี)	1,040	347
มูลค่าคาร์บอนเครดิตที่สามรถขายได้จากการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรขนาดกลางและเล็กทั้งประเทศ (บาท/ปี)	499,200	166,560

จากการประมาณปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากทฤษฎี (กรมควบคุมมลพิษ ,2552) สามารถสร้างก๊าซชีวภาพได้สูงสุด 673,289 ลบ.ม./วัน เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 807,947 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน จากทฤษฎีเป็นการประมาณจากระบบหมักก๊าซชีวภาพประสิทธิภาพสูงที่ใช้ในฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ ซึ่งต่างจากระบบหมักก๊าซชีวภาพอย่างง่ายที่เกษตรกรทำฟาร์มขนาดเล็ก และขนาด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลางจะสามารถสร้างเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพไว้ใช้เอง ดังนั้นหากเกษตรกรที่ทำฟาร์มสุกรขนาดเล็กและขนาดกลาง ทั้งประเทศไทยใช้ระบบหมักก๊าซชีวภาพเองจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 233,745 ลบ.ม./วัน เทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้า 280,494 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน คิดเป็นปริมาณคาร์บอนเครดิต 347 ตันคาร์บอน/ปี และสามารถขายเป็นคาร์บอนเครดิตได้เป็นมูลค่า 166,560 บาท/ปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนเครดิตจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง โดยการประดิษฐ์ระบบบำบัดน้ำเสีย แล้วนำน้ำเสียจากฟาร์มสุกรทั้งสองขนาดและน้ำเสียผสมมาทำการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ และนำมาคำนวณเป็นปริมาณคาร์บอนเครดิตที่สามารถสร้างขึ้นได้ สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1.ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี จากการเปรียบเทียบในแต่ละช่วงของระยะเวลาเก็บกักพบว่าช่วงระยะเวลาเก็บกัก ที่ 90 วันของช่วงการทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีได้ดีที่สุด โดยชุดการทดลอง S มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีสูงสุดร้อยละ 82.24 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระยะเวลาเก็บกัก ในแต่ละช่วงทำให้ค่า COD removal มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2.ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการเปรียบเทียบในแต่ละช่วงของระยะเวลาเก็บกักพบว่าช่วงระยะเวลาเก็บกัก ที่ 120 วัน ของช่วงการทดลองมีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีที่สุด โดยชุดการทดลอง M มีประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด 110.4 (มล.ก.มีเทน/กรัมซีโอดี) จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระยะเวลาเก็บกักในแต่ละช่วงทำให้ค่าสัดส่วนของมีเทนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

3.ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้นได้ในแต่ละชุดการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบกับช่วงระยะเวลาเก็บกักพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันคือ เมื่อระยะเวลาเก็บกักมากขึ้น จะมีปริมาณก๊าซมีเทนสูงขึ้นจนมีค่าค่อนข้างคงที่ ที่ร้อยละ 38-40 จากการทดลองพบว่าชุดการทดลอง M สามารถผลิตก๊าซ มีเทนได้สูงสุดร้อยละ 40.37 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ในแต่ละชุดการทดลองจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าระยะเวลาเก็บกัก ในแต่ละช่วงทำให้ค่าผลผลิตของมีเทนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4. ระบบบำบัดน้ำเสียที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรขนาดเล็กและ ฟาร์มขนาดกลางได้สูงสุด 12.48 ล./วัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณก๊าซชีวภาพตามทฤษฎีซึ่งระบุว่าน้ำเสียฟาร์มสุกรสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ถึง 93 ล./วัน แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับลักษณะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และขนาดของระบบบำบัดด้วย เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพในปัจจุบันมีลักษณะแตกต่างกัน ตามความเหมาะสมของพื้นที่ และปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น

5.ประเทศไทยมีปริมาณสุกฟาร์มขนาดเล็กและขนาดใหญ่รวม 5,445,627 ตัว ถ้านำน้ำเสียฟาร์มสุกรมาบำบัดด้วยระบบอย่างง่ายที่ประดิษฐ์ขึ้นจากการทดลองนี้จะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 233,745 ลบ.ม./วัน เทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้า 280,494 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน คิดเป็นปริมาณคาร์บอนเครดิต 347 ตันคาร์บอน/ปี และสามารถขายเป็นคาร์บอนเครดิตได้เป็นมูลค่า 166,560 บาท/ปี

ข้อเสนอแนะ

1.การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในช่วงเดือนแรกของการเดินระบบอาจเกิดปัญหาของค่าความเป็นกรดด่างที่ลดลงจนมีสภาวะเป็นกรด ทำให้ระบบผลิตก๊าซมีเทนได้น้อยลง การแก้ไขทำได้โดยการเติมปูนขาว โดยแบ่งเป็นส่วนแล้วค่อย ๆ เติมเข้าสู่ระบบทีละน้อยจนระบบมีค่าความเป็นกรดด่างที่สูงขึ้น อยู่ในช่วง 5-7 ระบบก็จะทำงานเป็นปกติ

