



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ชุดโครงการ

เรื่อง

การสร้างมูลค่าเพิ่มลำไยตากเกรด

Increase Value-Added of Low Grade Longan

โดย

ณัฐวุฒิ ดุษฎี อัจฉรา แก้วกล้า และอภิชาติ สวนคำทอง

2555



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การสร้างมูลค่าเพิ่มลำไยตากเกรด
Increase Value-Added of Low Grade Longan

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2554
จำนวนเงิน 900,000 บาท

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2554
จำนวน 300,000 บาท

ผู้อำนวยการชุดโครงการวิจัย ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ คุษฎี

หัวหน้าโครงการย่อย
หัวหน้าโครงการย่อยที่ 1 : ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ คุษฎี
หัวหน้าโครงการย่อยที่ 2 : ดร.อัจฉรา แก้วกล้า
หัวหน้าโครงการย่อยที่ 3 : นายอภิชาติ สวนคำทอง

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30 กันยายน 2555

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	ข
รายละเอียดชุดโครงการวิจัย	ฅ
บทนำ	1
ความสำคัญของการวิจัย	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
โครงการที่ 1 ศักยภาพการผลิตเอทานอลและไบโอแก๊สจากลำไยตกเกรด	4
บทคัดย่อ	5
Abstract	6
บทนำ	7
การตรวจเอกสาร	10
อุปกรณ์และวิธีการ	23
ผลการวิจัย	34
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย	52
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	61
โครงการที่ 2 การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดด้วยระบบฟลูอิดไอเซนซ์ไอน้ำ	69
บทคัดย่อ	70
Abstract	71
บทนำ	72
การตรวจเอกสาร	74
อุปกรณ์และวิธีการ	91
ผลการวิจัย	109
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย	120
เอกสารอ้างอิง	124
ภาคผนวก	127

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
โครงการที่ 3	
การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิต	137
เอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด	
บทคัดย่อ	138
Abstract	139
บทนำ	140
การตรวจเอกสาร	143
อุปกรณ์และวิธีการ	152
ผลการวิจัย	160
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย	173
เอกสารอ้างอิง	175
ภาคผนวก	177

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางโครงการที่ 1 ศักยภาพการผลิตเอทานอลและไบโอแก๊สจากลำไยตกเกรด	
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลผลิตเอทานอลจากพืชต่างๆ 1 ตัน	8
ตารางที่ 2 องค์ประกอบของเนื้อลำไย	9
ตารางที่ 3 แสดงสัดส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ ในก๊าซชีวภาพ	15
ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติของแก๊สชีวภาพ	16
ตารางที่ 5 แสดงการทดแทนพลังงานจากแหล่งอื่นๆของแก๊สชีวภาพ 1 ลบ.ม.	16
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อลำไยอบแห้งและเนื้อลำไยสด	34
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดลำไยสด	35
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกลำไย	35
ตารางที่ 9 ปริมาณองค์ประกอบของลำไยตกเกรด 1 กก.	36
ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางเคมีของลำไยสดและลำไยอบแห้งตกเกรด	36
ตารางที่ 11 ผลการหาสถานะที่เหมาะสมในระดับสเกลขนาดเล็กของลำไยสดตกเกรด	37
ตารางที่ 12 ผลการหาสถานะที่เหมาะสมในระดับสเกลขนาดเล็กของลำไยอบแห้งตกเกรด	38
ตารางที่ 13 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้นแบบ (ลำไยอบแห้ง)	40
ตารางที่ 14 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้นแบบ (ลำไยสด)	41
ตารางที่ 15 ผลการทดสอบค่าน้ำหมักที่ใช้ในการทำไบโอแก๊สก่อนการบรรจุลงในถังระบบ	43
ตารางที่ 16 รายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับต้นทุนคงที่	50
ตารางที่ 17 รายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับต้นทุนผันแปร	51
ตารางที่ 18 การประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเอทานอลจากลำไยตกเกรด	51
 ตารางโครงการที่ 2 การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดด้วยระบบฟลูอิดไอเซนไอน้ำ	
ตารางที่ 1 แสดงวัตถุดิบชนิดต่างๆที่ได้มีการศึกษาในการผลิตถ่านกัมมันต์	75
ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มของขนาดรูพรุน	80
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้น ทางกายภาพและทางเคมี	83
ตารางที่ 4 สภาวะในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลำไยตกเกรด	94
ตารางที่ 5 ค่าการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 6 สภาวะในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลำไยตกเกรด	112
ตารางที่ 7 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ	114
ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในส่วนของต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร	118
ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในส่วนของกำไรต่อปีและการคืนทุน	119
ตารางที่ 10 คุณสมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์ทางการค้าและถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด	121
ตารางโครงการที่ 3 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิต	
เอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด	
ตารางที่ 1 สมดุลมวลของการผลิตและปริมาณผลิตภัณฑ์เมื่อใช้วัตถุดิบ 1 ตัน	141
ตารางที่ 2 ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการเกษตรปัจจุบัน	146
ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์จากแหล่งต่างๆ	147
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ DDG ที่ผ่านกระบวนการผลิต เอทานอลและแก๊สชีวภาพ	160
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยมาตรฐานกับปุ๋ยจากลำไยตกเกรด	162
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในการทดลองปลูกข้าวโพดพันธุ์ หวานแม่โจ้ 84 F1	163
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบน้ำหนักจากการสุ่มโดยเฉลี่ยของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1	165
ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์ ความหวาน (Brix) ของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1	167
ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ที่ได้จากการทดลอง	167
ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างน้ำหนักต่อฝักของข้าวโพดในการทดลอง	169
ตารางที่ 11 ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Two-way ANOVA without replication ของน้ำหนักต่อฝักข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง ($\alpha = 0.05$)	169
ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง	170
ตารางที่ 13 ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Two-way ANOVA without replication ของการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง ($\alpha = 0.05$)	170
ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในส่วนของต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร	171
ตารางที่ 15 การคิดต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	171
ตารางที่ 16 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด	172

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพโครงการที่ 1 ศักยภาพการผลิตเอทานอลและไบโอแก๊สจากลำไยตกเกรด	
ภาพที่ 1 วิฤติการณ์ด้านราคาซื้อขายลำไยปี 2548	7
ภาพที่ 2 การเตรียมผลิตเอทานอลจากเนื้อลำไยปั่น	10
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลโดยการหมักยีสต์	10
ภาพที่ 4 เครื่องกลั่นแยกเอทานอล	11
ภาพที่ 5 ขั้นตอนของปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการบำบัดแบบแอนแอโรบิก	15
ภาพที่ 6 แผนการดำเนินการทดลองผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด	24
ภาพที่ 7 การเตรียมหมักน้ำลำไยตกเกรดตามสภาวะต่างๆ	25
ภาพที่ 8 การหมักน้ำลำไยในระดับสเกลขนาดเล็กตามสภาวะต่างๆ	25
ภาพที่ 9 ลำไยตกเกรดจากแหล่งรับซื้อ ณ ตำบลแม่แฝก อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่	26
ภาพที่ 10 การล้างและแช่ลำไยตกเกรดเพื่อฆ่าเชื้อโรค	26
ภาพที่ 11 การบีบอัดเอาน้ำลำไยด้วยเครื่องอัดไฮโดลิก	27
ภาพที่ 12 เครื่องบดละเอียดลำไยก่อนที่จะนำไปต้มเพื่อฆ่าเชื้อโรคและสกัดน้ำตาล	27
ภาพที่ 13 การต้มเพื่อฆ่าเชื้อโรคและสกัดน้ำตาลออกจากลำไยตกเกรด	28
ภาพที่ 14 การต่อยีสต์ <i>Sacharomyces cerevisiae</i> จากน้ำลำไยลงอาหารเลี้ยงเชื้อ YM broth	28
ภาพที่ 15 ถังหมักน้ำลำไยตกเกรดขนาด 150 ลิตร	28
ภาพที่ 16 รายละเอียดโครงสร้างหม้อกลั่นแอลกอฮอล์ต้นแบบ	29
ภาพที่ 17 หม้อกลั่นเอทานอลต้นแบบ	29
ภาพที่ 18 เครื่องมือในการวัดปริมาณแอลกอฮอล์ (Hydro meter)	30
ภาพที่ 19 ขั้นตอนการผลิตแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด	31
ภาพที่ 20 กากลำไยที่ได้จากการบีบเอาน้ำตาลเพื่อนำไปหมักแอลกอฮอล์	32
ภาพที่ 21 มูลวัวสดที่นำมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตแก๊สชีวภาพจากกากลำไยตกเกรด	32
ภาพที่ 22 การเติมกากลำไยผสมมูลวัวสดลงไปถังหมัก	33
ภาพที่ 23 การเกิดแก๊สหลังจากการเติมกากลำไยที่หมักผสมกับมูลโคในถังขนาด 200 ลิตร	33
ภาพที่ 24 โครงสร้างเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ต้นแบบ	39
ภาพที่ 25 ตัวถังต้มน้ำสำที่มีการดัดแปลงโดยการให้ความร้อนจากการเผาท่อสแตนเลส	40
ภาพที่ 26 การกลั่นเอทานอลจากลำไยตกเกรด (แบบกะ)	41
ภาพที่ 27 ลักษณะถังหมักไบโอแก๊สที่ใช้ในการทดลอง	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 28 ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของการหมักย่อยร่วมระหว่างลำไยกับมูลโค	44
ภาพที่ 29 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในการทดลอง	45
ภาพที่ 30 ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นในการทดลอง	46
ภาพที่ 31 ปริมาณ COD ในแต่ละวันของการทดลอง	47
ภาพที่ 32 ปริมาณ Alkalinity ของน้ำหมักจากลำไยผสมกับมูลโคในถังหมัก	48
ภาพที่ 33 ค่าพีเอชของน้ำหมักจากลำไยผสมกับมูลโคในถังหมัก	48
ภาพที่ 34 ปริมาณน้ำตาลรีดิวส์ที่ตรวจพบในถังระบบ(ถังผลิตแก๊ส)	49
ภาพโครงการที่ 2 การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดด้วยระบบฟลูอิดไอเซนไอน้ำ	
ภาพที่ 1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์	77
ภาพที่ 2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด หรือ เกล็ด	78
ภาพที่ 3 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	79
ภาพที่ 4 แผนการดำเนินการทดลองการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด	92
ภาพที่ 5 ลำไยตกเกรดก่อนการบดและบดละเอียด	93
ภาพที่ 6 กระบวนการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิสูง	94
ภาพที่ 7 กระบวนการกระตุ้นพื้นผิวถ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ	95
ภาพที่ 8 กระบวนการกระตุ้นพื้นผิวถ่านกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริก	96
ภาพที่ 9 ลักษณะของผงถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดที่พร้อมทดสอบคุณภาพ	96
ภาพที่ 10 การเตรียมสารเคมีในกระบวนการหาค่า Iodine number	100
ภาพที่ 11 การวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับฟีนอลโดยใช้เครื่อง Spectro photometer	104
ภาพที่ 12 การศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย	106
ภาพที่ 13 การศึกษาการดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ	107
ภาพที่ 14 การผลิตน้ำส้มควันไม้จากลำไยตกเกรด	108
ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบพื้นผิวของเปลือกลำไยในสถานะต่างๆ	109
ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดซับไอโอดีนกับเวลา ณ อุณหภูมิและความดันต่างๆ	110
ภาพที่ 17 ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ (ZnCl ₂)	111
ภาพที่ 18 ภาพรวมของผลการทดลองที่มีการกระตุ้นด้วยไอน้ำและกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์	112
ภาพที่ 19 พื้นผิวถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดที่ผลิตได้	113

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 20 เปรียบเทียบลักษณะและขนาดรูพรุนของพื้นผิวถ่านชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง	114
ภาพที่ 21 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านไยตเกรด ณ สภาวะการทดลอง ดังตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)	115
ภาพที่ 22 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านไยตเกรด ณ สภาวะการทดลองดังตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)	115
ภาพที่ 23 ความสามารถในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ณ ความเข้มข้น 2 g/L ณ สภาวะการทดลองดังตารางที่ 3.2 (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)	116
ภาพที่ 24 ความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ณ สภาวะการทดลองดังตารางที่ 3.2 (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)	117
ภาพที่ 25 ลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากถ่านไยตเกรดอัดแท่ง	117
 ภาพโครงการที่ 3 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิต	
ภาพที่ 1 ถ่านมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตเอทานอล	141
ภาพที่ 2 แผนการดำเนินการทดลองการผลิตปุ๋ยอัดเม็ดจากถ่านไยตเกรด	153
ภาพที่ 3 ปริมาณของ Distiller's Dried Grains (DDG) จากถ่านไยตเกรด	154
ภาพที่ 4 สภาพของ Distiller's Dried Grains (DDG) ที่ทำการหมักก่อนการอัดเม็ด	155
ภาพที่ 5 ต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยอินทรีย์จากถ่านไยตเกรด	155
ภาพที่ 6 ต้นแบบเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์จากถ่านไยตเกรด	156
ภาพที่ 7 การไถคราดเพื่อเตรียมแปลงเพาะปลูกข้าวโพด	158
ภาพที่ 8 จำนวนข้าวโพดที่จะต้องทำการถอนแยก	158
ภาพที่ 9 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวโพดในช่วง 28 – 30 วัน	159
ภาพที่ 10 ลักษณะของ DDG ก่อนระเหยไล่ความชื้นและหลังไล่ความชื้น	161
ภาพที่ 11 การเจริญเติบโตของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ในระยะเวลา 60 วัน	163
ภาพที่ 12 จำนวนแถวต่อฟีกและความยาวของฟีกของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1	164

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 13 น้ำหนักฝักและจำนวนเมล็ดต่อฝักของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1	164
ภาพที่ 14 ลักษณะของฝักข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ที่ยังไม่แกะเปลือก	165
ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบขนาดของข้าวโพดที่ใช้ปุ๋ยเคมี, ปุ๋ยถั่วเขียวอัดเม็ด และไม่ใช้ปุ๋ยชนิดใด	166
ภาพที่ 16 ลักษณะของการเรียงตัวของเมล็ดข้าวโพดหวานสองสีพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1	166

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุน
ทุนอุดหนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2554 เป็นจำนวนเงิน 900,000 บาท

คณะผู้วิจัย

บทสรุปผู้บริหาร

จากผลการดำเนินโครงการในภาพรวม พบว่า ในกระบวนการดำเนินโครงการนั้นมีปัญหาและอุปสรรคหลายอย่างที่มีผลต่อการดำเนินการทดลอง อาทิเช่น เมื่อเพิ่มขนาดของการผลิตเอทานอลจากระดับห้องปฏิบัติการไปเป็นระดับปฏิบัติการจริงที่มีปริมาณของลำไยตกเกรดตั้งแต่ 100 กิโลกรัมขึ้นไป การควบคุมปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์และแบคทีเรียต่างๆค่อนข้างจะลำบาก ไม่เหมือนกับในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งกระบวนการกำจัดและฆ่าเชื้อสุดท้ายจะใช้หม้อนิ่งความดันไอ (Auto Cave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส 15 ปอนด์ ซึ่งจะสามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์และแบคทีเรียได้ทุกชนิด โดยไม่มีปัญหาในเรื่องของเชื้อปนเปื้อน แต่ในระดับปฏิบัติการจริงนั้น ทางผู้ทำการทดลองได้ทำการฆ่าเชื้อโรค โดยใช้กระบวนการต้มสัปดาห์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ณ ความดันบรรยากาศ (1 atm) เมื่อดำเนินการหมักเอทานอลในระยะเวลาเกินกว่า 7-10 วัน กลับพบว่าเอทานอลที่ผลิตได้ถูกแบคทีเรียจำพวก Aceto bacter เปลี่ยนเอทานอลไปเป็นกรดอะซิติก ซึ่งทำให้ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้นั้นลดลงไม่ได้ผลตามที่ต้องการ โดยลำไย 1 ตัน สามารถผลิตเอทานอล 95% ได้ 65.68 ลิตร ซึ่งในอนาคตอาจจะต้องมีการเพิ่มกระบวนการย่อยสลายเซลล์จากเปลือกและเมล็ดของกากลำไยตกเกรดและหาวิธีการที่จะจัดการด้านความร้อนสำหรับฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และแบคทีเรียในระดับสเกลใหญ่ เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตเอทานอลอีกทางหนึ่งด้วย

จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น กระบวนการที่จะได้ซึ่งความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่สูงนั้นมีปัจจัยอยู่ 2 อย่างคือ กระบวนการหมัก และกระบวนการกลั่น โดยกระบวนการหมักนั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถของยีสต์ที่ใช้หมัก สายพันธุ์ ความแข็งแรงและช่วงเวลาในการผลิตเอทานอลสูงสุด และในส่วนของความเข้มข้นของน้ำตาล ชนิดของน้ำตาล ก่อนที่เอทานอลนั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการหมักสูงขึ้น (ได้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นสูง) และกระบวนการกลั่น จะขึ้นอยู่กับเครื่องกลั่นต้นแบบแบบกะขนาด 50 ลิตร ซึ่งมีการดัดแปลงโดยการติดตั้งท่อน้ำวนสำหรับเผา เพื่อเพิ่มพื้นที่การรับความร้อนและเพิ่มแรงดันในการระเหยของแอลกอฮอล์

โดยจากการทดลองในระดับสเกลใหญ่นั้น พบปัญหาในกระบวนการหมัก คือ แอลกอฮอล์ในน้ำสำที่ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ยังคงเหลืออยู่ และเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่วัดได้ของน้ำสำมีน้อย คือ 4.1 และ 4.3 % ตามลำดับ การที่แอลกอฮอล์ในน้ำสำถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติกนั้น มีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนแบคทีเรียที่ผลิตกรดอะซิติก ซึ่งจะส่งผลให้การหมักหยุดชะงักได้ โดยจากการทดลองในระดับสเกลใหญ่นั้น ได้มีกระบวนการผ่านความร้อนให้กับน้ำลำไยที่อุณหภูมิน้ำเดือด คือ 95 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-8 ชั่วโมง เพื่อฆ่าเชื้อโรคชนิดต่างๆที่ปนเปื้อนมากับลำไยตกเกรด เพราะลำไยตกเกรดที่ไปรับซื้อมาทำการทดลองนั้น จะอยู่ในสภาพที่ถูกปล่อยทิ้งไว้ตามพื้นดินเหมาะแก่การปนเปื้อนของเชื้อโรคทุกชนิด ซึ่งเป็นอันตรายต่อกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์

Saccharomyces cereviceae กรณิที่เชื้อโรคเหล่านี้นั้นไม่ตาย เนื่องจากไม่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิและความดันสูง โดยในระดับสเกลเล็กขนาด 500 ml. จะไม่พบปัญหาในเรื่องของการปนเปื้อนและกระบวนการเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติกของเอทานอลเลย ทั้งนี้น่าจะมาจากกระบวนการให้ความร้อนในระดับสเกลใหญ่นั้นไม่สามารถฆ่าเชื้อที่มีความสามารถในการผลิตกรดอะซิติกได้ ซึ่งเชื้อชนิดนี้มีความสามารถในการดำรงชีวิตได้ดีทั้งในสภาวะมีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน จะเข้าแข่งขันแย่งชิงแหล่งพลังงาน เช่น กลูโคส แล้วผลิตกรดอะซิติกออกมายับยั้งการเจริญเติบโตและกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* ซึ่งกรดอะซิติกจะมีผลโดยตรงต่อเซลล์ของยีสต์ โดยจะทำให้เซลล์ยีสต์นั้นแตกและถูกยับยั้งการเจริญเติบโตในที่สุด สังเกตได้จาก การที่มีปริมาณน้ำตาลเหลืออยู่และการได้กลิ่นเหม็นเปรี้ยวคล้ายน้ำส้มสายชู เมื่อเปิดถังหมักออกมา ซึ่งการที่จะฆ่าเชื้อโรคชนิดนี้ได้จะต้องใช้ความดันที่ 15 - 21 bar อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 - 30 นาที เพราะมีสปอร์ที่ทนความร้อนและความดันที่สูงได้ กระบวนการให้เพียงแค่ความร้อนอย่างเดียวนั้นไม่อาจที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดนี้ได้

รูปแบบของการหมักก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* ถ้าใช้กระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง โดยการเติมแหล่งพลังงานให้กับยีสต์ เช่น น้ำตาลกลูโคสและธาตุไนโตรเจน แล้วกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ก็จะสูงขึ้นในระดับหนึ่ง เพราะยีสต์จะได้รับแหล่งพลังงานคือ น้ำตาลกลูโคส ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตและอีกส่วนหนึ่งจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตแอลกอฮอล์ ในส่วนของธาตุไนโตรเจนนั้นยีสต์จะใช้ในการแบ่งเซลล์ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประชากรในการที่ยีสต์จะผลิตแอลกอฮอล์ที่สูงขึ้น แต่จากการทดลองซึ่งเป็นแบบกะ พบว่าประสิทธิภาพในการหมักจะต่ำกว่าประสิทธิภาพในการหมักแบบต่อเนื่อง เพราะกระบวนการหมักแบบกะนั้น จะใส่แหล่งอาหารและแหล่งพลังงานเพียงครั้งเดียว จนจบกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ ส่วนกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องนั้นจะมีการเติมแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานดังที่กล่าวมาให้ตลอด ข้อดีของกระบวนการหมักแบบกะ คือ เหมาะกับการผลิตที่มีปริมาตรไม่มากนัก ในการหมักแต่ละครั้งยีสต์ที่ใช้มีความแข็งแรงและอ่อนไวดี ทั้งนี้เพราะต้องเตรียมยีสต์ขึ้นใหม่อยู่เสมอ ทำให้การฆ่าเหล่าเกิดขึ้นยาก การควบคุมให้ระบบอยู่ในสภาวะการหมักแบบปลอดเชื้อทำได้ง่าย และการควบคุมระบบทำได้ง่ายไม่ซับซ้อน (อุเทน, 2554)

ในส่วนของการวนการกลั่นนั้น พบว่าทั้งสองการทดลอง คือลำไยอบแห้งตากเกรดและลำไยสดตากเกรด มีประสิทธิภาพการกลั่นที่ใกล้เคียงกัน คือ 48.94 % และ 50.36 % ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับการกลั่นแบบต่อเนื่องในระบบอุตสาหกรรมแล้วจะเป็นครั้งหนึ่งของระบบอุตสาหกรรม เพราะในกระบวนการกลั่นแบบกะนั้น จะต้องกลั่นให้แอลกอฮอล์หมดก่อนในขั้นตอนแรก ถึงจะนำแอลกอฮอล์ที่ได้ นั้นมากลั่นซ้ำอีกรอบ 2 เพื่อเพิ่มความเข้มข้นยิ่งขึ้นไป แต่ในกระบวนการกลั่นแบบต่อเนื่องนั้นจะทำการให้ความร้อนในครั้งเดียว แต่จะมีการควบแน่นหลายๆครั้งเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ขึ้นไป จนได้ความเข้มข้นที่ต้องการแล้วจึงจะหยุดการดำเนินการ ทั้งนี้ในอนาคตกระบวนการพัฒนาการกลั่นในระดับ

ชุมชนนั้น จะต้องอาศัยองค์ความรู้ในหลายๆด้าน มาประยุกต์ใช้ เพราะมาตรฐานการกลั่นจะได้เท่าเทียมกัน เพื่อความก้าวหน้าของระบบอุตสาหกรรมในชุมชน ซึ่งจะเป็นรากฐานเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศต่อไป

ในส่วนของการกระบวนการผลิตไบโอแก๊ส พบว่า ปริมาณแก๊สมีเทนที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูงจากการทดลองที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 68.5% รองลงมา คือการทดลองที่ 2 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งแก๊สจากการทดลองที่ 3 จุดติดไฟได้ดี ไม่ค่อยมีกลิ่นของแก๊สไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ ซึ่งแสดงว่าระบบการผลิตแก๊สมีเทนกำลังจะเสถียร โดยเมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของคุณสมบัติทางเคมีของลำไยแล้ว จากตารางที่ 1.2 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดลำไยสด พบว่า มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 52.50 g/100 g รองลงมา คือโปรตีน Crude Fiber, Fat และ Ash ตามลำดับ โดยมีปริมาณเท่ากับ 5.34, 1.30 และ 1.16 g/100 g ตามลำดับ ในส่วนขององค์ประกอบของเปลือกลำไย จากตารางที่ 1.3 พบว่า มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 45.55 g/100 g รองลงมา คือ Crude Fiber, Protein, Ash และ Fat ตามลำดับ โดยมีปริมาณเท่ากับ 23.64, 4.56, 3.07 และ 0.56 ตามลำดับ ซึ่งโดยกระบวนการทางธรรมชาติแล้ว การย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน นั้นจะอาศัยความสามารถทางธรรมชาติของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ซึ่งแต่ละชนิดก็มีความสามารถในการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยคาร์โบไฮเดรตนั้นจะถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ จากนั้นถึงจะถูกย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลกลูโคส จากการทดลองผลิตไบโอแก๊สจากลำไยตกเกรดนั้น ได้มีการออกแบบการทดลองที่สำคัญ อยู่ 2 ระบบ คือ ระบบการผลิตกรด และระบบการผลิตแก๊ส จากการศึกษาข้อมูลของ (วิภารัตน์, 2551) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบไร้อากาศสองขั้นตอน โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบสร้างกรดไร้อากาศ (Anaerobic Acid Reactor) และถังปฏิกรณ์แบบบูเอเอสดี้ (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ซึ่งจะเป็นถังสร้างมีเทน โดยพบว่า การเตรียมหัวเชื้อตะกอนสลัดจ์ มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกรดมากกว่า ตะกอนสลัดจ์ที่ไม่มีการเตรียมและให้ผลของเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนที่สูงกว่าการผลิตแก๊สมีเทนในขั้นตอนเดียว โดยจากการทดลองพบว่ากระบวนการหมักกากลำไยตกเกรดผสมกับมูลโค เมื่อนำไปหมักในถังเตรียม(ถังผลิตกรด) จะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่(เปลือก, เนื้อ และเมล็ด) โดยจุลินทรีย์และแบคทีเรียชนิดที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ เรียกขั้นตอนนี้ว่า Hydrolysis โดยจะย่อยสลายพวกเซลลูโลสไปเป็นคาร์โบไฮเดรตจากนั้นถึงจะย่อยไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ และสุดท้ายถึงจะกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน จากนั้นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก จะเข้าสู่กระบวนการสร้างกรดในขั้นตอน Fermentation หรือ Acidogenesis โดย Acidogenic Bacteria จะได้กรดไขมันระเหยง่าย Volatile fatty acid (VFA) สังเกตได้จากมีกลิ่นหอมปนเปรี้ยวคล้ายน้ำส้มสายชู ซึ่งจะเป็นสารจำพวก Propionic Acid Butyric Acid และ Acetic Acid ค่า pH อยู่ในช่วง 3.8 – 4.6 จากการสังเกตจะพบเห็นฟองอากาศผุดขึ้นมาเป็นระยะๆ เมื่อระยะเวลาการหมักประมาณ 15 -20 วัน ซึ่งเมื่อนำไปเติมในถังระบบที่ปราศจากออกซิเจน ที่มีแบคทีเรียและจุลินทรีย์จำพวก Facultative anaerobic bacteria และ Methanogen bacteria อยู่ การทดลองในขั้นนี้จะพบว่า โดยเฉลี่ยทั้ง 3 การทดลองนั้น จะเกิดแก๊สขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในการทดลองที่ 1 และ 2 นั้น จะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าปริมาณแก๊สมีเทน แต่เมื่อถึงการ

ทดลองที่ 3 กลับพบว่าปริมาณแก๊สมีเทนที่สูงกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เป็นเพราะแบคทีเรียและจุลินทรีย์ชนิดที่มีความสามารถในการใช้อากาศและไม่ใช้อากาศนั้น มีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ดีทั้ง 2 สภาวะ ต่างกับเมทาโนเจนแบคทีเรียที่มีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ดีเพียงสภาวะเดียว คือไร้ออกซิเจน ทำให้ในช่วงแรกของการทดลองนั้น(การทดลองที่ 1 และ 2)กระบวนการผลิตแก๊สมีเทนนั้นมีค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อเข้าสู่การทดลองที่ 3 การเพิ่มประชากรของเมทาโนเจนแบคทีเรียมีในปริมาณที่สูงและความสามารถในการผลิตแก๊สมีเทนก็เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ยับยั้งการเจริญเติบโตและยับยั้งการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ของพวก Facultative anaerobic bacteria ซึ่งจากการทดลองจะสามารถประมาณเวลาได้ว่า การที่ระบบจะคงที่นั้น จะต้องอาศัยเวลาประมาณ 25 – 30 วัน ในการเจริญเติบโตและการสร้างแก๊สมีเทนของเมทาโนเจนแบคทีเรีย ซึ่งปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งในการกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพนั้น คือการการกวนผสม เพื่อให้จุลินทรีย์เข้าถึงเป้าหมายที่จะทำการย่อยสลายอินทรีย์สารต่างๆ เพราะจุลินทรีย์และแบคทีเรียไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่เองได้ จะต้องอาศัยการนำพาของแรงกลต่างๆ ถึงจะเกิดการดำเนินกิจกรรมนั้นๆ ถ้าในถังเตรียมและถังระบบไม่มีกระบวนการกวนเกิดขึ้นแล้ว ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สของพวกจุลินทรีย์และแบคทีเรียก็จะลดต่ำลง

ในส่วนของการกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดนั้น ในช่วงแรกของการกระบวนการทดลอง พบว่า มีปัญหาในเรื่องของการเผาไหม้จนเป็นเถ้าของกากลำไยที่ผ่านการบดละเอียดจากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีกระบวนการนำกากลำไยตากเกรดไปทำการอัดแท่ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทนทานต่อการกลายสภาพไปเป็นเถ้าในกรณีที่โดนความร้อนสูงๆตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียสขึ้นไป ผลปรากฏว่าสามารถที่จะแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดี จนนำไปสู่กระบวนการทดสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆของถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดได้ในระดับที่น่าพอใจ ซึ่งในอนาคตจะต้องมีการพัฒนาคุณภาพของถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรด ให้ดียิ่งๆขึ้นไป จากการทดลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดโดยใช้ลักษณะของการเผาทั้งลูกนั้น มีทั้งการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิต่างๆ รวมทั้งยังใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีในการกระตุ้น พบว่า ให้ค่า Iodine number สูงสุดเท่ากับ 941.63 ซึ่งจากการกระบวนการผลิตเอทานอลนั้นเหลือกากในลักษณะบดหยาบ ซึ่งถ้านำเข้าเตาเผาอุณหภูมิสูงจะทำให้ไหม้กลายเป็นเถ้า จึงต้องมีวิธีการที่จะทำให้ไม่เกิดการกลายเป็นเถ้า ดังนั้นจึงได้นำมาซึ่งกระบวนการอัดแท่ง และทำการเปลี่ยนสารเคมีในการกระตุ้นมาเป็นกรดฟอสฟอริก เพราะมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนที่ดีกว่าด่างซึ่งก็คือซิงค์คลอไรด์ โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า และทำการตรวจสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆ ดังนี้ คือ % Yield, % ความชื้น, ค่า Iodine number, % การดูดซับสารอินทรีย์, % การดูดซับฟีนอล และ % การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีคุณสมบัติที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะที่ผลิตได้ โดยอาจเป็นเพราะว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้านั้นทำมาจากกะลามะพร้าว ซึ่งมีความหนาแน่นของมวลที่สูง แต่ถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นมวลเบาและความหนาแน่นของมวลนั้นน้อย ประสิทธิภาพในการดูดซับจึงต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า โดยในส่วนของ % Yield ถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะมีค่า % Yield อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ในส่วนของ % ความชื้นจะอยู่ในระดับที่

มาตรฐานกำหนด ยกเว้นสภาวะที่ 1 และ 2 ซึ่งมี % ความชื้นเท่ากับ 10.99 และ 10.57 % ในส่วนของค่า Iodine number พบว่ามีค่าสูงกว่า 1,000 ทุกสภาวะการทดลอง โดยถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่า Iodine number สูงที่สุด ซึ่งเท่ากับ 1,263.7 ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะ มีค่า Iodine number สูงกว่า ถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนที่ 1 ที่ผลิตจากลำไยทั้งลูก โดยทั้ง 8 สภาวะจะมีค่า Iodine number อยู่ในช่วง 1,006.8 - 1,203.7

ในส่วนของการดูดซับกลิ่น ซึ่งจะทำการตรวจสอบสมบัติโดยวัดจากการดูดซับฟีนอล นั้น พบว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับกลิ่นได้ถึง 100 % โดยในส่วน of ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับกลิ่นที่ต่ำกว่า โดยอยู่ในช่วง 94.5 – 98.15 % อาจเกิดจากสารเคมีที่ใช้ซึ่งเป็นความลับของบริษัทผู้ผลิต โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะนั้น ขนาด และจำนวนของรูพรุน นั้นมีผลต่อการดูดซับกลิ่นอย่างแน่นอน สอดคล้องกับปริญทร (2551) กล่าวว่าจำนวนของรูพรุนนั้นมีผลต่อปริมาณและความสามารถในการดูดซับอนุภาคต่างๆ ซึ่งจากการที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ถ้าค่า Iodine number ยิ่งสูง แสดงถึงความสามารถในการดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า 28 อังสตรอม หรือ 10^{-8} cm. ได้เป็นอย่างดี แสดงว่าอนุภาคในอากาศที่ลอยลอยและส่งผลให้เกิดกลิ่นนั้น สามารถที่จะถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะได้เป็นอย่างดี ด้วยการแลกเปลี่ยนประจุซึ่งกันและกัน หรือ โมเลกุลของแก๊สที่มีขั้วกับพื้นผิวที่ไม่มีขั้ว (พัชร, 2543) ทั้งนี้ปัจจัยหลักที่ไม่อาจควบคุมประสิทธิภาพในการดูดซับได้ก็คือ ชนิดของอนุภาคในอากาศและอุณหภูมิ ณ เวลาการดูดซับ โดยถ้ามีอุณหภูมิที่สูง ประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลง

ในส่วนของการดูดซับสารอินทรีย์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับอยู่ที่ระดับ 81.81 % และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะนั้น มีความสามารถในการดูดซับอยู่ในช่วง 4.55 – 63.63 % ซึ่งต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า ทั้งนี้เป็นเพราะในกระบวนการใช้ถ่านทั้ง 8 สภาวะเป็นตัวกรอง พบว่ามีลักษณะเป็นมวลเบาลอยน้ำ แต่ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความหนาแน่นของมวลที่สูง จึงสามารถที่จะดูดซับได้ดีกว่า ซึ่งเมื่อพิจารณา พบว่าในน้ำเสียที่นำมาทดลองนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำหลายชนิดที่ไม่อาจควบคุมได้ ซึ่งอาจมีอนุภาคที่ใหญ่เกินกว่า 10^{-8} cm ส่งผลให้ไม่สามารถที่จะถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะ และการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างอนุภาคที่มีความหลากหลายกับพื้นผิวอาจจะมีประสิทธิภาพลดลงในระดับหนึ่ง

ในส่วนของการดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับสูงถึง 99.15 % และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีความสามารถในการดูดซับอยู่ที่ระดับ 88.34 – 93.67 % ซึ่งต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าอย่างเห็นได้ชัด อาจจะเป็นผลมาจากการคาร์บอนไนซ์เซชันที่อุณหภูมิ 200 – 400 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้อุณหภูมิที่ออกไซด์ที่มีความเป็นกรดบนผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ (พัชร, 2543) โดยจะแสดงคุณสมบัติของกรด เมื่ออยู่ในสารละลาย หมู่ฟังก์ชันนี้จะพบในถ่านกัมมันต์ชนิดแอต ซึ่งได้จากการเผาวัตถุดิบในอากาศ ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันกลุ่มนี้ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) หมู่ฟีนอลิกคาร์บอกซิล (Phenolic Carboxyl) หมู่ควิโนนอยด์ (Quinonoid) หมู่กรด

Carboxyl Acid Group เป็นต้น ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะ เมื่อนำไปดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำซึ่งมีความเป็นกรดอยู่แล้ว อาจจะมีประสิทธิภาพที่ลดลง แต่ในส่วนของการถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่น่าจะมีการใช้สารเคมีที่มีความเป็นด่างในกระบวนการกระตุ้นทางเคมี และการคาร์บอนไนซ์เซชันที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ซึ่งจะปรากฏหมู่ฟังก์ชันที่มีลักษณะความเป็นด่างซึ่งเมื่ออยู่ในสารละลายจะสามารถดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำโดยการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกันได้เป็นอย่างดี (ปริญทร, 2551)

เมื่อพิจารณาการทดลองทั้ง 2 ขั้นตอน ตามกระบวนการที่ได้ออกแบบไว้ พบว่า การผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดในลักษณะการอัดแท่งให้คุณภาพทางด้านค่า Iodine number สูงกว่าการคาร์บอนไนซ์เซชันลำไยทั้งลูก โดยในกระบวนการทดลองนี้ มีความพยายามที่จะค้นหาคุณสมบัติ ที่เด่นในด้านต่างๆ ของถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรด เพื่อการต่อยอดองค์ความรู้ในอนาคต ซึ่งจากการทดลองทำให้ทราบได้ว่าถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดนั้นมีความสามารถที่จะดูดกลืนและดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำได้เป็นอย่างดี โดยในอนาคตอาจจะมีการพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้โดยการเปลี่ยนสารเคมีในการกระตุ้นและพัฒนาชุดกระตุ้นด้วยไอน้ำให้มีประสิทธิภาพที่สูงยิ่งขึ้นไป

ในส่วนของการบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตากเกรดนั้น พบว่า การย่อยสลายจากกระบวนการผลิตไบโอแก๊ส นั้นยังไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร จึงได้มีการนำมาหมักโดยใช้น้ำหมักชีวภาพร่วมกับวัสดุชนิดอื่นๆ เป็นเวลา 20 วัน จึงทำการอัดเม็ดและเมื่อนำไปทดลองปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ หวานแม่โจ้ 84 F1 พบว่า ความสามารถในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตยังดี้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นหลัก ซึ่งในอนาคต อาจจะมีการยืดระยะเวลาการหมักในถังไบโอแก๊สออกไป ซึ่งจะเป็นการช่วยในเรื่องของกระบวนการย่อยที่สมบูรณ์แบบ และอาจจะประชาสัมพันธ์ให้เกษตรกรหันมาสนใจในเรื่องของการใช้ปุ๋ยลำไยอัดเม็ดเป็นปุ๋ยหลักและใช้ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยรอง โดยอาจจะเป็นการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้อีกทางหนึ่งด้วย

จากการทดลองผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตากเกรด พบว่า คุณภาพปุ๋ยที่ได้อยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งเมื่อนำไปใช้งาน โดยนำไปปลูกข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 โดยใช้การทดลองในแปลงปลูกแบบ RCBD เปรียบเทียบกับแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมี และแปลงที่ไม่ใช้ปุ๋ยชนิดใดเลย พบว่าคุณภาพของข้าวโพดที่ได้ในส่วนของคุณภาพ น้ำหนัก แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีจะสูงกว่า แปลงที่ใช้ปุ๋ยลำไยอัดเม็ด และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยชนิดใดเลย โดยจะอยู่ที่ระดับ 44.90, 33.90 และ 20.90% ตามลำดับ ในส่วนของความหวานที่วัดออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ Brix แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีจะสูงกว่า แปลงที่ใช้ปุ๋ยลำไยอัดเม็ด และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยชนิดใดเลย โดยจะอยู่ที่ระดับ 10, 9.3 และ 7% Brix ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพดินที่เหมาะสมด้วย โดยที่หมู่บ้านวังป้อมมีสภาพของดิน คือมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.13 ค่า Organic Matter เท่ากับ 1.53 % และแร่ธาตุที่จำเป็น N P K ที่ระดับ 0.076 %, 56 ppm และ 139 ppm ตามลำดับ จากปัจจัยที่กล่าวมานั้น ถือว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตากเกรดที่ผ่านกระบวนการหมักในระบบของไบโอแก๊สนั้น มีคุณภาพในระดับที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ แก้ไขเพิ่มเติม โดยพระราชบัญญัติปุ๋ยฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 โดยเมื่อ

นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลอง Random Complete Block Design (RCBD) และใช้โปรแกรม Excel 2007 ในการวิเคราะห์ และใช้แผนการวิเคราะห์ คือ Two-way ANOVA Without Replication พบว่า ในส่วนของน้ำหนักต่อฝักข้าวโพดในแต่ละแปลงทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และในส่วนของ การเจริญเติบโตของข้าวโพดในแต่ละแปลงทดลองพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นกัน

ทั้งนี้ในการทดลองปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ 84 F1 จากการแบ่งแปลงปลูกทดลอง พบว่าการที่แปลงควบคุมได้รับเพียงแร่ธาตุอาหารจากดินในแปลงปลูกนั้น ไม่เพียงพอที่จะช่วยในการเสริมสร้างการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดทำให้ได้ต้นข้าวโพดที่มีลักษณะแคระแกร็น ผลผลิตน้อย และไม่สมบูรณ์ ในส่วนของแปลงที่ใช้ปุ๋ยจากลำไยตากเกรด พบว่า การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดนั้นสูงกว่าในแปลงควบคุม ผลผลิตมีปริมาณสูง และสมบูรณ์กว่าแปลงควบคุม อาจเป็นผลมาจากแร่ธาตุอาหารที่ได้รับจากดิน และธาตุอาหารจากปุ๋ยลำไยตากเกรดด้วย และในส่วนของแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีนั้นมีการเจริญเติบโตสูงสุด ให้ผลผลิตที่สูงและมีความสมบูรณ์กว่าปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด ซึ่งในความเป็นจริงแล้วปุ๋ยเคมีนั้นมีประสิทธิภาพสูงช่วยเร่งการเจริญเติบโตให้กับพืชทุกชนิดได้ โดยในการทดลองนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะช่วยเกษตรกรในเรื่องของการลดต้นทุนในการทำการเกษตร โดยหันมาใช้ปุ๋ยจากลำไยเป็นหลักควบคู่ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในปริมาณที่น้อยลง ซึ่งในอนาคตอาจจะมีการต่อยอดองค์ความรู้ในเรื่องนี้ต่อไป

รายละเอียดชุดโครงการวิจัย

1. ชื่อชุดโครงการ (Research project)

ภาษาไทย : การสร้างมูลค่าเพิ่มลำไยตากเกรด

ภาษาอังกฤษ : Increase Value-Added of Low Grade Longan

2. ชื่อชุดโครงการวิจัยย่อย (Sub-project)