2.กางทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพอาจเกิดปัญหากาลักน้ำ ในส่วนของถังเก็บก๊าซซึ่งมีน้ำหล่ออยู่ในถัง ปัญหานี้อาจเกิดขึ้นบ่อยครั้งถ้าช่องทางน้ำออกระบบเกิดการอุดตันระบบก็จะเกิดแรงดันเพราะน้ำที่ไหลเข้าระบบยังคงไหลเข้าปกติ และเมื่อน้ำไหลออกได้ปกติก็จะเกิดเป็นกาลักน้ำ น้ำในถังเก็บก๊าซก็จะไหลเข้าระบบด้วย การแก้ไขทำโดยการตรวจสอบช่องทางน้ำออกเป็นระยะ ๆ และติดตั้งสายส่งก๊าซจากระบบไปยังถังเก็บก๊าซให้มีความยาวพอสมควร และตั้งให้สูงกว่าระบบ

3.น้ำเสียที่เข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะมีจุลชีพและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงได้เมื่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบจุลชีพก็จะเจริญเติบโตทำให้เกิดการอุดตันทางน้ำออก และเกิดเป็นตะไคร่สีเขียวภายในระบบ การแก้ไขทำโดยการ ใช้ฟลอยด์มาหุ้มระบบทั้งหมดเพื่อไม่ให้แสงผ่านเข้าระบบได้

4.การนำระบบบำบัดน้ำเสียไปใช้จริงในฟาร์มสุกรขนาดเล็กและกลาง จำเป็นต้องมีองค์กรเอกชนหรือภาครัฐเป็นผู้ร่วมทุน เพราะในการลงทุนสร้างระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรต้องใช้เงินในการลงทุนสร้างสูง และระยะเวลาในการคืนทุนนาน การดูแลรักษาระบบ การกัดกร่อน การอุดตันตามท่อต่าง ๆ ต้องใช้ผู้ชำนาญการในการซ่อมบำรุง ตัวอย่างระบบผลิตก๊าซชีวภาพอย่างง่ายที่เกษตรกรสามารถทำไว้ใช้เองภายในครัวเรือน ได้แก่ ถังหมักมหัศจรรย์เพื่อครัวเรือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดย ผศ.บุญมา ป้านประดิษฐ์ ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อมคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.ในการซื้อขายคาร์บอนเครดิต ในประเทศไทย ตามพิธีสารเกียวโตที่ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันในอนุสัญญา UNFCCC เมื่อเดือนธันวาคม 2537 นั้น จะต้องดำเนินการขึ้นทะเบียนกับ CDM Executive Board ให้แล้วเสร็จก่อนปี พ.ศ.2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2550. **จำนวนปศุสัตว์ในประเทศไทย ณ วันที่ 1 มกราคม 2550**. กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2542. **รายงานการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกร**. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

______. 2551. **โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกร กิจกรรมการพัฒนาแผนและมาตรการในการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกร**. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

______. 2551. **การจัดการมูลสุกรและน้ำเสียฟาร์มสุกร**. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

______. 2551. **คู่มือการจัดการฟาร์มสุกรเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม**. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2551. **การใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เพื่อเป็นพลังงานทดแทนและปรับปรุงสิ่งแวดล้อม**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2551. **การใช้พลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพ**. กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

เกรียงไกร อายุวัฒน์. 2546. **โครงการการใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า**. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

______. 2547. **การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซขยะ: Electricity Generation from Landfill Gas**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชวลิต แซ่ลิ่ม. 2543. **แนวทางการใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะในประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ไชยา อุ้ยสูงเนิน. 2545. **คู่มือสุกร**. ศูนย์ผลิตตำราเกษตรเพื่อชนบท, นนทบุรี.

ธำรงศักดิ์ พลบำรุง. 2545. **การเลี้ยงสุกร**. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพฯ.

พงษ์ชาญ ณ ลำปาง. **เอกสารประกอบการเรียนการสอนรายวิชา การผลิตสุกร(Swine Production)**. สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

พระราชกฤษฎีกาจัดตั้งองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. 2550. **ประกาศในราชกิจจานุเบกษา**. เล่ม 124 ตอนที่ 31 ก : 53-69.

มณฑิรา ยุติธรรม. 2544. **การประเมินหาพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวมเพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์จากฟาร์มสุกร และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลางและเล็ก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. การจัดการทรัพยากรชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์. 2546. **เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์**. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ. 2543. **โครงการที่ปรึกษาเพื่อประเมินผลโครงการส่งเสริมก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์เป็นพลังงานทดแทนและปรับปรุงสิ่งแวดล้อม**. ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

สุวิทย์ เฑียรทอง. 2546. **หลักการเลี้ยงสัตว์**. โรงพิมพ์ โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์. กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาณัติ มีป้อม. 2544. **การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการจัดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวม เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารขนาดกลางและเล็ก เพื่อเป็นพลังงานทดแทน:ปริมาณและคุณสมบัติของเสียรวม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. การจัดการทรัพยากรชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

EIA. 2003. **A Look at Residential Energy Consumption in 2001**. Total Energy Consumption in U.S. Households by Type of Housing Unit 2001, USA.

EGRID. 2006. **Environmental Protection Agency**. Washington, DC.

EPA. 2007. **Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: Fast Facts 1990-2005**. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC.

IPCC. 2006. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Geneva, Switzerland

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายณัฐพงษ์ ศรีคำแขก
วัน เดือน ปี ที่เกิด	14 กุมภาพันธ์ 2528
สถานที่เกิด	อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชา ส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ประจำปีงบประมาณ 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์