โครงการวิจัย	ชื่อโครงการวิจัย	หัวหน้าโครงการวิจัย
โครงการวิจัยย่อยที่ 1	ศึกษาการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตากเกรด	ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี
โครงการวิจัยย่อยที่ 2	การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดลำไยตากเกรดด้วยระบบฟลูอิดไอเซชันไอน้ำ	ดร.อัจฉรา แก้วกล้า
โครงการวิจัยย่อยที่ 3	การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตากเกรด	อภิชาติ สวนคำทอง

บทนำ

จากสถานการณ์ปัจจุบันที่มีปริมาณของลำไยที่ไม่ได้มาตรฐานจำนวนมาก ซึ่งทางผู้ประกอบการและเกษตรกรปล่อยทิ้งให้เกิดกระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติ ซึ่งใช้เวลานาน ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นคุณค่าของการใช้ประโยชน์อย่างถูกวิธี ซึ่งจะส่งผลดีต่อหลายด้าน อาทิเช่น ด้านเศรษฐกิจซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าให้กับของเหลือทิ้ง ด้านการศึกษาเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ๆแก่เกษตรกร และด้านการสร้างแหล่งพลังงานหมุนเวียน โดยเป็นการสร้างแหล่งพลังงานจากชีวมวล ซึ่งถือได้ว่าเป็นพลังงานสำรองที่ดีอีกทางหนึ่ง โดยประโยชน์ของโครงการนี้จะเกิดผลดีแก่เกษตรกรในเขตจังหวัดทางภาคเหนือที่มีพื้นที่ในการเพาะปลูกลำไยอยู่เป็นจำนวนมาก โดยวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ คือ เป็นการนำลำไยตกเกรดมาผลิตเป็นเอทานอล แล้วนำกากลำไยที่เหลือไปผลิตเป็นไบโอแก๊ส โดยกากส่วนหนึ่งจะนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นที่ต้องการของท้องตลาดเป็นอย่างมาก การนำใช้ประโยชน์คือดูดซับสารต่างๆ เช่น แก๊สพิษ สารละลายต่างๆ โดยในต่างประเทศนำไปใช้กับหน้ากากกันแก๊สพิษ และอื่นๆอีกมากมาย และกากที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอแก๊สจะนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด เพื่อให้เกษตรกรในพื้นที่ภาคเหนือที่มีการปลูกลำไยในพื้นที่เป็นจำนวนมาก สามารถที่จะใช้ประโยชน์จากผลผลิตเหลือทิ้งประเภทลำไยตกเกรดให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยกระบวนการที่สำคัญคือ การนำกากลำไยที่เหลือจากกระบวนการผลิตเอทานอล มาหมักในถังผลิตไบโอแก๊สประมาณ 5 – 6 เดือน ซึ่งกระบวนการหมักนี้เองจะเป็นการทำให้กากลำไยเกิดการย่อยสลายได้ธาตุอาหารต่างๆออกมา ที่สำคัญๆ คือ ธาตุไนโตรเจน (N) โพแทสเซียม (K) และฟอสฟอรัส (P) และอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยภายหลังจากกระบวนการหมักเสร็จสิ้นแล้ว จะนำปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้ไปทดลองปลูกข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ซึ่งจากการทดลองโดยภาพรวมพบว่าปุ๋ยอินทรีย์จากลำไยตกเกรดนั้นจะสามารถที่จะช่วยลดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ในระดับหนึ่ง จากการที่เกษตรกรต้องพึงพาปุ๋ยเคมี 100 เปอร์เซ็นต์

ทางคณะผู้ทำการวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าองค์ความรู้ที่ได้จากกระบวนการทดลองในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในพื้นที่ภาคเหนือที่มีการเพาะปลูกลำไย โดยจะเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติที่คุ้มค่าที่สุด เพิ่มรายได้ให้กับครัวเรือน และอื่นๆอีกมากมาย ที่จะเป็นการสร้างเศรษฐกิจพอเพียงตามตามพระราชดำริขององค์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวอย่างยั่งยืนต่อไป

ความสำคัญของงานวิจัย

ลำไยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคเหนือ โดยเฉพาะในกลุ่มจังหวัดล้านนา ได้แก่ จังหวัด เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง เชียงราย พะเยา และแม่ฮ่องสอน ซึ่งในปี พ.ศ. 2552 คาดว่าจะมีผลผลิตลำไยสดออกสู่ตลาดไม่ต่ำกว่า 600,000 ตัน ซึ่งเมื่อลำไยมีผลผลิตมากจะทำให้ราคาผลผลิตลำไยตกต่ำ ซึ่งปัญหาดังกล่าวเคยเกิดวิกฤติมาแล้วในปี 2548 ซึ่งจะเห็นว่าลำไยเกรด AA เหลือเพียง กิโลกรัมละ 12 บาท และลำไยตกเกรดตั้งแต่ เกรด B ลงไปเหลือ เพียง 2.50 บาท และเกรด C เพียง 50 สตางค์เท่านั้น ซึ่งลำไยตกเกรด (เกรด C) เกษตรกรไม่นิยมนำไปขายเนื่องจากไม่คุ้มค่าในการรวบรวมและขนส่ง และพ่อค้าคนกลางไม่สามารถนำไปอบแห้งได้ ส่วนมากจึงทิ้งอยู่ภายในสวนของเกษตรกร นอกจากนั้นแล้วลำไยเกรด AA, A , B ที่แตกขณะขนส่ง ผู้รับซื้อ/เกษตรกร ก็จะทิ้งอยู่ที่จุดรับซื้อ หรือโรงอบ เป็นจำนวนมาก ดังนั้นถ้าได้มีการศึกษาวิจัยในการที่จะนำลำไยตกเกรด เหล่านี้มาพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนและหาแนวทางการเพิ่มมูลค่า ก็จะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มรายได้ของชาวสวนลำไยได้

ราคาลำไยวันนี้

ประจำวันที วันจันทร์ ที่ 14 พฤศจิกายน 2548

ผลร่วง (ร้อนคัดเกรด)

เกรด AA - ราคา 12 บาท

A - ราคา 5 บาท

B - ราคา 2.50 บาท

C - ราคา 0.5 บาท

จุดรับซื้อไม่เวิร์ก-ราคาลำไย

ร่วงต่ำสุด 50 สต./กก.

ที่มา: สำนักงานเกษตรอำเภอสามเงา จังหวัดตาก

ที่มา: หนังสือผู้จัดการรายวัน ประจำวันที่ 21 ก.ค. 2548

รูปที่ 1 วิกฤติการณ์ด้านราคารับซื้อลำไยปี 2548

วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย

- เพื่อยกระดับทางเศรษฐกิจของชาวสวนลำไยด้วยการเพิ่มมูลค่าลำไยตากเกรด (แผนงานวิจัย)
- เพื่อพัฒนาพลังงานทดแทนด้านเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตากเกรด (โครงการย่อย 1)
- เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดลำไยตากเกรดเพื่อเพิ่มมูลค่า (โครงการย่อย 2)
- เพื่อพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตากเกรด (โครงการย่อย 3)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้แนวทางในการเพิ่มมูลค่าลำไยตากเกรดให้สามารถแข่งขันได้อย่างยั่งยืน
- สามารถช่วยเหลือเกษตรกรให้สามารถขายลำไยในราคาที่สูงขึ้น
- ลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ

โครงการวิจัยที่ 1

ศักยภาพการผลิตเอทานอลและไบโอแก๊สจากลำไยตกเกรด

Potential of Ethanol and Biogas Production from Low Grade Longan

หัวหน้าโครงการวิจัย

ณัฐวุฒิ ดุษฎี

ศักยภาพการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด

Potential of Ethanol and Biogas Production from Low Grade Longan

ณัฐวุฒิ ดุษฎี¹ ศิรินุช จินดารักษ์² ธวัชรรัตน์ รัตนเดชาณากิน³ และญาณากร สุทัศนมาลี⁴

Nathawut Dussadee,¹ Sirinut Jindaruk,² Thawanrat Ratanadachanakin,³

Yanakon Suthadsanamalee⁴ and Aukrit Samaksaman¹

¹ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

³ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ลำไยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคเหนือ ซึ่งในแต่ละปีจะมีผลผลิตออกมาอย่างมากมาย (ประมาณ 600,000 ตันต่อปี) ข้อยเสียเมื่อมีผลผลิตมากคือราคาขายที่ตกต่ำ ดังนั้นการนำลำไยตกเกรดมาพัฒนาเป็นแหล่งผลิตเอทานอลและหาแนวทางการเพิ่มมูลค่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มรายได้ของชาวสวนลำไยได้ ในการศึกษาจะเริ่มตั้งแต่การประเมินศักยภาพด้านวัตถุดิบ โดยทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบลำไยตกเกรด โดยการแยกเนื้อ เปลือก และเมล็ด จากนั้นจึงทำการประเมินศักยภาพในการผลิตเอทานอลของลำไยตกเกรด ผลที่ได้จากการหมักน้ำลำไยตกเกรดอบแห้งและลำไยสด พบว่า จะได้ความเข้มข้นแอลกอฮอล์สูงสุด เท่ากับ 8% (V/V) (325 ml) และ 8.5% (V/V) (390 ml) ณ ระยะเวลาการเลี้ยงยีสต์สด (*Saccharomyces cereviceae*) เท่ากับ 14 ชั่วโมง เท่ากัน และประสิทธิภาพการหมักเท่ากับ 91.44% และ 95.05% ตามลำดับ การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ต้นแบบด้วยการกลั่นน้ำสำจากลำไยอบแห้งตกเกรด 150 ลิตร พบว่า ปริมาตรของแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้เท่ากับ 31.6 ลิตร เวลาในการกลั่นเท่ากับ 18 ชั่วโมง 50 นาที โดยใช้แก๊ส LPG ไปเท่ากับ 8.46 กก. ได้แอลกอฮอล์ความเข้มข้น 8.6% (V/V) และประสิทธิภาพการกลั่นเท่ากับ 48.94% ในส่วนของลำไยสดตกเกรด ปริมาณแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้เท่ากับ 32.7 ลิตร เวลาในการกลั่นเท่ากับ 19 ชั่วโมง โดยใช้แก๊ส LPG เท่ากับ 8.37 กก. ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ที่ได้เท่ากับ 8.6 % (V/V) และประสิทธิภาพการกลั่นเท่ากับ 50.36% จากผลการทดลอง พบว่า การผลิตเอทานอลจากลำไยตกเกรดเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าลำไยตกเกรดได้

คำสำคัญ : เอทานอล ยีสต์สด (*Saccharomyces cereviceae*)

Abstract

Longans are one of the most important economic crops in Northern part of Thailand and each year about 600,000 kg of fresh longans are harvested. During the harvest period where the supply is greater than the demand, the price of the longan product drops considerably. In order to solve this problem, the use of longan as another potential source of ethanol production has come under our consideration. In this research, the evaluation of the raw material (low grade longan) was first initiated by analyzing the component of shell, seed and kernel. Then, the potential of ethanol production from the low grade longan was determined. Result from longan juice fermentations show that the maximum amount of alcohol is estimated to be 8% (v/v) (325 ml) and 8.5% (v/v) (390 ml) and thereby giving the fermentation efficiency of 91.44% and 95.05%, when using dry and fresh low grade longan respectively. The study of a prototype alcohol steam distillation system with the capacity of 150 L using low grade dry longan found that the system produces 31.6 L of alcohol (8.6% v/v) with the total time of distillation of 18 hours and 50 minutes. The whole distillation process consumes 8.46 kg of LPG and the distillation efficiency is 48.94%. Similarly, the amount of alcohol produced from the same distillation system using low grade fresh longans is 32.7 L (8.6% v/v). The distillation time is about 19 hours with LPG consumption of 8.37 kg and the distillation efficiency is calculated to be 50.36%. This research has firmly established that the ethanol production from the low grade longans is feasible and is one of the several ways to increase the value-added of the longan product.

Key word : Ethanol *Saccharomyces cereviceae*

บทนำ

ลำไยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคเหนือ โดยเฉพาะในกลุ่มจังหวัดล้านนา ได้แก่จังหวัด เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง เชียงราย พะเยา และแม่ฮ่องสอน ซึ่งในปี พ.ศ. 2552 คาดว่าจะมีผลผลิตลำไยสดออกสู่ตลาดไม่ต่ำกว่า 600,000 ตัน ซึ่งเมื่อลำไยมีผลผลิตมากจะทำให้ราคาผลผลิตลำไยตกต่ำ ซึ่งปัญหาดังกล่าวเคยเกิดวิกฤติมาแล้วในปี 2548 ซึ่งจะเห็นว่าลำไยเกรด AA เหลือเพียง กิโลกรัมละ 12 บาท และลำไยตกเกรดตั้งแต่ เกรด B ลงไปเหลือ เพียง 2.50 บาท และเกรด C เพียง 50 สตางค์เท่านั้น ซึ่งลำไยตกเกรด (เกรด C) เกษตรกรไม่นิยมนำไปขายเนื่องจากไม่คุ้มค่าในการรวบรวมและขนส่ง และพ่อค้าคนกลางไม่สามารถนำไปอบแห้งได้ ส่วนมากจึงทิ้งอยู่ภายในสวนของเกษตรกร นอกจากนั้นแล้วลำไยเกรด AA, A , B ที่แตกขณะขนส่ง ผู้รับซื้อ/เกษตรกร ก็จะทิ้งอยู่ที่จุดรับซื้อ หรือโรงอบ เป็นจำนวนมาก

ราคาลำไยวันนี้ ประจำวันที่ วันจันทร์ ที่ 14 พฤศจิกายน 2548 ผลร่วง(อ่อนคัดเกรด) เกรด AA - ราคา 12 บาท A - ราคา 5 บาท B - ราคา 2.50 บาท C - ราคา 0.5 บาท	
--	--

ที่มา: สำนักงานเกษตรอำเภอสามเงา จังหวัดตาก (นิรนาม, 2550)

ลำไยที่ไม่ได้คุณภาพ

ภาพที่ 1 วิกฤติการณ์ด้านราคารับซื้อลำไยปี 2548

จากราคาซื้อขาย และต้นทุนการผลิตลำไยแห่งปัจจุบันพบว่า ลำไยเกรด B และ C และลำไยบุบหรือแตกขณะขนส่งมายังจุดรับซื้อหรือโรงอบแห้ง ไม่สามารถที่จะนำมาอบแห้งได้ เนื่องจากไม่คุ้มกับต้นทุนการผลิต ดังนั้นโครงการนี้จึงมีเป้าหมายที่จะพัฒนามูลค่าเพิ่มลำไยตกเกรด โดยการพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่สำหรับการบริโภคซึ่งจะเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืน ทั้งนี้ในการพัฒนามูลค่าเพิ่มลำไยจำเป็นต้องทำพร้อมกันทั้ง 4 แนวทาง ได้แก่ การผลิตเอทานอลและไบโอแก๊ส การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ การผลิตถ่านกัมมันต์ และการผลิตน้ำส้มไม้ จึงจะมีศักยภาพในการเพิ่มมูลค่า โดยมีรายละเอียดดังนี้

การเพิ่มมูลค่าด้วยการนำมาผลิตเป็นเอทานอลและแก๊สชีวภาพ

ลำไยตกเกรดเมื่อราคาดต่ำลงเหลือเพียง 1-2 บาท จะมีค่าใกล้เคียงกับพืชอื่นที่นำมาผลิตเอทานอลเช่น มันสำปะหลัง หรืออ้อย ดังแสดงในตารางที่ 1 และเมื่อนำมาแยกเอาเปลือกและเมล็ดออก ในส่วนเนื้อลำไยมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ 13.4-20.12 % (นิรนาม, 2552) ดังนั้นจึงมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเอทานอลได้ และจากการทดสอบในเบื้องต้นกับลำไยนอกฤดูพบว่าในหนึ่งตันสามารถผลิตเอทานอลได้ประมาณ 50-60 ลิตร ทั้งนี้ถ้าใช้ลำไยในฤดูที่มีความหวานมากขึ้นคาดว่าจะได้ผลผลิตที่มากขึ้น

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลผลิตเอทานอลจากพืชต่างๆ 1 ตัน (นิรนาม, 2552)

ชนิดวัสดุ	ผลผลิตเอทานอล (ลิตรต่อตัน)
ธัญพืช	375
กากน้ำตาล	250
มันสำปะหลัง	155
น้ำมะพร้าว	83
ข้าวฟ่าง	70
อ้อย	70
ลำไย	50-60

ดังนั้นการผลิตเอทานอลจากลำไยตกเกรดจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าลำไยตกเกรดได้ โดยมีศักยภาพประมาณ 1,000-1,200 บาท/ตันลำไยตกเกรด โดยประเมินที่ราคาเอทานอล 20 บาท/ลิตร (ชัชวาลและคณะ, 2550)

จากตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบของเนื้อลำไยชนิดต่างๆ โดยลำไยพันธุ์แก้วมีปริมาณ Total sugar สูงที่สุด รองลงมาคือ พันธุ์เบ๊ยวเขียวและแดง โดยมีปริมาณ Total sugar เท่ากับ 20.12, 19.90 และ 18.63 % ตามลำดับ และปริมาณน้ำตาล Sucrose มีสูงสุดในลำไยพันธุ์แก้ว โดยมีปริมาณเท่ากับ 16.20 % ในส่วนของค่าฟิเฮอร์เท่ากับ 7.1 และลำไยพันธุ์ที่มีปริมาณ Total sugar น้อยที่สุด คือ พันธุ์ใบดำ โดยมีเท่ากับ 13.40 %

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของเนื้อลำไย (นิรนาม, 2554)

พันธุ์ลำไย	pH	ความชื้น % (wb)	Sucrose (%)	Total sugar (%)
ดอ	6.5	66.90	11.20	17.20
แดง	6.5	68.20	13.00	18.63
ใบคำ	6.8	70.11	11.40	13.40
เขียวเขียว	7.2	67.24	15.96	19.90
เหว้า	7.1	66.91	16.20	20.12

วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

เพื่อยกระดับทางเศรษฐกิจของชาวสวนลำไยด้วยการเพิ่มมูลค่าลำไยตากเกรด (แผนงานวิจัย) และเพื่อพัฒนาพลังงานทดแทนด้านเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตากเกรด โดยขอบเขตของโครงการวิจัยในกระบวนการผลิตเอทานอลจะใช้เนื้อลำไยตากเกรดที่แยกเปลือกและเมล็ดออก และน้ำส่าที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจะนำมาหมักถึงหมักแก๊สชีวภาพเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อใช้ประโยชน์ในรูปแบบพลังงานความร้อน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับลำไยที่เหลือทิ้ง
- เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากองค์ความรู้ในงานวิจัยที่สามารถถ่ายทอดลงไปสู่ชุมชน
- ทราบศักยภาพและต้นทุนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตากเกรด
- การพัฒนาเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตากเกรดสามารถนำไปสู่การลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและลดการสูญเสียเงินตราออกสู่ต่างประเทศได้

การตรวจเอกสาร

หลักการและทฤษฎี

กระบวนการผลิตเอทานอล

การเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้ากระบวนการ

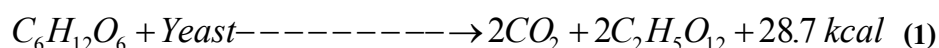
ในขั้นตอนนี้จะทำการปั่นเอาเนื้อลำไยตากเกรดให้ละเอียด เพื่อใช้ในการเตรียมการหมักต่อไป ซึ่งจากการศึกษาของ รติกร (2551) เตรียมสารสกัดลำไยเข้มข้น และใช้จุลินทรีย์ 5 ชนิด ได้แก่ *Candida utilis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* sp., *Saccharomyces cerevisiae* และ *Zymomonas mobilis* ในการหมักโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อประกอบไปด้วย nutrient broth, yeast และ *Zymomonas media* ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเตรียมผลิตเอทานอลจากเนื้อลำไยปั่น (รติกร, 2551)

กระบวนการหมักเอทานอล

กระบวนการหมักเป็นการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นเอทานอล โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ *Saccharomyces cerevisiae* (บุญยพัต และคณะ, 2546) โดยหมักได้ทั้งแบบกะและแบบต่อเนื่อง ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนโดยขั้นตอนแรกยีสต์จะใช้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) เป็นอาหารและเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่าไกลโคไลซิส (Glycolysis) ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ดังภาพที่ 3



(กลูโคส)

(เอทานอล)

100 %

48.89 % 51.11 %

ภาพที่ 3 การเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลโดยการหมักยีสต์ (บุญยพัต และคณะ, 2546)

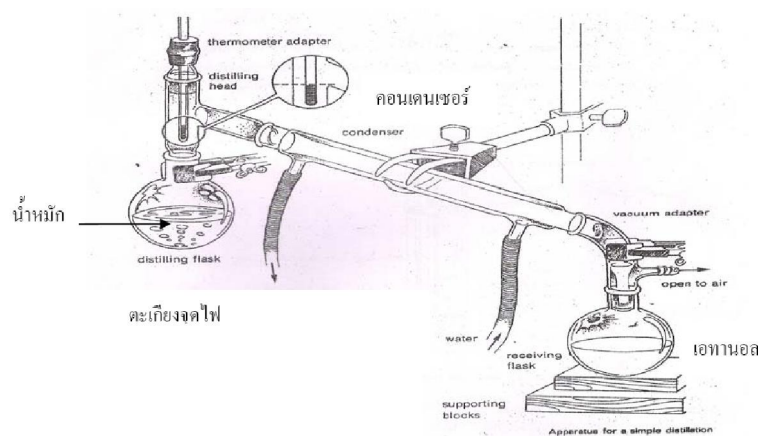
ตามทฤษฎีน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 100 จะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และเอทานอล เท่ากับร้อยละ 48.89 และ 51.11 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติจะเกิดการสูญเสียได้เป็น สารประกอบอื่น ๆ หรือใช้ในการสร้างเซลล์ของยีสต์ ขั้นตอนที่ 2 เป็นการกลั่นเอทานอลให้ได้ ความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 95 ปัจจุบันการผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมทั่วโลก ประมาณร้อยละ 93 ใช้กระบวนการหมัก (นิรนาม, 2006)

กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลที่ได้จากการหมัก

โดยทั่วไปมักใช้การกลั่นแยกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลขึ้นไปถึงระดับที่ไม่สามารถกลั่นต่อได้กล่าวคือเกิดเป็นสารผสมอะซีโอโทรปิก (95.5% เอทานอลโดยปริมาตร) จากนั้น จึงใช้กระบวนการแยกต่างๆ เช่น กระบวนการกลั่นแยกแบบอะซีโอโทรปิก กระบวนการ เพอร์แวลเปอร์เรชั่น กระบวนการดูดซับเพื่อให้เอทานอลบริสุทธิ์ (99.9% เอทานอลโดย ปริมาตร) (นิรนาม, 2549)

กระบวนการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์

วิธีการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ (Anhydrous Ethanol) สามารถทำได้จาก 3 กระบวนการ คือ กระบวนการกลั่นแยกแบบอะซีโอโทรปิก กระบวนการเพอร์แวลเปอเรชั่น และกระบวนการดูดซับ (สามารถ, 2552) ซึ่งจากการศึกษาและเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ของทั้ง 3 กระบวนการ พบว่า กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด



ภาพที่ 4 เครื่องกลั่นแยกเอทานอล (สามารถ, 2009)

ประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากลำไยตกเกรด

จากผลของแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพการหมัก (Fermentation Efficiency) และ Conversion ratio (Yield) ดังนี้ (สาวิตรี, 2540)

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพการหมัก} &= \frac{\text{แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ทั้งหมด (ลิตร)} \times 100}{\text{แอลกอฮอล์ที่ควรได้ทางทฤษฎี (ลิตร)}} \\ \text{Conversion ratio} &= \frac{\text{แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ทั้งหมด (กรัม)}}{\text{ปริมาณกากที่ใช้ (กรัม โดยน้ำหนักแห้ง)}} \end{aligned}$$

(คิดจากน้ำหนักกากแห้ง)

หลักการและทฤษฎีการผลิตแก๊สชีวภาพ

แก๊สชีวภาพ คือ กลุ่มแก๊สที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ เช่น คน สัตว์ พืชและสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ ที่ตายลงแล้วถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ กลุ่มหนึ่ง โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้ดำรงชีวิตโดยไม่ต้องการออกซิเจน ซึ่งในขณะที่ทำการย่อยสลายนั้นจะเกิดแก๊สขึ้นกลุ่มหนึ่ง โดยมีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจน แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สชนิดอื่นๆ โดยที่แก๊สมีเทนจะมีมากที่สุด มีคุณสมบัติไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและติดไฟได้

การย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ หมายถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพ ด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ โดยสารอินทรีย์จะถูกใช้ในการออกซิเดชัน ภายในเซลล์ จุลินทรีย์ ภายในเซลล์จุลินทรีย์โดยกระบวนการนี้จะมีการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ส่วนหนึ่งไปเป็นเซลล์ใหม่ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และมีแก๊สมีเทนเพื่อให้จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศเปลี่ยนแปลงกรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้เป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จึงต้องลดขนาดสารอินทรีย์และเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ก่อนที่ จุลินทรีย์จะย่อยสลายให้เป็นแก๊สชีวภาพ (มีเทน+คาร์บอนไดออกไซด์)

จุดเด่นของการบำบัดด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ

1. ได้ผลผลิตคือ “แก๊สชีวภาพ”ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้
2. ไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการเดินระบบ
3. รองรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์(Organic loading rate)ได้มากกว่า

4. มีความต้องการสารอาหารเสริม เช่น ไนโตรเจน (N) และ ฟอสฟอรัส (P) เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์เซลล์ใหม่น้อยกว่า
5. ทนต่อภาวะ shock load และการผันแปรของอัตราการไหลได้ดีกว่า
6. มีตะกอนส่วนเกินที่จะต้องกำจัดน้อยกว่าแบบใช้อากาศ

จุดด้อยของการบำบัดด้วยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ

1. จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตช้า ต้องใช้เวลาอยู่ในระบบนาน ทำให้ถังปฏิกรณ์ต้องมีปริมาตรมากกว่า และใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมากกว่า
2. การเริ่มเดินระบบ (start – up) ค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานานกว่าจะเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ค่อนข้างต่ำ
3. น้ำที่บำบัดแล้ว ยังคงเหลือความสกปรกสูงเกินกว่าที่จะทิ้งลงแม่น้ำ จำเป็นต้องได้รับการบำบัดเพิ่มเติม เพื่อให้คุณภาพน้ำทิ้งตามมาตรฐาน
4. ถังปฏิกรณ์ ภาชนะ และท่อต้องใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน
5. มีปัญหากลิ่นเหม็นจากก๊าซ H_2S (ก๊าซไม่เน่า)

ลำดับขั้นตอนการผลิตแก๊สชีวภาพของจุลินทรีย์

ระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิกหรือแบบไม่ใช้อากาศ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการทำงานของแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ หรือออกซิเจน (anaerobic bacteria) มาย่อยสลายความสกปรกหรือสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียไปเป็นแก๊สชีวภาพ (biogas) ที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาชีวเคมีหลายขั้นตอน ประกอบด้วย 3 ปฏิกิริยาหลัก (นิรนาม, 2553) คือ

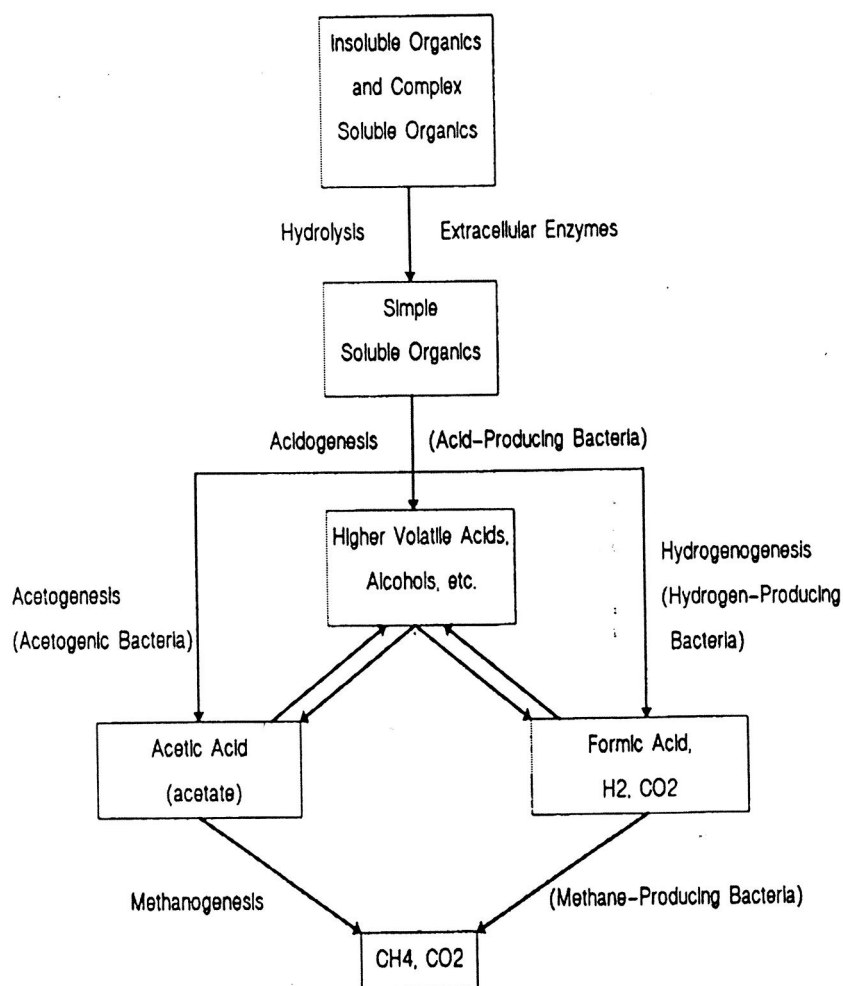
1. Hydrolysis เป็นปฏิกิริยาแรกที่เกิดขึ้นเพื่อสลายอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มักจะไม่สามารถละลายน้ำให้แตกตัวเป็นสารอินทรีย์เชิงเดี่ยวที่เป็นอนุโมลเริ่มต้น (building blocks) ของชีวโมเลกุลต่าง ๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ปฏิกิริยาเหล่านี้ต้องอาศัยการจับ exocellular enzymes จากจุลินทรีย์หลายชนิดที่อยู่ร่วมกันในระบบ และโดยที่เป็นการเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เล็กลงทำให้ละลายน้ำได้ดีขึ้น และสามารถถูกดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ประเภท saprophytes ได้ บางครั้งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า Solubilization
2. Acidogenesis หรือปฏิกิริยาการสร้างกรดอินทรีย์ โดยแบคทีเรียประเภทสร้างกรด (acid forming bacteria) จะย่อยสลายสารละลายอินทรีย์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ให้เป็นกรด

อินทรีย์โมเลกุลสั้น ๆ ที่ระเหยได้ง่าย หรือ Volatile fatty acid (VFA) เช่น valeric acid, butyric acid, propionic acid เป็นต้น จากนั้นก็จะมีจุลินทรีย์อีกกลุ่มมาย่อยสลายกรดอินทรีย์เหล่านี้ได้เป็น acetic acid, formic acid, H_2 และ CO_2

3. Methanogenesis หรือปฏิกิริยาการสร้างมีเทนเกิดจากการทำงานของเมทาโนเจน (methanogen) ซึ่งเป็น strictly anaerobic bacteria คือ แบคทีเรียไร้อากาศอย่างแท้จริง ดังนั้นปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้จะต้องไม่มีออกซิเจนอยู่เลย เมทาโนเจนจะใช้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจาก Acidogenesis มาเปลี่ยนเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ลำดับขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาแสดงในภาพที่ 2.4

ระบบบำบัดแบบแอนแอโรบิก เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความสกปรกมากๆ หรือมีค่าบีโอดี หรือซีโอดีสูง ๆ (มีค่าเป็นพัน มก./ลิตร ขึ้นไป) และเนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบส่วนใหญ่เป็น mesophilic microorganisms จึงเหมาะกับการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียในเขตร้อน อีกทั้งไม่ต้องสูญเสียพลังงานในการเดินระบบเหมือนระบบแอโรบิกที่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อเติมอากาศ นอกจากนี้ยังได้มีเทนเป็นเชื้อเพลิงทดแทนอีกด้วย จึงเป็นที่นิยมกันมากในประเทศไทย โดยเฉพาะการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรที่มีค่าบีโอดีสูงและบางชนิดมีโปรตีนอยู่น้อย เช่น น้ำเสียจากโรงงานแป้ง โรงงานกระดาษ เป็นต้น

การจะนำระบบบำบัดแบบไร้อากาศไปใช้กับน้ำเสียจากกิจกรรมใด ๆ ก็ควรจะต้องทำการทดสอบค่า BMP (Biochemical Methane Potential) หรือ SMA (Specific Methanogenic Activity) เพื่อประเมินความเป็นไปได้หรือศักยภาพของระบบรวมทั้งประสิทธิภาพของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียก่อน



ภาพที่ 5 ขั้นตอนของปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นในการบำบัดแบบแอนแอโรบิก (นิรนาม, 2553)

จากภาพที่ 5 เป็นขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการเกิดแก๊สมีเทน โดย Methanogen bacteria ซึ่งลำดับของการย่อยสลายจะถึงขั้นได้ กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิก Methanogen bacteria ถึงจะสามารถเปลี่ยนไปเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้

ตารางที่ 3 แสดงสัดส่วนของก๊าซชนิดต่างๆ ในก๊าซชีวภาพ (นิรนาม, 2553)

แก๊ส	เปอร์เซ็นต์
มีเทน (CH ₄)	60 - 70
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	30 - 40
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S)	1,500 – 2,500 ppm
แก๊สอื่นๆ	1 – 2 %

โดยแก๊สชีวภาพจะมีเปอร์เซ็นต์ของมีเทนสูงสุดเท่ากับ 60 – 70 % รองลงมา คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 30 – 40% ไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สอื่นๆ ประมาณ 1-2%

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติของแก๊สชีวภาพ (อุเทน, 2554)

คุณสมบัติของแก๊สชีวภาพ	ปริมาณ
ค่าความร้อน	21 MJ/m ³ (CH ₄ 60%)
ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s
อัตรา A/F ในทางทฤษฎี	6.19 m ³ a/m ³ g
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 C
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH ₄	600 C
ค่าความจุความร้อน (Cp)	1.6 kJ/m ³ C
ความหนาแน่น (P)	1.15 kg/m ³

จากตารางที่ 4 ค่าความร้อนของแก๊สชีวภาพเท่ากับ 21 MJ/m³ ความเร็วของเปลวไฟเท่ากับ 25 cm/s อัตรา A/F ในทางทฤษฎีเท่ากับ 6.19 m³a/m³g อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศเท่ากับ 650 C อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH₄ เท่ากับ 600 องศาเซลเซียส ค่าความจุความร้อน (Cp) เท่ากับ 1.6 kJ/m³ C° และความหนาแน่น เท่ากับ 1.15 kg/m³ (ชัชวาล และคณะ, 2550)

ตารางที่ 5 แสดงการทดแทนพลังงานจากแหล่งอื่นๆของแก๊สชีวภาพ 1 ลบ.ม.

ชนิดพลังงาน	ปริมาณ
แก๊สหุงต้ม	0.46 กิโลกรัม
น้ำมันเบนซิน	0.67 ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.60 ลิตร
น้ำมันเตา	0.55 ลิตร
ฟืนไม้	1.50 กก.
ไฟฟ้า	1.2 – 2.0 กิโลวัตต์/ชั่วโมง

จากตารางที่ 5 แก๊สชีวภาพ 1 ลบ.ม. เทียบเท่าแก๊สหุงต้ม 0.46 กิโลกรัม เทียบเท่าน้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร เทียบเท่า น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร เทียบเท่า น้ำมันเตา 0.55 ลิตร เทียบเท่า ฟืนไม้ 1.50 กก. และเทียบเท่า ไฟฟ้า 1.2 – 2.0 กิโลวัตต์/ชั่วโมง

ชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตแก๊สชีวภาพ (ชเนศ, 2528)

1. Fermentative bacteria ย่อยสารที่มีโมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก แล้วถูกเปลี่ยนไปเป็นอะซิเตท โพรพิโอเนท แลคเตท บิวทิเรท และเอทานอล
2. Hydrogen – producing acetogenic bacteria จุลินทรีย์กลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลาย อะซิเตท โพรพิโอเนท แลคเตท บิวทิเรท และเอทานอล ได้เป็นกรดอะซิติก แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน
3. Homoacetogenic bacteria ได้แก่ *Butyribacterium methylophilum* จุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ใช้แก๊สไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ผลผลิตเป็นกรดอะซิติก ถ้าใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอม เช่น แลคเตท ไพรูเวท และเอคโซส ผลผลิตที่ได้เป็นกรดอะซิติกและกรดบิวทิริก
4. Methanogenic bacteria แบคทีเรียกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นแกรมบวกและแกรมลบ ขึ้นกับชนิดของ Cell envelop ของแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตมีเทน ส่วนใหญ่จัดอยู่ในพวก Obligate anaerobic bacteria เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ขาดออกซิเจน ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7 – 7.8 ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะได้น้อย และมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน ซึ่งโดยเฉลี่ยต้องใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน ที่ 35 องศาเซลเซียส ถึงวันที่ 10 ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า ได้แก่แบคทีเรียในกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens หรือ Hydrogen utilizing chemolithotrophic methanogens หรือ Acetoclastic bacteria หรือ Acetate splitting bacteria
5. Non – Methanogenic bacteria แบคทีเรียพวกนี้ส่วนใหญ่เป็น Facultative anaerobic bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยรับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน แอมโมเนีย และซัลไฟด์ สามารถเจริญเติบโตที่พีเอช 4 – 6.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี แบ่งตัวได้ 2 เท่าภายใน 24 ชั่วโมง ได้แก่แบคทีเรียกลุ่ม Acidogenic bacteria และ Acetogenic bacteria

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ (นิรนาม, 2552)

การกวนผสม

จะต้องมีการกวนผสมที่เหมาะสม ซึ่งอาจใช้เครื่องกล ใช้รูปแบบการไหล หรือ การนำก๊าซชีวภาพมาใช้ในการกวนก็ได้ขึ้นอยู่กับระบบ และชนิดของที่ใช้สารเคมีที่เป็นพิษต่อระบบ

สารเคมี

เช่น ยาฆ่าเชื้อ ยาปฏิชีวนะ ยาฆ่าแมลง ปุ๋ยเคมี หรือ สารเคมีอื่นๆ ที่อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายของเสียในบ่อ ทำให้จุลินทรีย์หยุดทำงานและไม่มีก๊าซเกิดขึ้น จึงไม่ควรปล่อยให้สารเคมีเหล่านั้นลงไปบ่อก๊าซชีวภาพ

อุณหภูมิ

จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 35 – 37 °C (Mesophilic) หรือ 50 – 55 °C (thermophilic) ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตไม่ดีนัก

ความเป็นกรดด่าง

ค่าความเหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 6.8 – 7.2 ถ้าสูงหรือต่ำกว่าค่าในช่วงที่เหมาะสม จะทำให้การผลิตก๊าซชีวภาพลดลง

การคำนวณปริมาณแก๊สมีเทน (อุเทน, 2554)

ปริมาณแก๊สมีเทนที่ผลิตได้ (ลบ.ม./วัน) = COD ที่ย่อยสลาย (กก./วัน) x 0.35 ลบ.ม.

ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ (ลบ.ม./วัน) = ปริมาณแก๊สมีเทนที่ผลิตได้/สัดส่วนแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพ

โดย 1 กก. COD ที่ย่อยสลายไปจะผลิตแก๊สมีเทนได้ 0.35 ลบ.ม. ที่ STP (0 °C และความดัน 1 บรรยากาศ)

การทบทวนวรรณกรรม / สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

การผลิตเอทานอล

กล้าณรงค์ (2544) ได้ทำการศึกษาสถานภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแก๊สโซฮอล์ จากสถานะวิกฤตในเรื่องน้ำมันและภาวะของประเทศในการนำเข้าน้ำมันดิบซึ่งมีผลต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก ทำให้รัฐบาลประกาศนโยบายเกี่ยวกับเอทานอลขึ้นใน

เดือนตุลาคม 2543 และได้เชิญชวนนักลงทุนมาผลิตเอทานอล โดยใช้วัตถุดิบการเกษตรกรรม เช่น อ้อย มันสำปะหลัง เป็นต้น เนื่องจากกำลังการผลิตเพื่อทดแทนความต้องการเบนซินบางส่วนนั้น ต้องมีการผลิตเอทานอลถึง 2,000,000 ลิตรต่อวัน และต้องใช้วัตถุดิบจำนวนมาก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาความเหมาะสมของพืชที่สมควรนำมาใช้เป็นวัตถุดิบของการผลิตเอทานอลจากผลการวิจัยพบว่าพืชที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอลมากที่สุดคือมันสำปะหลัง ทั้งนี้เพราะพื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลังไม่สามารถลดลงน้อยกว่า 6.5 ล้านไร่ได้ เนื่องจากมีหลายเขตพื้นที่ที่ไม่มีพืชอื่นเหมาะสมกว่ามันสำปะหลัง ผลผลิตของหัวมันต่อพื้นที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเพราะมีการเปลี่ยนพันธุ์เพาะปลูกและใส่ปุ๋ย ประมาณการได้ว่าผลผลิตของประเทศในช่วง 5 ปีข้างหน้าจะมีประมาณ 20 ล้านตันต่อปี (เชื้อแป้ง 25-30%) และมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 0.64 บาทต่อกิโลกรัมหัวมันสดในกรณีการผลิตระดับ 20 ล้านตันต่อปีเช่นนี้จะทำให้เกิดส่วนเกินของตลาด หลังจากความต้องการในการผลิตแป้ง 8 ล้านต่อหัวมันสด (สำหรับ 2 ล้านตันแป้ง) และมันเส้น มันอัดเม็ดสำหรับส่งออก และบริโภคภายในประเทศ (8 ล้านตัวหัวมันสด) อีก 4 ล้านตัน ซึ่งปริมาณนี้เพียงพอที่จะผลิตเอทานอล 2 ล้านลิตรต่อวันตลอดปี การใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจึงไม่เพียงแต่แก้ไขปัญหาของประเทศในเรื่องพลังงาน แต่ยังมีส่วนช่วยสร้างเสถียรภาพของราคาหัวมันสด ในส่วนเกิน 4 ล้านตันนี้ที่รัฐบาลต้องใช้งบประมาณแทรกแซงราคาเป็นจำนวนมากเกือบทุกปีในการใช้มันสำปะหลังนั้นต้องใช้ในรูปแบบของมันเส้นเพราะสามารถแปรรูป (ในช่วงที่หัวมันราคาตกต่ำที่สุด) และเก็บสต็อกใช้ได้ตลอดปี ทำให้เกิดงานใหม่ขึ้นในหมู่บ้าน การขนส่งมันเส้นมีประสิทธิภาพดีกว่าทำให้โรงงานสามารถรับมันเส้นจากแหล่งต่างๆ ได้สะดวกสามารถใช้เทคโนโลยีการผลิตเช่นเดียวกันกับการผลิตเอทานอลโดยธัญญาพืช ซึ่งปัจจุบันในการใช้ Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้อย่างมาก การคำนวณโดยระบบปัจจุบันพบว่าหัวมันเส้นราคา 2,500 บาทต่อตัน จะผลิตเอทานอลได้ในต้นทุนการผลิต 11.55 บาทต่อลิตรสำหรับอ้อยนั้นไม่เหมาะสมที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพราะยังมีปริมาณเพียง 53 ล้านตันต่อปี ในขณะที่ความต้องการอ้อยสดของอุตสาหกรรมน้ำตาลมีถึง 75 ล้านตันต่อปี และอ้อยยังมีพระราชบัญญัติควบคุมเรื่องการแบ่งปันผลประโยชน์อยู่แต่ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำตาล คือ กากน้ำตาล ซึ่งจะผลิตได้ประมาณร้อยละ 5 ของอ้อย หรือ 2.5 ล้านตันต่อปี สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ได้ในส่วนที่เหลือจากการบริโภคในประเทศ ซึ่งมีประมาณ 1 ล้านตันหรือผลิตเอทานอลได้ประมาณ 800,000 ลิตรต่อวันตลอดปี การผลิตต่อเนื่องจากโรงงานน้ำตาล จะทำให้ต้นทุนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลต่ำมาก แม้ว่าคำนวณจากการผลิตปกติ ต้นทุนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจะมีประมาณ 11.3 บาท (เมื่อคิด

กากน้ำตาลที่ 1,500 บาทต่อตัน) ในภาพรวมกล่าวได้ว่าการผลิตเอทานอลในประเทศไทยสามารถผลิตได้ถึง 3,000,000 ลิตรต่อวันตลอดปี โดยใช้มันสำปะหลัง (2.2 ล้านลิตร) และกากน้ำตาล (0.8 ล้านลิตร)

นพพลและรณชัย (2552) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ลำไยอบแห้ง เพื่อผลิตให้เป็นเอทานอล ผลการศึกษาจากการสุ่มตัวอย่างจากโกดังเก็บลำไยในส่วนที่สภาพภายนอกยังไม่เน่าเสีย (คาดว่ามีส่วนนี้ประมาณร้อยละ 90) สามารถจำแนกลำไยอบแห้งดังกล่าวได้เป็นสองกลุ่มในสัดส่วนเท่าๆ กัน กลุ่มแรกมีเชื้อราปรากฏให้เห็น และกลุ่มที่สองไม่สังเกตพบเชื้อรา เมื่อนำลำไยทั้งสองกลุ่มไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลด้วยวิธีวัด ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (DNS) และการใช้เครื่องโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC) พบว่าระดับปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้จากทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำตาลที่ได้จาก ลำไยอบแห้งอายุไม่ถึง 1 ปี โดยกลุ่มที่มีเชื้อราปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้น้อยกว่าลำไยอบแห้งอายุไม่ถึง 1 ปี เพียงเล็กน้อย และมีปริมาณน้ำตาลประมาณครึ่งหนึ่งของเนื้อลำไยอบแห้งที่ใช้ทดสอบ ส่วนผลการทดลองขึ้นถัดไปจากการนำลำไยอบแห้งดังกล่าวไปหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอทานอลได้ พบว่าจุลินทรีย์สามารถผลิตเอทานอลได้ความเข้มข้นระดับสูง นั่นคือเมื่อเนื้อลำไยอบแห้ง 1,000 กิโลกรัม หรือ 1 ตัน จะสามารถผลิตเอทานอลได้ถึง 209 กิโลกรัม

สุกัลยา และคณะ (2552) ได้ทำการศึกษาการผลิตแอลกอฮอล์จากลำไยอบแห้ง การทดลองในขวดรูปชมพู่เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำลำไยที่ 5, 10, 15 และ 20 องศาบริกซ์ที่มีต่อการผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่าที่ 20 องศาบริกซ์สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ระดับสูงสุดเท่ากับ 7.70% (v/v) และเมื่อเปรียบเทียบการใช้ยีสต์ในรูปแบบต่างๆ กันในรูปผง, ผงที่ผ่านการกระตุ้นด้วยน้ำอุ่นที่ 30-40 องศาเซลเซียส และหัวเชื้อยีสต์เหลว พบว่าการใช้หัวเชื้อยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์ได้ระดับสูงสุดเท่ากับ 7.00% (v/v) การทดลองเปรียบเทียบแหล่งไนโตรเจนต่างชนิดได้แก่ น้ำต้มเนื้อ, ไข่ผงและสารสกัดจากยีสต์ พบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.035, 7 และ 10% (w/w) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการใช้ไข่ผงเป็นแหล่งไนโตรเจนในน้ำลำไยทำให้ผลิตแอลกอฮอล์ได้ต่ำกว่ากรณีไม่ใส่แหล่งไนโตรเจนเพิ่มเติมไป 0.90% (v/v) การทดลองในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบกะขนาด 5 ลิตรในช่วงอุณหภูมิ 27-30 องศาเซลเซียส โดยรักษาอัตราการหมุนของใบพัดในถังไว้ที่ 300 rpm เป็นเวลา 12 ชั่วโมงเพื่อเพิ่มมวลชีวภาพ ตามด้วยการกระตุ้นให้เกิดการผลิตแอลกอฮอล์โดยลดอัตราการหมุนลงเหลือ 100 rpm เป็นเวลา 68 ชั่วโมง สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 4.20% (v/v) การทดลองขั้นต่อมาในระบบกึ่งกะ โดยเติมน้ำลำไย 15 องศาบริกซ์ปริมาตร 400 ml ในชั่วโมงที่ 80 เพื่อเพิ่มความ

เข้มข้นของน้ำตาลในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ทำให้ระดับแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นถึงระดับ 5.52% (v/v) ใน ชั่วโมงที่ 112

กำเนิดและสุกณิ (2536) ได้ทำการศึกษาการผลิตเอทานอลเชื้อเพลิงจากอ้อยโดยเชื้อ *Zymomonas mibilis* สายพันธุ์ต่าง ๆ 5 สายพันธุ์ คือ *Z. mobilis* TISTR 405, TISTR 548 (CM141), TISTR 550, TISTR 1042 และ IFO 13756 ทดสอบการผลิตเอทานอลขึ้นต้นในน้ำตาลทราย และ น้ำอ้อย ปริมาตร 150 มล. วัดปริมาณเอทานอลโดยเครื่องกาซโครมาโตกราฟ พบว่า *Z. mobilis* สายพันธุ์ TISTR 405, TISTR 548, TISTR 1042, TISTR 550 และ IFO 13756 ผลิตเอทานอลจากน้ำตาลทรายได้ 7.04, 12.27, 14.49, 15.69 และ 15.73% โดยปริมาตร ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พีเอช 7 เวลาในการหมักอยู่ระหว่าง 144-156 ชั่วโมง และมีอะเซทัลดีไฮด์ปนอยู่ 0.13, 0.28, 0.13, 0.22 และ 0.30 % โดยปริมาตร ตามลำดับ โดย (*Z.mobilis* IFO 13756 ผลิตเอทานอลและอะเซทัลดีไฮด์มากที่สุด 10.58% และ 0.05% โดยปริมาตร

บุญยพัฒและคณะ (2546) ได้ศึกษาการบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาลและโรงแป่งมันสำปะหลังและประเมิณเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์จากการวิจัยพบว่ากระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาล พบว่าในการผลิตเอทานอลที่กำลังการผลิต 100,000 ลิตรต่อวัน จะต้องใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบจำนวน 1,267.2 ตันต่อวัน และใช้โมลาส 330 ตันต่อวัน และมีการใช้น้ำสำหรับกระบวนการกลั่นรวม 15.61 ตันต่อชั่วโมง ส่วนกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานแป่งมันสำปะหลัง พบว่าในการผลิตเอทานอลที่กำลังการผลิต 10,000 ลิตรต่อวัน จะต้องใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบจำนวน 59.55 ตันต่อวันและมีการใช้น้ำสำหรับกระบวนการกลั่นรวม 1.52 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งจากการวิเคราะห์ราคาค้นทุนการผลิตเอทานอลต่อหน่วยพบว่า การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานแป่งมันสำปะหลังโดยวิธีการต่าง ๆ สามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเอทานอลลงได้ประมาณ 0.3-2.3 บาทต่อลิตร

การผลิตแก๊สชีวภาพ

ธนศ (2528) ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากของเสียโรงงานสับปะรดกระป๋อง โดยใช้ถังหมักขนาด 1 แกลลอน ปริมาณการหมัก 3 ลิตรใช้เชื้อที่ได้จากการหมักสับปะรดที่อุณหภูมิห้องและทำการปรับตัวให้เข้ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองโดยการเพิ่มอุณหภูมิของถังหมักขึ้น 5 องศาเซลเซียสต่อสัปดาห์ ทำการเพิ่มปริมาณการเติมวัตถุดิบจาก 12.5 ถึง 17.5 กรัม น้ำหนักเปียก/ลิตรการหมัก-วัน ที่ระยะเวลาการหมัก 50 วัน จะได้ปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1.27 ถึง 1.79 ลิตร/ลิตรการหมัก-วัน ที่อุณหภูมิการหมัก 55 องศาเซลเซียส และ 1.22 ถึง 1.46 ลิตร/ลิตรการ

หมัก-วัน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ปริมาณของก๊าซที่ได้ต่อน้ำหนักของวัตถุดิบที่เดิมจะลดลง เมื่ออัตราการเติมวัตถุดิบมากขึ้น การเพิ่มปริมาณการเติมวัตถุดิบที่มากกว่า 17.5 กรัม/น้ำหนักเปียก/ลิตรการหมัก-วัน ที่ทุก ๆ อุณหภูมิของการหมักจะทำให้เกิดการล้มเหลวของสภาวะการหมัก ทั้งนี้ อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ให้อัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์สูง และสามารถเติมสารอินทรีย์ลงไปได้มาก พลังงานที่ได้จากระบบก็มากกว่าพลังงานที่ต้องใส่ลงไปเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายในถังหมักให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ

นิลวรรณ (2552) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพและเศรษฐศาสตร์ระบบหมักไร้อากาศแบบถังกวนต่อเนื่องเพื่อบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกร ในช่วงอุณหภูมิสูง Thermophilic ที่ 55 องศาเซลเซียส ขนาดถังหมัก 1 ลูกบาศก์เมตร โดยวิธีการเติมน้ำเสียแบบเท (Batch Feeding) ควบคุมน้ำเสียตั้งต้นให้มีสัดส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 2% โดยน้ำหนัก และทำการเปลี่ยนระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 4 – 6 วัน จากผลการทดลองพบว่า ระบบที่ใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย 4 วัน จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดของเสีย 84% สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 956 ลิตรต่อวัน โดยมีสัดส่วนก๊าซมีเทน 65.6%

นิรนาม (2552) ได้ทำการทดลองหาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนจากของเสียร่วมกับน้ำเสียฟาร์มสุกร พบว่า ของเสียทั้ง 5 ชนิด มีศักยภาพในการเพิ่มการผลิตก๊าซมีเทนสำหรับน้ำเสียฟาร์มสุกร ได้แก่ เศษอาหารที่อัตราส่วน 60:40 %VS กลีเซอรินที่อัตราส่วน 5:95% VS หนุ่เนเปียร์ที่อัตราส่วน 30:40%VS ฟางข้าวที่อัตราส่วน 60:40%VS และต้นข้าวโพดที่อัตราส่วน 60:50%VS ซึ่งมีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่าการหมักย่อยเฉพาะน้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียว คือ 0.605 0.530 0.527 และ 0.477 $\text{m}^3 \text{CH}_4 \text{kg}^{-1} \text{VS}_{\text{added}}$ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 5-25% เทียบกับค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่อัตราส่วน 100%VS เท่ากับ 0.452 $\text{m}^3 \text{CH}_4 \text{kg}^{-1} \text{VS}_{\text{added}}$

วิภารัตน์ (2551) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบไร้อากาศสองขั้นตอน โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบสร้างกรดไร้อากาศ (Anaerobic Acid Reactor) และถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ซึ่งจะเป็นถังสร้างมีเทน โดยพบว่า การเตรียมหัวเชื้อตะกอนสลัดจ์ มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกรดมากกว่าตะกอนสลัดจ์ที่ไม่มีการเตรียมโดยมีปริมาณไขมันที่ระเหยง่ายสูงสุดเท่ากับ 350 – 650 มิลลิกรัมต่อลิตร ของอะซิเตท ค่าพีเอชเท่ากับ 4.5 – 5.6 และประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพเท่ากับ 3 – 6 ลิตรต่อวัน

อุปกรณ์และวิธีการ

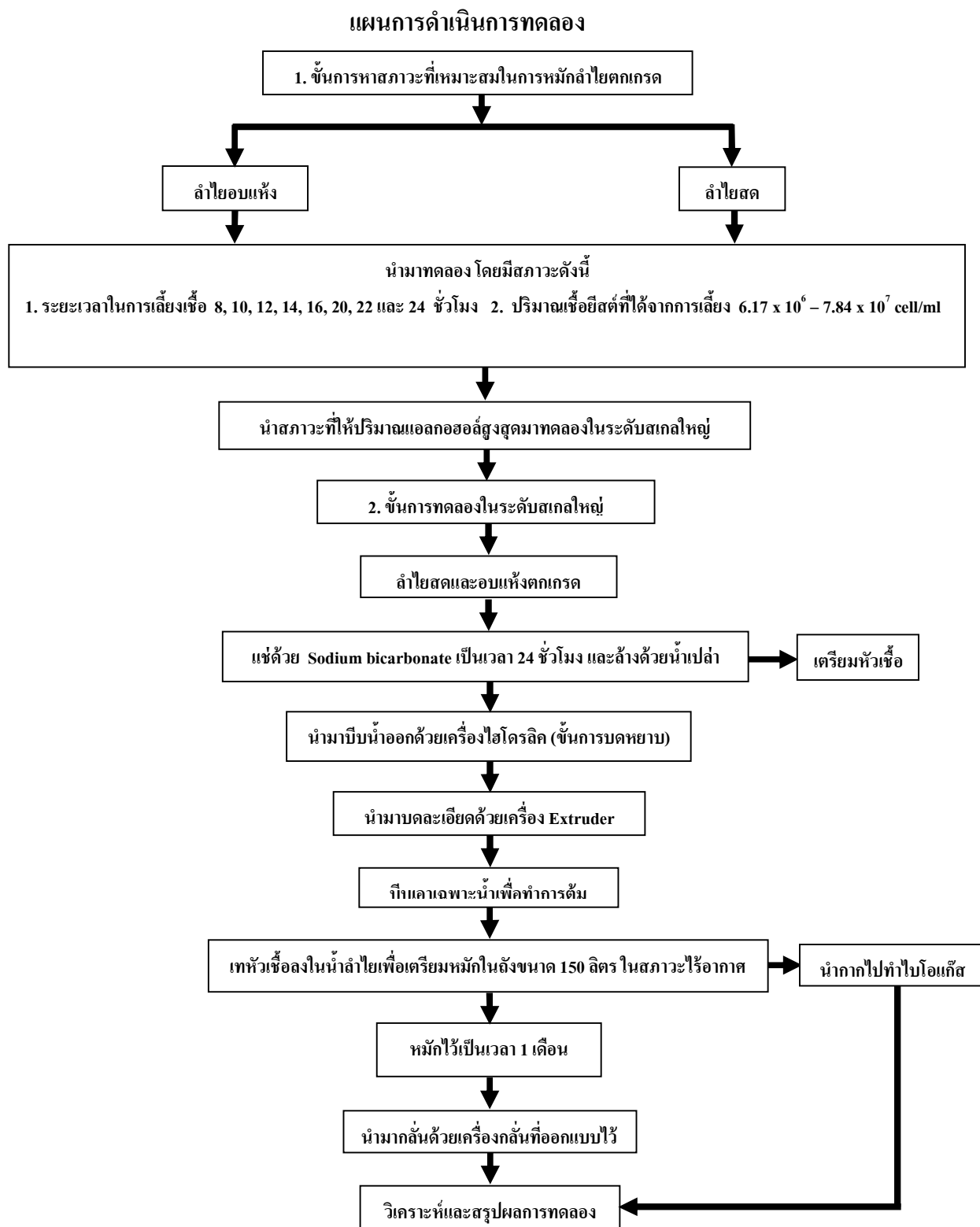
อุปกรณ์ในกระบวนการทดลอง

- หม้อนึ่งความดันไอ
- เครื่องวัดความหวาน (Refractometer)
- ชุดกลั่นเอทานอลขนาดเล็กจำนวน 2 ตัว
- ยีสต์สด
- ตู้แช่แข็ง
- ถาดแช่แข็ง
- ตะเกียงแอลกอฮอล์
- ปีกเกอร์ขนาด 100 ml.
- ลำไยตากเกรด
- ตู้อบลมร้อน (Hot air Oven)
- ถังขนาด 1000 ลิตร สำหรับผลิตแก๊ส
- ถังขนาด 500 ลิตร สำหรับเก็บแก๊ส จำนวน 3 ถัง
- ถังขนาด 500 ลิตร สำหรับเป็นถังเดิม จำนวน 1 ถัง

กระบวนการดำเนินการทดลอง

การผลิตเอทานอลจากลำไยตากเกรด

ในกระบวนการทดลองได้มีการทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการก่อน หลังจากนั้นก็จะมีกระบวนการผลิตเอทานอลในระดับขนาดการทดลองที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการ เชื้อจุลินทรีย์ทุกชนิดจะตายด้วยกระบวนการใช้หม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิสูง แต่เมื่อขยายขนาดการทดลองที่ใหญ่ขึ้น กระบวนการทดลองจะมีข้อจำกัดอยู่ที่ขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นการออกแบบการทดลอง จึงต้องอาศัยการต้มฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ยาวนานเป็นระยะเวลา 4-6 ชั่วโมง และมีการใช้สารเคมี เช่น โซเดียมคาร์บอเนต ที่มีความเข้มข้นสูง และหัวเชื้อยีสต์นั้นจะต้องเป็นยีสต์สด ที่ผ่านกระบวนการเลี้ยงปรับสภาพในอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งเชื้อจะมีความแข็งแรงสามารถที่จะต่อสู้กับเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆได้ โดยมีการออกแบบการทดลองดังภาพที่ 6



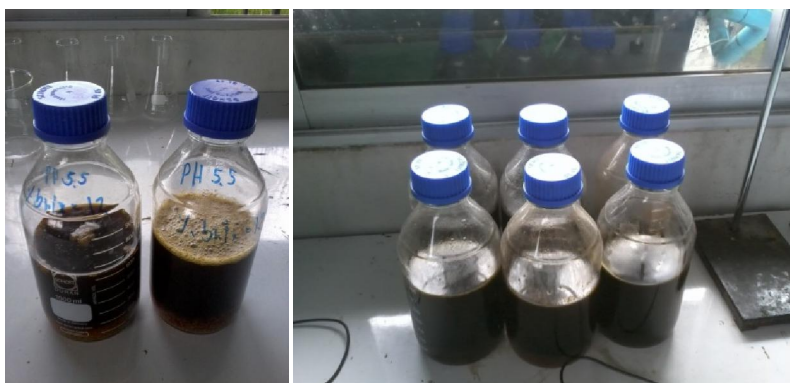
ภาพที่ 6 แผนการดำเนินการทดลองผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด

ขั้นการหาสถานะที่เหมาะสมในระดับสเกลขนาดเล็กของการหมักน้ำไล้ตกเกรด

กระบวนการทดลองในระดับสเกลขนาดเล็กนั้นทั้งลำไยสดและอบแห้งตกเกรด จะมีการกำหนดสถานะในการหาปริมาณแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้สูงสุดของยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* โดยจะมีปัจจัยที่ใช้ในการแปรผัน คือ ระยะเวลาในการเลี้ยง (ชั่วโมง) และปริมาตรหัวเชื้อที่ 10% ซึ่งจากการประเมินในเบื้องต้น พบว่า ลำไยสด 1 กิโลกรัม ใช้น้ำในการต้มสกัดน้ำตาล เท่ากับ 2.5 ลิตร ซึ่งจะได้ลำไยสำหรับหมักแอลกอฮอล์ประมาณ 2.0 ลิตร (ส่วนหนึ่งระเหยไป) โดยจะมีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 70.07 g/L , % brix เท่ากับ 17 % และมีปริมาณกาก โดยน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.579 Kg. ในส่วนของลำไยอบแห้งตกเกรด จากการประเมินในเบื้องต้น พบว่า ลำไยอบแห้งตกเกรด 1 กิโลกรัม ใช้น้ำในการต้มสกัดน้ำตาล เท่ากับ 2.5 ลิตร ซึ่งจะได้ลำไยสำหรับหมักแอลกอฮอล์ประมาณ 1.92 ลิตร โดยมีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 69.56 g/L , % brix เท่ากับ 17 % และปริมาณกาก โดยน้ำหนักแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 0.564 Kg. ดังภาพที่ 7 และ 8



ภาพที่ 7 การเตรียมหมักน้ำลำไยตกเกรดตามสถานะต่างๆ



ภาพที่ 8 การหมักน้ำลำไยในระดับสเกลขนาดเล็กตามสถานะต่างๆ

ขั้นการทดลองในระดับสเกลขนาดใหญ่ของการหมักลำไยตากเกรด

ขั้นตอนที่ 1 การจัดหาแหล่งรับซื้อลำไยตากเกรดจากแหล่งรับซื้อ ในตำบลแม่แฝก อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นแหล่งรับซื้อลำไยเพื่อการจำหน่ายให้กับโรงงานในจังหวัดลำพูนและจังหวัดใกล้เคียง มีอัตราการรับซื้อประมาณวันละ 500 – 600 กิโลกรัมต่อวัน จากการสอบถามข้อมูลในเบื้องต้น พบว่า จะมีลำไยที่ไม่ได้ขนาดอยู่ประมาณ 30% ของแต่ละวัน ซึ่งแหล่งรับซื้อนี้ก็ทำการทิ้งเสียเป็นส่วนใหญ่ จากการลงพื้นที่สำรวจ พบว่า ลำไยตากเกรดจากแหล่งรับซื้อแห่งนี้จะเป็นลำไยที่มีหลายพันธุ์ปะปนกันมา ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลำไยตากเกรดจากแหล่งรับซื้อ ณ ตำบลแม่แฝก อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

ขั้นตอนที่ 2 นำลำไยที่ได้มาทำการล้างสิ่งสกปรกออกแล้วทำการแช่ด้วย Sodium bicarbonate เป็นเวลา 24 ชม. เนื่องจากในกระบวนการผลิตเอทานอลนั้น ถ้ามีจำนวนของลำไยหลายกิโลกรัม มักจะมีเศษดิน กิ่งไม้ ต่างๆ ติดมาด้วย จึงต้องทำการล้างและแช่น้ำไว้เป็นเวลานานพอสมควร เพราะมักจะมีเชื้อโรคชนิด E. coli ติดมาด้วย ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การล้างและแช่ลำไยตากเกรดเพื่อฆ่าเชื้อโรค

ขั้นตอนที่ 3 นำเอาลำไยตากเกรดมาบีบน้ำออกด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก(ขั้นการบดหยาบ) เนื่องจากมีลำไยในปริมาณที่มาก จึงต้องมีการใช้อุปกรณ์ที่มีความรวดเร็วในการที่จะบีบน้ำอัด เอาน้ำลำไยออกมาให้ได้ไวและมากที่สุด เพราะป้องกันในเรื่องของการที่ลำไยจะเน่าเสียก่อนกระบวนการผลิตเอทานอล ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การบีบน้ำอัดเอาน้ำลำไยด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก

ขั้นตอนที่ 4 นำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด ขนาด 1 แรงม้า (ขั้นการบดละเอียด) หลังจากผ่านขั้นตอนการบีบน้ำอัดแล้วจะนำมาปั่นละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด ซึ่งจะทำให้ได้น้ำลำไยออกมาได้ดียิ่งขึ้น ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 เครื่องบดละเอียดลำไยก่อนที่จะนำไปต้มเพื่อฆ่าเชื้อโรคและสกัดน้ำตาล

ขั้นตอนที่ 5 นำน้ำที่ได้มาต้มที่อุณหภูมิ 100 องศา เป็นเวลา 4 ชั่วโมงเพื่อฆ่าเชื้อราและจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ดังภาพที่ 13 และทำการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี Modified Lane – Eynon Constant Volumetric Method (กนกวรรณ, 2547)



ภาพที่ 13 การต้มเพื่อมาเชื้อโรคและสกัดน้ำตาลออกจากลำไยตากเกรด

ขั้นตอนที่ 6 ทำการเพาะเชื้อยีสต์ *Sacharomyces cerevisiae* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM Broth เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ดังภาพที่ 14



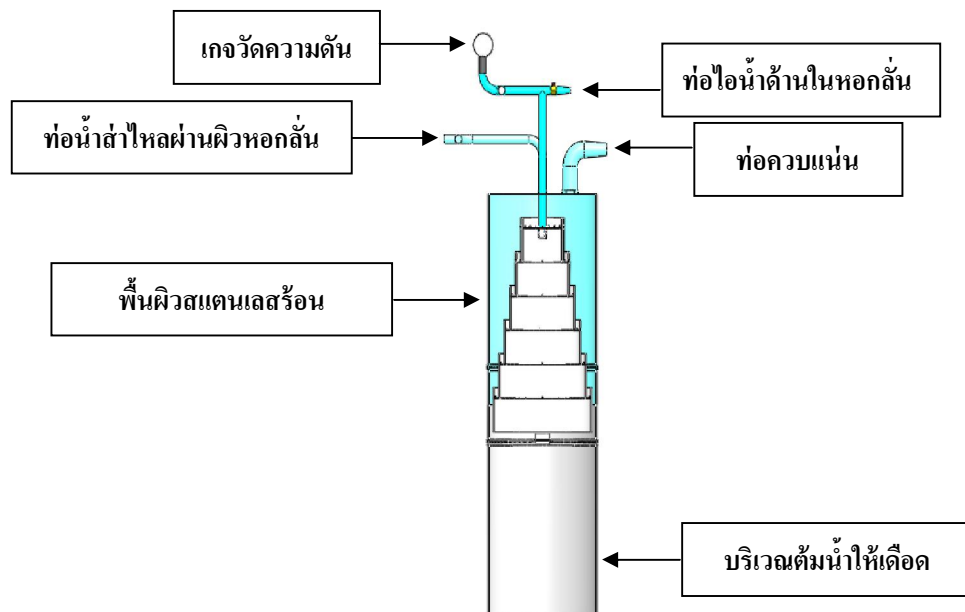
ภาพที่ 14 การต่อยีสต์ *Sacharomyces cerevisiae* จากน้ำลำไยลงอาหารเลี้ยงเชื้อ YM broth

ขั้นตอนที่ 7 นำเชื้อยีสต์จากสภาวะที่ดีที่สุดในระดับสเกล ปริมาตร 500 ml มาถ่ายลงถังหมักขนาด 150 ลิตร ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ถังหมักน้ำลำไยตากเกรดขนาด 150 ลิตร

ขั้นตอนที่ 8 หมักไว้เป็นระยะเวลา 7 - 10 วัน ในสภาวะอุณหภูมิห้อง
 ขั้นตอนที่ 9 นำน้ำสำมากลับแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องกลั่นที่ออกแบบไว้ ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 รายละเอียดโครงสร้างหม้อกลั่นแอลกอฮอล์ต้นแบบ



ภาพที่ 17 หม้อกลั่นเอทานอลต้นแบบ

จากภาพที่ 16 และ 17 เป็นหม้อกลั่นเอทานอลต้นแบบขนาด 50 ลิตร มีการดัดแปลงติดตั้ง
 ท่อน้ำวนไว้ที่ก้นถังซึ่งทำด้วยสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. อุณหภูมิสูงสุดประมาณ

110 องศา และทนแรงดันได้ประมาณ 11 bar โดยใช้ท่อแก้วใสความยาว 35 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อในกระบวนการควบแน่น อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในกระบวนการควบแน่นเท่ากับ 6 ลิตร ต่อนาที

ขั้นตอนที่ 10 วัดความเข้มข้นแอลกอฮอล์ที่ได้ด้วย Hydrometer ดังภาพที่ 17 โดยสามารถวัดความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ได้มากกว่า 95 %

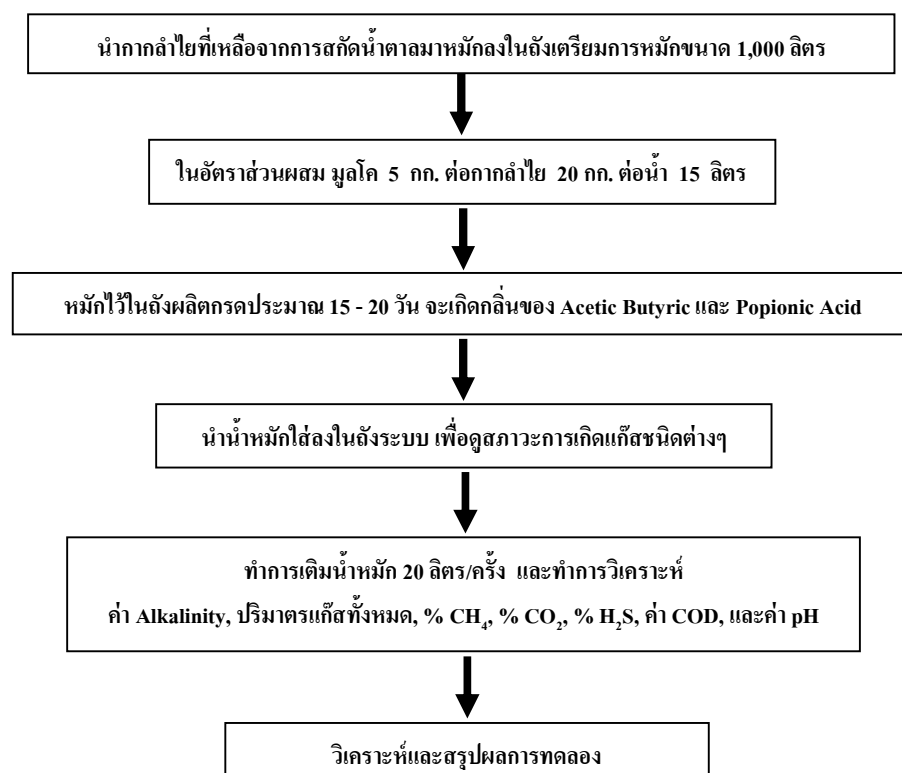


ภาพที่ 18 เครื่องมือในการวัดปริมาณแอลกอฮอล์ (Hydro meter)

การผลิตแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด

ในกระบวนการทดลองได้ใช้เชื้อจุลินทรีย์เมทาโนเจนจากจีวัสดเป็นหัวเชื้อตั้งต้น ซึ่งจะทำกรหมักแบบ 2 ขั้นตอน โดยช่วงแรกจะทำกรหมักในถังเตรียมก่อน หลังจากนั้นจึงจะทำกรถ่ายเทลงในถังหมักขนาด 1,000 ลิตร โดยมีแผนการทดลองดังภาพที่ 19

แผนการดำเนินการทดลอง



ภาพที่ 19 ขั้นตอนการผลิตแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด

ขั้นตอนที่ 1 นำกากลำไยหยาบที่เหลือจากการบีบน้ำตาลออกไปใส่ลงในถังหมักขนาด 200 ลิตร



ภาพที่ 20 กากลำไยที่ได้จากการบีบน้ำตาลเพื่อนำไปหมักแอลกอฮอล์

ขั้นตอนที่ 2 เติมหั้วเชื้อโดยจะใช้มูลวัวสด 10 กก. เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยอัตราส่วนที่ใช้คือ มูลวัวสด 10 กก. : กากลำไยหยาบ 20 กก. ดังภาพที่ 20 และ 21 ซึ่ง จะทำการหมักแบบ 2 ขั้นตอน โดยช่วงแรกจะทำการหมักผสมในถังขนาด 200 ลิตรก่อน และเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 7 – 10 วันจึงจะนำกากลำไยในถังขนาด 200 ลิตรไปเติมลงในถังผลิตแก๊สชีวภาพ



ภาพที่ 21 มูลวัวสดที่นำมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตแก๊สชีวภาพจากกากลำไยตกเกรด



ภาพที่ 22 การเติมกากลำไยผสมมูลวัวสดลงไปในถังหมัก

ขั้นตอนที่ 3 ในช่วงแรกจะทำการประเมินอัตราการเติมน้ำสำ จากการวัดค่า COD ซึ่งจะทำให้ทราบว่าต้องเติมน้ำสำลงไปเท่าใดเพื่อให้จุลินทรีย์ในถังหมักสามารถที่จะผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงสุด

ขั้นตอนที่ 4 ปล่อยทิ้งไว้ 20 - 25 วันถังหมักจะลอยขึ้น นั้นแสดงว่ามีแก๊สชีวภาพเกิดขึ้น ทำการวัดปริมาตรที่ได้ในช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูล 10 วันต่อการเติม 1 ครั้ง



ภาพที่ 23 การเกิดแก๊สหลังจากการเติมกากลำไยที่หมักผสมกับมูลโคในถังขนาด 200 ลิตร

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ค่าต่างๆ ในกระบวนการทดลอง ได้แก่

ค่า COD, Alkalinity และ Total Kjeldahl Nitrogen ใช้วิธีวิเคราะห์ Base on APHA – AWWA (2005)

Total Suspended Solid, Total Volatile Suspended Solid และ Total Volatile Solid ใช้วิธีวิเคราะห์ In house method modified from AOAC (2005), 922.10 and APHA – AWWA (2005)

Total Solid ใช้วิธีวิเคราะห์ AOAC (2005), 920.151 และ C/N ใช้วิธีวิเคราะห์ In house method AOAC (2005)

ผลการวิจัย

การผลิตเอทานอลจากลำไยตากเกรด

ในการดำเนินการทดลองผลิตเอทานอลจากลำไยตากเกรด ได้มีการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของเนื้อลำไยสดและลำไยอบแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อลำไยอบแห้งและเนื้อลำไยสด

การทดสอบ	เนื้อลำไยอบแห้ง	เนื้อลำไยสด	วิธีการตรวจสอบ
	ปริมาณ (g /100 g)	ปริมาณ (g /100 g)	
Water Activity	0.98	-	In house method based on AOAC (2005), 978.18
Total Sugar	15	18	
Fructose	2.34	2.87	
Glucose	2.46	2.79	In house method based on Compendium of method for Food analysis (2003) p2-80 to p2-81.
Sucrose	10.20	11.31	
Maltose	< 0.5	< 0.5	
Lactose	< 0.5	< 0.5	
% Brix	17	18	

จากตารางที่ 6 พบว่าภายในเนื้อลำไยสดจะมีเปอร์เซ็นต์ Brix เท่ากับ 18% และลำไยอบแห้งจะมีเปอร์เซ็นต์ Brix เท่ากับ 17% โดยในส่วนของน้ำตาลกลูโคสจะอยู่ที่ 2.79 กรัม/100 กรัม และ 2.46 กรัม/100 กรัม โดย Total Sugar เท่ากับ 18 และ 15 กรัม/100 กรัม โดยในส่วนของน้ำตาล Maltose และ Lactose นั้น จะมีน้อยกว่า 0.5 กรัม/100 กรัม

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดลำไยสด

การทดสอบ	ปริมาณ (g /100 g)	วิธีการตรวจสอบ
Crude Fiber	1.97	In house method based on AOAC (2005), 978.18
Protein	5.34	
Fat	1.30	In house method based on Compendium of method for Food analysis (2003) p2-80 to p2-81.
Carbohydrate	52.50	
Ash	1.16	

จากตารางที่ 7 แสดงองค์ประกอบของเมล็ดลำไย ซึ่งประกอบไปด้วย Carbohydrate ที่มีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 52.50 กรัม/100 กรัม รองลงมาคือ Protein เท่ากับ 5.34 กรัม/100 กรัม Crude Fiber เท่ากับ 1.97, Protein เท่ากับ 5.34 และ Ash 1.16 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเปลือกลำไย

การทดสอบ	ปริมาณ (g /100 g)	วิธีการตรวจสอบ
Crude Fiber	23.64	In house method based on AOAC (2005), 978.18
Protein	4.56	
Fat	0.56	In house method based on Compendium of method for Food analysis (2003) p2-80 to p2-81.
Carbohydrate	45.55	
Ash	3.07	

จากตารางที่ 8 พบว่าภายในเปลือกลำไยมีปริมาณของ Carbohydrate สูงสุด รองลงมา คือ Crude Fiber ซึ่งมีค่าเท่ากับ 45.55 และ 23.64 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ โดยในส่วนของ Protein, Ash และ Fat ซึ่งจะมีค่าน้อย โดยมีค่าเท่ากับ 4.56, 3.07 และ 0.56 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ปริมาณองค์ประกอบของลำไยตกเกรด 1 กก.

ลำไย 1 (กก.)	เนื้อ (กก.)	เปลือก (กก.)	เมล็ด (กก.)	น้ำหนักกากเมื่อไล่ความชื้น (กก.)	ความชื้นที่หายไป (%)
ลำไยสด	0.2763	0.2176	0.5061	0.579	42.1
ลำไยอบแห้ง	0.2518	0.2198	0.5284	0.564	43.6
เฉลี่ย	0.2640	0.2187	0.5172	0.5715	42.85

จากตารางที่ 9 พบว่า ภายในเนื้อลำไยสดตกเกรด 1 กิโลกรัม ประกอบไปด้วย เนื้อ 0.2763 กก. เปลือก 0.2176 กก. และเมล็ด 0.5061 กก. ตามลำดับ ในส่วนของเนื้อลำไยอบแห้ง 1 กก. ประกอบไปด้วย เนื้อ 0.2518 กก. เปลือก 0.2198 กก. และเมล็ด 0.5284 กก. ตามลำดับ

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแอลกอฮอล์จากลำไยตกเกรด

จากการศึกษาหาข้อมูลและประเมินปัจจัยในการผลิตแอลกอฮอล์ พบว่า ปัจจัยที่มีความเหมาะสมที่จะกำหนดในการทดลอง คือ ปริมาณน้ำตาลในลำไย เชื้อยีสต์สดและระยะเวลาในการเลี้ยงเชื้อยีสต์สด

ปริมาณน้ำตาลในลำไย

จากการทดลอง เมื่อทำการวัด % Brix (Total solid หรือ ค่าความหวาน) ของลำไยตกเกรด ชนิดอบแห้งและสด พบว่า % Brix ที่ได้คือ 17 และ 18 Brix ตามลำดับ โดยน้ำลำไยที่ได้มีค่าพีเอช เท่ากับ 4.9 และ 5.1 ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลที่วัดได้คือ 85 และ 90 g/L ตามลำดับ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางเคมีของลำไยสดและลำไยอบแห้งตกเกรด

การทดสอบ	ลำไยอบแห้ง	ลำไยสด	วิธีการตรวจสอบ
ค่าพีเอช	4.9	5.1	เครื่องพีเอชมิเตอร์
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์	85 g/L	90 g/L	Determination of Reducing Sugar by Lane – Eynon Method และเครื่อง Refractometer
% Brix	17	18	
อุณหภูมิในการหมัก	26-28 C	26-28 C	เทอร์โมมิเตอร์

เชื้อยีสต์สด

ได้รับความอนุเคราะห์ในการต่อเชื้อจาก สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยทำการเลี้ยงในอาหารเหลวชนิด YM Broth ของบริษัท Becton, Dickinson and Company ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ซึ่งจะได้เชื้อยีสต์ที่อยู่ในช่วงเจริญวัย โดยจะเป็นช่วงที่เชื้อยีสต์มีความแข็งแรงทนทานต่อทุกสภาวะโดยเฉพาะเชื้อยีสต์ที่มีอยู่ในอากาศทั่วไป ซึ่งยีสต์ที่มีในอากาศนี้จะมีความสามารถในการกำจัดน้ำตาลได้รวดเร็วกว่ายีสต์ *Saccharomyces cereviceae* เมื่อเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* มีปริมาณน้อยและไม่แข็งแรง

ระยะเวลาในการเลี้ยง

จากการทดลองในระดับสเกลของลำไยสดตกเกรด พบว่า การเลี้ยงยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* ได้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด เท่ากับ 8.5 % (390 ml) ณ ระยะเวลาการเลี้ยงเชื้อยีสต์สด 14 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณเชื้อยีสต์เท่ากับ 7.58×10^7 cell/ml และประสิทธิภาพการหมักเท่ากับ 95.05% รองลงมาคือ 7% ณ ระยะเวลาการเลี้ยง 12 และ 24 ชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพการหมักเท่ากัน คือ 78.28 % ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในระดับสเกลขนาดเล็กของลำไยสดตกเกรด

% แอลกอฮอล์ ที่ได้	ระยะเวลาใน การเลี้ยง (ชม.)	ปริมาตรหัว เชื้อ (%)	ปริมาณเชื้อ ยีสต์ Cell/ml	ปริมาณ แอลกอฮอล์ที่ ได้	ประสิทธิภาพ การหมัก (%)
4%	8	10	6.17×10^6	350 ml	47.73
5%	10	10	6.85×10^6	330 ml	55.916
7%	12	10	6.91×10^7	360 ml	78.28
8.5 *	14 *	10	7.58×10^7 *	390 ml	95.05 *
5%	16	10	7.84×10^7	350 ml	55.916
6%	18	10	7.76×10^7	370 ml	67.09
4%	20	10	7.65×10^7	340 ml	47.73
5%	22	10	7.62×10^7	360 ml	55.916
7%	24	10	7.58×10^7	360 ml	78.28

* มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงที่สุด

จากการทดลองในระดับสเกลของลำไยอบแห้งตากเกรด พบว่า การเลี้ยงยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* ได้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด เท่ากับ 8 % (325 ml) ณ ระยะเวลาการเลี้ยงยีสต์สดเท่ากับ 14 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณเชื้อยีสต์เท่ากับ 7.48×10^7 cell/ml และประสิทธิภาพการหมักเท่ากับ 91.44 % รองลงมา คือ รองลงมาคือ 7% ณ ระยะเวลาการเลี้ยง 12, 18, 20, 22 และ 24 ชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพการหมักเท่ากัน คือ 80.01 % ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในระดับสเกลขนาดเล็กของลำไยอบแห้งตากเกรด

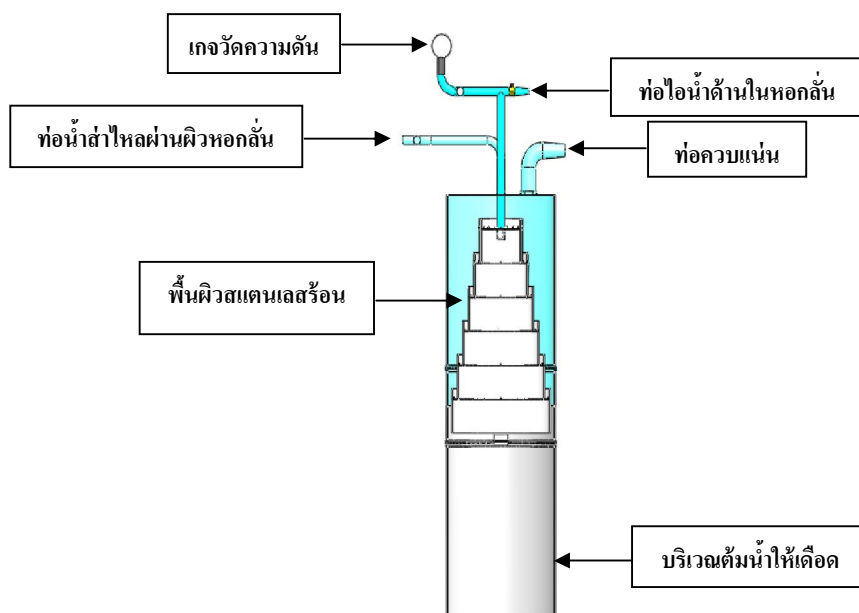
% แอลกอฮอล์ ที่ได้	ระยะเวลาใน การเลี้ยง (ชม.)	ปริมาตร หัวเชื้อ	ปริมาณเชื้อ ยีสต์ Cell/ml	ปริมาณ แอลกอฮอล์ที่ได้	ประสิทธิภาพ การหมัก (%)
4%	8	10	6.54×10^6	310	45.72
5%	10	10	6.75×10^6	340	57.15
7%	12	10	6.98×10^7	315	80.01
8% *	14 *	10	7.48×10^7 *	325 *	91.44 *
6%	16	10	7.74×10^7	330	68.58
7.3%	18	10	7.89×10^7	317	83.44
7.7%	20	10	7.75×10^7	340	88.01
7.4%	22	10	7.68×10^7	320	84.58
7%	24	10	7.61×10^7	335	80.01

* มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงที่สุด

การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหมักและการกลั่นด้วยเครื่องต้นแบบ

เมื่อทราบสภาวะการหมักที่สามารถให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด จะนำมาทำการทดลองในระดับสเกลที่ใหญ่ขึ้น โดยใช้เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ต้นแบบ, ใช้สภาวะการหมักที่ได้จากการทำการทดลองในระดับสเกลและทำการหมักในถังพลาสติกขนาด 150 ลิตร โดยอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27 – 31 องศาเซลเซียส

เครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ต้นแบบ



ภาพที่ 24 โครงสร้างเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ต้นแบบ

จากหลักการในการให้ความร้อนผ่านท่อสแตนเลส จะเป็นการเพิ่มพื้นที่การให้ความร้อนที่สูงขึ้นแก่น้ำสำ โดยมวลน้ำสำที่ร้อนจะไหลไปสู่มวลน้ำที่เย็น ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะทำให้ความร้อนกระจายไปทั่วทั้งถังกลั่นได้เป็นอย่างดี โดยในการทดลองนั้นจะใช้น้ำสำประมาณ 50 ลิตร ซึ่งถังกลั่นชุดนี้จะมีส่วนประกอบ โดยรวม คือ

1. ตัวถังค้ำน้ำสำที่มีการดัดแปลง โดยการติดตั้งท่อสแตนเลส เพื่อใช้ในการให้ความร้อน
2. ตัวฟิวสเดนเลสที่ทำเป็นชั้นๆ เพื่อเป็นการเพิ่มแรงดันและเพิ่มอุณหภูมิให้แอลกอฮอล์สามารถที่จะระเหยออกมาได้อย่างรวดเร็ว
3. เกจวัดความดันและวัดอุณหภูมิของไอน้ำก่อนออกมาควบแน่น ดังภาพที่ 24 และ 25



ภาพที่ 25 ตัวถังต้มน้ำสาที่มีการดัดแปลงโดยการให้ความร้อนจากการเผาฟอสเฟตเตนเลส

ตารางที่ 13 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ต้นแบบ (ลำไยอบแห้ง)

การทดลองที่	ปริมาตรน้ำสาเริ่มต้น litre	น้ำหนักน้ำหลังต้ม kg.	น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป litre	น้ำหนักแก๊สที่ใช้ไป kg.	% แอลกอฮอล์ของน้ำสา (v/v)	% แอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ (v/v)	ปริมาตรที่กลั่นได้ litre	เวลาที่ใช้ในกระบวนการกลั่น
1	50	36.90	13.1	2.74	4 %	8.5 %	10.5	6 ชม. 5 นาที
2	50	38.64	11.36	2.81	4.3 %	8.7 %	11.1	6 ชม. 30 นาที
3	50	37.85	12.15	2.91	4.2 %	8.5 %	10	6 ชม. 15 นาที
รวม	150	-	36.6	8.46	4.16 %	8.6 %	31.6	18 ชม. 50 นาที

จากตารางที่ 13 พบว่า การกลั่นน้ำสาจากลำไยอบแห้งตกเกรดปริมาณของแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้เท่ากับ 31.6 ลิตร เวลาในการกลั่นเท่ากับ 18 ชั่วโมง 50 นาที โดยใช้แก๊ส LPG ไปเท่ากับ 8.46 กก. เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่กลั่นได้เท่ากับ 8.6 %

ตารางที่ 14 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ต้นแบบ (ลำไยสด)

การทดลองที่	ปริมาตรน้ำลำไยเริ่มต้น litre	น้ำหนักน้ำหลังต้ม kg.	น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป litre	น้ำหนักแก๊สที่ใช้ไป kg.	% แอลกอฮอล์ของน้ำลำไย (v/v)	% แอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ (v/v)	ปริมาตรที่กลั่นได้ litre	เวลาที่ใช้ในกระบวนการกลั่น
1	50	36.20	13.8	2.76	4.8 %	8.8 %	11.5	6 ชม. 25 นาที
2	50	37.60	12.4	2.73	4.2 %	8.6 %	10.7	6 ชม. 15 นาที
3	50	38.10	11.9	2.78.	4.9 %	8.5 %	10.5	6 ชม. 20 นาที
รวม	150	-	37.3	8.37	4.6 %	8.6 %	32.7	19 ชม.

จากตารางที่ 14 พบว่าการกลั่นน้ำลำไยจากลำไยสดตกเกรดปริมาตรของแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้เท่ากับ 32.7 ลิตร เวลาในการกลั่นเท่ากับ 19 ชั่วโมง โดยใช้แก๊ส LPG ไปเท่ากับ 8.37 กก. เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่กลั่นได้เท่ากับ 8.6 %



ภาพที่ 26 การกลั่นเอทานอลจากลำไยตกเกรด (แบบกะ)

จากภาพที่ 26 เป็นกระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์แบบกะโดยใช้เครื่องกลั่นต้นแบบที่มีอัตราการกลั่น 50 ลิตรต่อครั้ง โดยจะมีหลอดควบแน่น 2 ชั้นตอน เนื่องจากไพลสมระหว่างเอทานอลและไอน้ำนั้นมีอุณหภูมิสูงประมาณ 105 องศา ซึ่งร้อนมาก จึงต้องมีหลอดควบแน่น 2 ชั้นตอน ถึงจะไม่เกิดการสูญเสียของเอทานอล

การผลิตแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด

จากการทดลอง นำกากลำไยตกเกรดมาผสมหมักกับมูลวัวสด (Co – digestion) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการหมักย่อยได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งมูลโคสดมีค่าของความเป็นด่าง (Alkalinity) อยู่ในระดับ 7 – 7.8 (กล้าณรงค์, 2544) ซึ่งจากหลักการดังกล่าวเป็นองค์ประกอบที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการเพิ่มขึ้นของศักยภาพการหมัก และส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยจะทำในรูปแบบของการเติมแบบ Batch ซึ่งจะเติมครั้งละ 20 กก. โดยจะเก็บผลการทดลองเป็นระยะเวลา 10 วัน ซึ่งจะทำให้การทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง ในสภาวะที่อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25 – 32 องศา ค่าพีเอชเท่ากับ 6.8 – 7.5 และค่า Alkalinity เท่ากับ 3,000 – 3,500 ml/L (CaCO_3)

ในกระบวนการทดลองนั้นจะมีการนำกากลำไยที่เหลือจากการสกัดเอาน้ำตาล เพื่อนำไปผลิตเป็นเอทานอล มาผสมรวมกับมูลโคและน้ำในอัตราส่วน มูลโค 5 กก. : กากลำไย 20 กก. : น้ำ 15 ลิตร ในถังหมักเตรียม (ผลิตกรด) เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ จากกากของลำไยตกเกรด โดยจะทำการหมักไว้เป็นระยะเวลา 15 - 20 วัน โดยมีการคนผสมทุกๆ วัน โดยเมื่อนำตัวอย่างมาทำการทดสอบวัดค่าต่างๆ พบว่ามีรายละเอียดดังตารางที่ 15

จากตารางที่ 15 พบว่าค่า COD ของน้ำหมักที่เกิดจากการผสมกากลำไยตกเกรดและมูลวัวไปนั้นมีค่าเท่ากับ 254,000 mg/L เมื่อทำการหมักในถังเตรียมเป็นเวลา 7 – 10 วัน ซึ่งค่า COD ที่สูงนี้หมายถึง ปริมาณสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์และแบคทีเรียต้องการในกระบวนการที่จะเปลี่ยนไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สมีเทน ซึ่งนอกจากปัจจัยที่กล่าวมาแล้ว ยังมีในส่วนของค่า Alkalinity เท่ากับ 42.1 mg/L ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า pH โดยถ้าค่า Alkalinity น้อยนั้น หมายถึงความสามารถในการรักษาสภาพความเป็นด่างที่ต่ำ โดยค่า pH จะต่ำลง ซึ่งจะหมายถึงสารนั้นจะมีความเป็นกรดสูง ซึ่งจากผลการทดลองในช่วงแรกค่า pH จะเท่ากับ 3.8 ในส่วนของ TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) หมายถึง ปริมาณสารไนโตรเจนทั้งหมดในสารละลาย โดยจะมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 2,942 mg/L ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า NH_3 (แอมโมเนีย) โดยแอมโมเนียเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทโปรตีนของจุลินทรีย์และแบคทีเรีย โดยโปรตีนจะย่อยสลายเป็นกรดอะมิโน จากนั้นแบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสลายกรดอะมิโน โดยกระบวนการ Deamination ได้เป็นแอมโมเนียปริมาณมากออกมา (นิรนาม, 2554) โดยจากการทดลองจะอยู่ที่ระดับ 4600.32 mg/L, Total Suspended Solid (TSS) หมายถึง สารแขวนลอย อยู่ที่ระดับ 0.8 mg/L, Total Volatile Suspended Solid (TVSS) หมายถึง ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย อยู่ที่ระดับ 0.7 mg/L ในส่วนของ Total Volatile Solid หมายถึง สารระเหยง่าย อยู่ที่ระดับ 126.9 mg/L และ Total Solid (TS) หมายถึง ปริมาณของแข็งทั้งหมด อยู่ที่ระดับ 143.9 mg/L

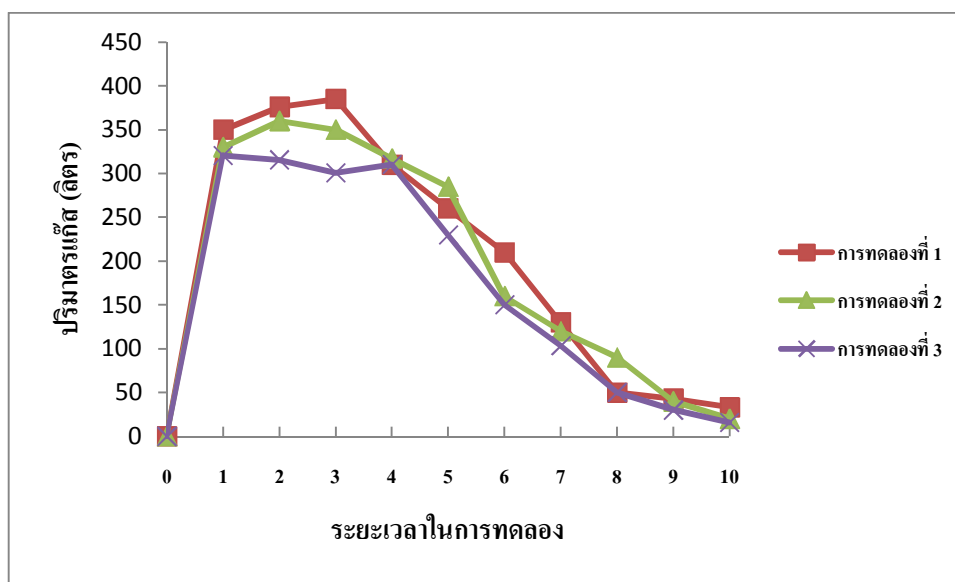
ตารางที่ 15 ผลการทดสอบค่าของน้ำหมักที่ใช้ในการทำไบโอแก๊สก่อนการบรรจุลงในถังระบบ

การทดสอบ	ผลการทดสอบ	วิธีการตรวจสอบ
COD	254 g/L	Base on APHA – AWWA (2005)
Alkalinity	42.1 mg/L	
TKN	2,942.1 mg/L	
TSS	0.8 mg/L	In house method modified from AOAC (2005), 922.10 and APHA – AWWA (2005)
TVSS	0.7 mg/L	
TVS	126.9 mg/L	
TS	143.9 mg/L	AOAC (2005), 920.151
C/N	14:1	In house method AOAC (2005)
NH ₃	4600.32 mg/L	
pH	3.8	pH Meter

ในการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรดนั้นจะใช้ถังหมักขนาด 1,000 ลิตร เป็นถังระบบสำหรับผลิตแก๊สมีเทน ดังภาพที่ 27 ซึ่งจะต้องมีใบกวนไว้สำหรับกระจายสารจำพวกกรดอินทรีย์ระเหยง่าย เพื่อให้เมทาโนเจนแบคทีเรียใช้ในการสังเคราะห์แก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ได้อย่างทั่วถึง โดยในถังระบบนี้จะปิดสนิท อากาศไม่สามารถที่จะเข้าได้ และในกระบวนการวัดอัตราการเกิดไบโอแก๊สนั้น จะใช้วิธีการวัดปริมาตรแก๊สต่อวัน และจะทำการปล่อยออกทุกวัน เพื่อดูความสามารถในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำหมักผสมมูลโค 20 ลิตร ไปเป็นแก๊สชีวภาพ



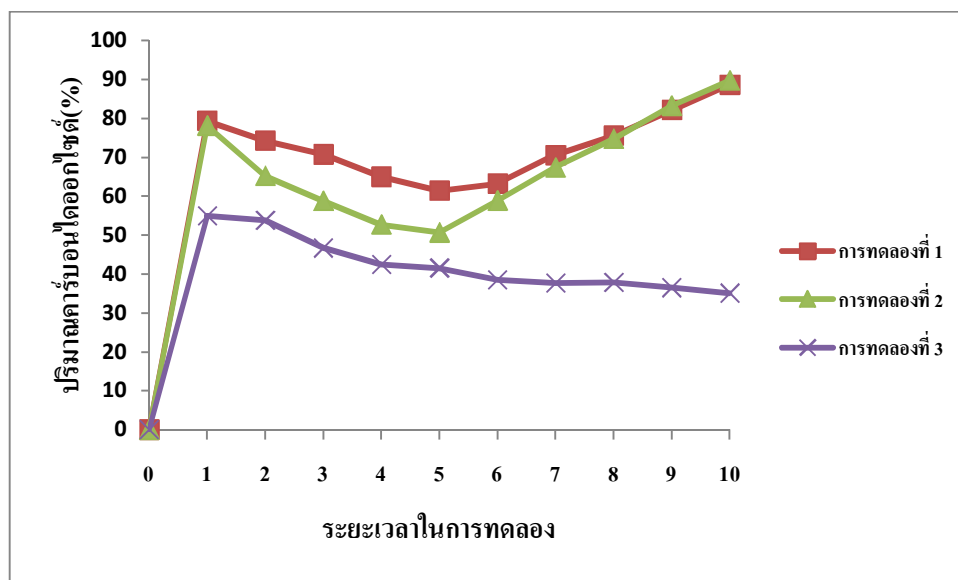
ภาพที่ 27 ลักษณะถังหมักไบโอแก๊สที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 28 ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของการหมักย่อยร่วมระหว่างลำไยกับมูลโค

จากภาพที่ 28 พบว่า การทดลองที่ 1 มีปริมาณแก๊สสูงสุดรองลงมา คือ การทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 มีปริมาณแก๊สต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 385, 360 และ 320.6 ลิตร ตามลำดับ โดยลักษณะของกราฟจะเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 3 ของการทดลอง จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงในวันที่ 4 ของการทดลองเป็นต้นไป เนื่องจากปัจจัยอยู่ 3 อย่าง คือ กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) เริ่มน้อยลง, สารอาหารพื้นฐาน เช่น กลูโคสไม่เพียงพอต่อความต้องการในการเป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการทำกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์และแบคทีเรีย ในส่วนสุดท้ายคือ ความสมดุลในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ และการผลิตแก๊สของแบคทีเรีย (Hydrogen – producing acetogenic bacteria) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ การลดลงของกรดไขมันระเหยง่ายเป็นเพราะพวก Acetogenic bacteria และ Hydrogen – producing acetogenic bacteria ทำการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายไปเป็น Acetic acid และกรดฟอร์มิก (Methanoic Acid : CH_2O_2) แล้ว Methanogen bacteria จะทำการเปลี่ยนไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน โดยถ้าเชื้อแบคทีเรียและจุลินทรีย์ที่กล่าวมานั้นมีความแข็งแรงและปริมาณมาก ความสามารถในการผลิตแก๊สชนิดต่างๆ จะสูง ทำให้ได้ปริมาณแก๊สชีวภาพที่สูง แต่ถ้ามีในปริมาณที่น้อยความสามารถในการผลิตแก๊สชนิดต่างๆ จะต่ำ ส่งผลต่อปริมาณแก๊สชีวภาพที่ต่ำ ในส่วนของปริมาณกลูโคสนั้น เป็นตัวแปรที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตแก๊สให้กับถังระบบ ซึ่งกลูโคสจะเป็นแหล่งพลังงานพื้นฐานที่สำคัญในกระบวนการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของพวกจุลินทรีย์และแบคทีเรีย โดยพบว่าถ้ากลูโคสเริ่มขาดแคลน ความสามารถในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ จะลดลงเป็นอย่างมาก ซึ่งก็จะส่งผลต่อการผลิตแก๊สที่ต่ำลงแม้ยังมีกรดไขมันระเหยง่ายอีกมากมายที่รอกระบวนการเปลี่ยนไปเป็นแก๊ส และใน

ส่วนสุดท้าย ความสมดุลในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดต่างๆและการผลิตแก๊สของแบคทีเรียในถังระบบ โดยที่ Acetogenic bacteria, Hydrogen – producing acetogenic bacteria และ Methanogen bacteria มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ต่ำกว่า พวก Hydrolytic bacteria (พวกใช้ออกซิเจนในถังเตรียม) ซึ่งหมายถึงอัตราการผลิตแก๊สชนิดต่างๆ ไม่สมดุลกับอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ แบคทีเรียและจุลินทรีย์ในถังระบบ(ผลิตแก๊ส)มีความสามารถในการผลิตแก๊สที่สูง แต่ความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะต่ำ ส่วนในถังเตรียม(ผลิตกรด) แบคทีเรียและจุลินทรีย์ชนิดต่างๆมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็กสูง แต่ความสามารถในการผลิตแก๊สจะต่ำ จึงเกิดความไม่สมดุลในการผลิตแก๊ส จากการสังเกตพบว่า ในถังระบบนั้นเมื่อการผลิตแก๊สสิ้นสุดในวันที่ 10 ของการทดลอง จะต้องรออีกประมาณ 5 – 8 วัน แก๊สถึงจะเพิ่มสูงขึ้นอีก แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์และแบคทีเรียในถังระบบจะดำเนินกิจกรรมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ก่อน ถึงจะดำเนินกระบวนการผลิตแก๊ส จึงต้องใช้เวลานานพอสมควรในกระบวนการสร้างแก๊ส จากสารอินทรีย์ต่างๆ

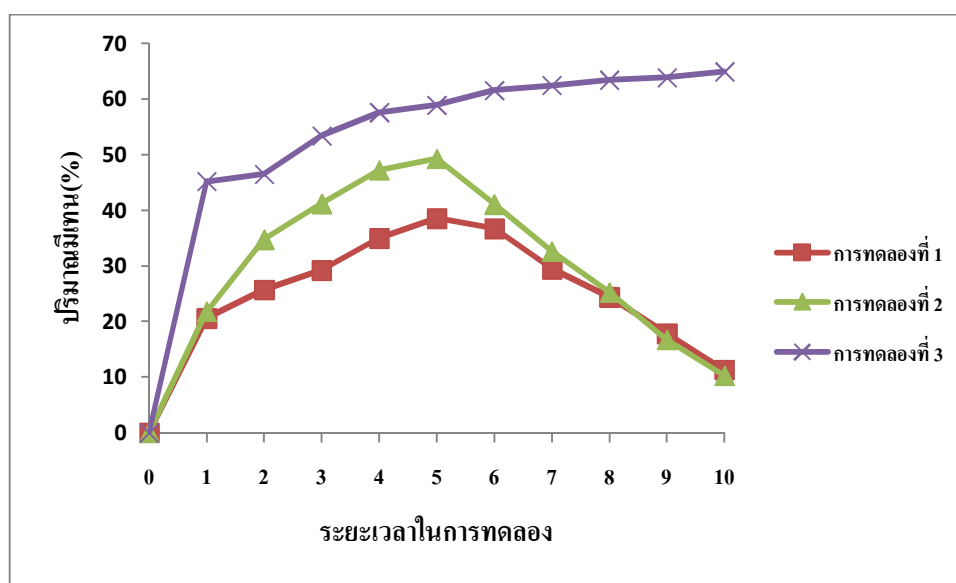


ภาพที่ 29 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในการทดลอง

จากภาพที่ 29 พบว่า ในส่วนของการทดลองที่ 1 และ 2 นั้น จะมีการเกิดของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูง แต่ในการทดลองที่ 3 นั้นพบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณที่ลดลง ตามลำดับจนถึงวันที่ 10 ของการทดลอง โดยลักษณะเช่นนี้ สามารถอธิบายได้ว่า ในกรณีที่ระบบกำลังจะเข้าสู่สภาวะคงที่ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณของแก๊สมีเทน ซึ่งแสดงว่าในการทดลองที่ 3 จุลินทรีย์สามารถผลิตแก๊ส

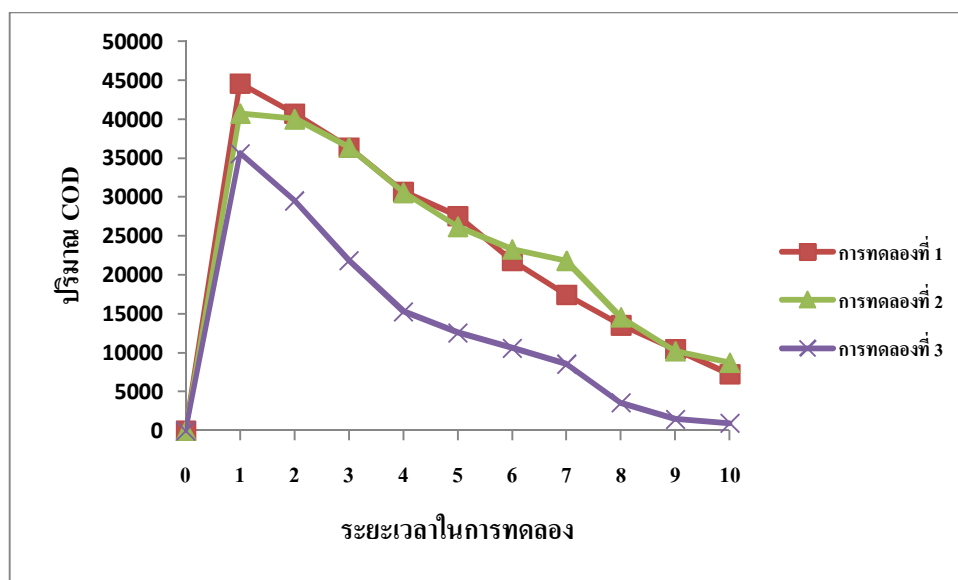
มีเทนจาก กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิก ได้ในปริมาณที่สูง ส่วนสาเหตุการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงในการทดลองที่ 1 และ 2 นั้น น่าจะมีสาเหตุมาจากการแข่งขันกันในการดำเนินกิจกรรมของ Methanogen bacteria และ Hydrogen – producing acetogenic bacteria โดยที่การเจริญเติบโตของเมทาโนเจนจะค่อนข้างช้า และจะเจริญได้ดีในสภาวะไร้ออกซิเจน แต่ Hydrogen – producing acetogenic bacteria เป็นพวก Facultative anaerobic bacteria (ไม่ผลิตแก๊สมีเทน เจริญได้ดีในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน) จะมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วกว่า Methanogen bacteria (นิรนาม, 2554) เมื่อ Hydrogen – producing acetogenic bacteria ได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่เป็นกรดไขมันระเหยง่าย จะเกิดการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และซัลไฟด์ออกมาในปริมาณที่สูงกว่าพวกเมทาโนเจน แบคทีเรียที่ผลิตแก๊สมีเทน ซึ่งสามารถที่จะแบ่งตัวได้เป็น 2 เท่า ภายในเวลา 24 ชั่วโมง โดยจากการทดลองจุดไฟในการทดลองที่ 3 พบว่า ไฟที่ได้จะติดอยู่นาน เปลวไฟมีสีฟ้าปนม่วง ได้กลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์เล็กน้อย แตกต่างกับการทดลองที่ 1 และ 2 ที่เปลวไฟนั้นจะติดๆดับๆ ไม่สม่ำเสมอ

จากภาพที่ 30 พบว่าในการทดลองที่ 3 นั้น มีปริมาณแก๊สมีเทนสูงสุดในวันที่ 10 ของการทดลอง ในส่วนของการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 1 ตามลำดับ มีเปอร์เซ็นต์มีเทนสูงสุดในวันที่ 5 เท่ากัน คือที่ 49.3% และ 38.56% ตามลำดับ



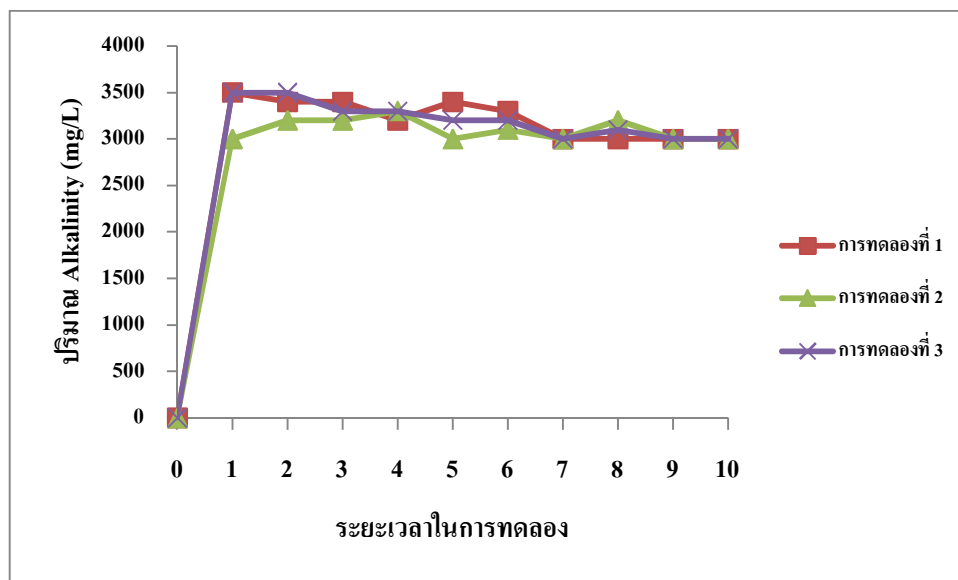
ภาพที่ 30 ปริมาณแก๊สมีเทนที่เกิดขึ้นในการทดลอง

จากภาพที่ 31 พบว่าปริมาณ COD นั้นจะมีการลดลงเรื่อยๆ โดยในการทดลองที่ 1 2 และ 3 นั้นมีปริมาณ COD เริ่มต้นเท่ากับ 44,620 40,768 และ 35,602 mg/L ตามลำดับ โดยในวันที่ 10 ของการทดลองนั้น จะมีค่า COD เหลือเท่ากับ 7,280 8,730 และ 950 mg/L ตามลำดับ ซึ่งค่า COD เป็นการวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่เกิดการสลายตัว โดยแบคทีเรียและจุลินทรีย์ที่มีความต้องการในการใช้พลังงานจากสารนั้นๆ ซึ่งจะวัดออกมาในรูปของความต้องการปริมาณออกซิเจนของน้ำเสียที่สามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ต่างๆ ไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยค่า COD นั้นจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น คือ ถ้าระบบการหมักมีค่า COD สูงปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ก็จะสูงขึ้นตาม ถ้าระบบมีค่า COD น้อย ปริมาณแก๊สชีวภาพก็จะต่ำ

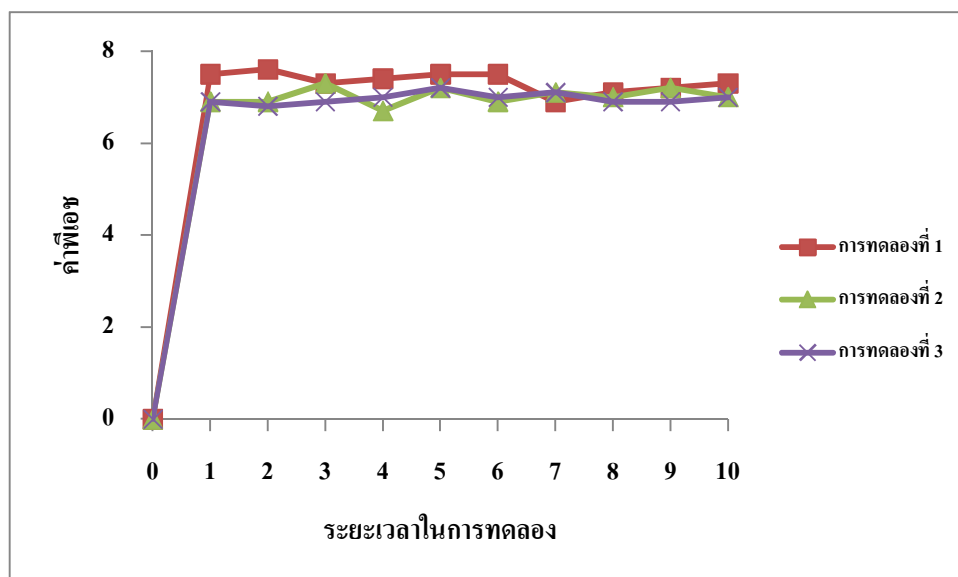


ภาพที่ 31 ปริมาณ COD ในแต่ละวันของการทดลอง

จากภาพที่ 32 สภาพ Alkalinity พบว่ามีสภาพเป็นด่างของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ซึ่งค่า Alkalinity จะมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช โดยค่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 6.9 – 7.5 ของทั้ง 3 การทดลอง ค่า Alkalinity จะอยู่ในช่วง 3,000 – 3,500 ml/L (CaCO_3) ของทั้ง 3 การทดลอง โดยค่า Alkalinity หมายถึง ความสามารถในการรักษาสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ จากการทดลองถ้าระบบไม่สามารถที่จะรักษาสภาพความเป็นกรดเป็นด่างในช่วงนี้ได้จะทำให้การผลิตแก๊สมีเทนมีปริมาณน้อยลง โดยจุลินทรีย์เมทาโนเจน ไม่สามารถที่จะทนทานต่อสภาวะความเป็นกรดสูงหรือค่าพีเอชต่ำได้ ซึ่งความเป็นกรดสูงนี้จะไปยับยั้งการผลิตแก๊สมีเทนและแก๊สอื่นๆได้

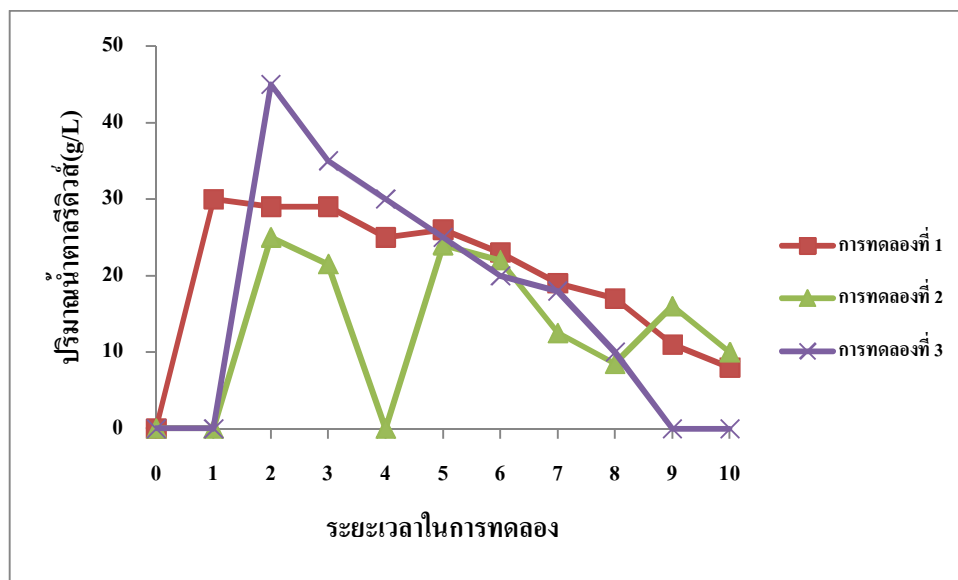


ภาพที่ 32 ปริมาณ Alkalinity ของน้ำหมักกากลำไยผสมกับมูลโคในถังหมัก



ภาพที่ 33 ค่าพีเอชของน้ำหมักกากลำไยผสมกับมูลโคในถังหมัก

จากภาพที่ 33 พบว่า ค่า pH ของทั้ง 3 การทดลองนั้น เมื่อเริ่มต้นทดลองจะอยู่ที่ระดับ 6.8 – 7.5 จนกระทั่งวันที่ 10 ของการทดลอง ค่า pH จะอยู่ที่ระดับ 7 – 7.5 แสดงว่าระบบในการหมักแก๊สชีวภาพค่อนข้างที่จะคงที่



ภาพที่ 34 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ตรวจพบในถังระบบ(ถังผลิตแก๊ส)

จากภาพที่ 34 พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในถังระบบ(ถังผลิตแก๊ส) ของทั้ง 3 การทดลอง ก่อนข้างที่จะไม่คงที่ โดยในวันแรกของการทดลองที่ 1 มีปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูง เพราะ จุลินทรีย์และแบคทีเรียในถังผลิตกรดได้ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกลูโคส ไว้ก่อนแล้ว โดยที่ Acid producing bacteria ยังไม่ใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานใน กระบวนการเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งเมื่อนำน้ำหมักกาก ลำไยผสมมูลโคมาเติมลงในถังระบบ(ผลิตแก๊ส) สันนิษฐานว่าแบคทีเรียและจุลินทรีย์พวก Facultative anaerobic bacteria (ไม่ผลิตแก๊สมีเทน เจริญได้ดีในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน) จะ ใช้น้ำตาลรีดิวซ์ก่อนพวกเมทาโนเจนแบคทีเรีย โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะค่อยๆลดลงจนถึงวันที่ 10 ของการทดลอง ส่วนการทดลองที่ 2 และ 3 จะตรวจไม่พบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในวันที่ 0 และ 1 ของการหมักในถังระบบ อาจเป็นเพราะน้ำตาลรีดิวซ์หมดลงตั้งแต่อยู่ในถังเตรียม(ผลิตกรด) โดยเมื่อนำมาเติมลงในถังระบบจุลินทรีย์และแบคทีเรียจำพวก Facultative anaerobic bacteria กำลัง ดำเนินกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นน้ำตาลกลูโคส เพราะโดยธรรมชาติ แล้ว ถ้าในระบบมีน้ำตาลกลูโคสอยู่ก่อนแล้ว จุลินทรีย์และแบคทีเรียชนิดต่างๆจะใช้กลูโคสเป็น แหล่งพลังงานในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ก่อน เมื่อหมดแล้วถึงจะดำเนินการย่อยสลายสารอินทรีย์ โมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสเพื่อเป็นแหล่งพลังงานต่อไป ซึ่งสังเกตได้จากในวันที่ 4 ของการทดลองที่ 2 นั้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเท่ากับ 0 และจะเพิ่มขึ้นอีกในวันที่ 5 ของการ ทดลอง เท่ากับ 25 mg/L จากนั้นถึงจะค่อยๆลดลงตามลำดับ

(โดยน้ำตาลรีดิวซ์ หมายถึง น้ำตาลที่มีกลุ่มของ Aldehyde หรือ Ketone ที่เป็นอิสระ ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ด้วยตัวออกซิไดซ์อย่างอ่อน ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลกาแลคโตส และน้ำตาลฟรุคโตส (นิรนาม, 2554) โดยคาดว่าเกิดจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก อาทิ เช่น น้ำตาลกลูโคส ซึ่งก็จัดเป็นประเภทของน้ำตาลรีดิวซ์ โดยการย่อยสลายที่คั้นนั้นจะต้องมีการกวนสารอาหารกับจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ให้สามารถเข้าถึงกันได้โดยง่าย โดยเมื่อมีการกวนเกิดขึ้น การตรวจวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะจุลินทรีย์มีการเข้าถึงแหล่งอาหารที่สามารถย่อยไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการรวบรวมข้อมูลในการดำเนินการทดลอง เพื่อทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีต้นทุนคงที่เท่ากับ 55,700 บาท ดังตารางที่ 16 ซึ่งมีการใช้อุปกรณ์ที่มีความหลากหลาย โดยในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์นี้ จะคำนึงถึงความรวดเร็วในกระบวนการผลิตและระยะเวลาการคืนทุนที่สั้น จึงต้องมีการใช้อุปกรณ์มากกว่า 1 อย่าง

ตารางที่ 16 รายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับต้นทุนคงที่

ลำดับที่	ต้นทุนคงที่
1	ถังหมักขนาด 150 ลิตร จำนวน 40 ถัง ราคา 20,000 บาท
2	หลอดแก้วสำหรับกลั่นเอทานอล ราคา 2,000 บาท
3	เครื่องบดอัดลำไยขนาด 3 แรงม้า จำนวน 3 ตัว ราคา 27,000 บาท
4	ยีสต์สด ราคา 700 บาท
5	หม้อต้มสกัดน้ำลำไยขนาด 300 ลิตร จำนวน 10 ใบ ราคา 8,000 บาท
รวม / เดือน	-
รวม / ปี	55,700 บาท

ในส่วนการวิเคราะห์ต้นทุนผันแปร ดังตารางที่ 17 ซึ่งมีปัจจัยในการวิเคราะห์ต้นทุนผันแปรดังนี้ ค่าไฟฟ้า, ค่าเชื้อเพลิง, ค่าอุปกรณ์สำหรับต้มฆ่าเชื้อ, ค่าจัดซื้อลำไยตกเกรด และค่าแรงงาน

ตารางที่ 17 รายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับต้นทุนผันแปร

ลำดับที่	ต้นทุนผันแปร
1	ค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องบดอัดลำไย 1,701.673 บาท/เดือน
2	ค่าเชื้อเพลิง LPG จำนวน 10 ถัง ราคา 3,000 บาท/เดือน
3	ถังน้ำมัน 200 ลิตร สำหรับคัมฆ่าเชื้อ จำนวน 10 ใบ ราคา 2,000 บาท
4	ค่าจัดซื้อลำไยตากเกรด 6 ตันรวมค่าขนส่ง / ครั้ง ราคา 15,000 บาท
5	ค่าแรง คนงาน 3 คน 20 วัน วันละ 200 บาท เท่ากับ 12,000 บาท
รวม / เดือน	33,701.673 บาท / เดือน
รวม / ปี	404,420.076 บาท / ปี

ในการประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ต้องใช้วัตถุดิบ 6 ตันต่อเดือน ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณเอทานอล 95% อยู่ที่ 379 ลิตรต่อเดือน สำหรับลำไยอบแห้งตากเกรด และ 410.28 ลิตรต่อเดือน สำหรับลำไยสดตากเกรด โดยเอทานอล 95% 1 ลิตร จะใช้วัตถุดิบเท่ากับ 15.83 กก. สำหรับลำไยอบแห้งตากเกรด และ 14.62 กก. สำหรับลำไยสดตากเกรด โดยมีต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วยเท่ากับ 88.92 บาทต่อกิโลกรัม สำหรับลำไยอบแห้งตากเกรด และ 82.14 บาทต่อกิโลกรัม สำหรับลำไยสดตากเกรด ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 การประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเอทานอลจากลำไยตากเกรด

ลำไย	น้ำหนักวัตถุดิบ (ตัน/เดือน)	ปริมาณเอทานอล 95% (ลิตร / เดือน)	ปริมาณวัตถุดิบต่อเอทานอล 1 ลิตร (95%)	ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย (บาท/กก.)
อบแห้ง	6	379	15.83 กก.	88.92
สด	6	410.28	14.62 กก.	82.14
เฉลี่ย	6	394.64	15.225 กก.	85.53

จากการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น พบว่า ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากลำไยตากเกรดมีต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วยที่สูง ความคุ้มค่าต่อการลงทุนมีความเสี่ยงในการคืนทุนที่ช้า เนื่องจากผลผลิตเอทานอลที่ได้ต่ำ อีกทั้งปัจจัยอื่นๆในกระบวนการผลิตมีต้นทุนที่สูง กระบวนการผลิตเอทานอลจากลำไยตากเกรดจึงยังไม่เป็นที่น่าลงทุนในทางเศรษฐศาสตร์

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

การผลิตเอทานอลจากลำไยตกเกรด

จากผลการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น กระบวนการที่จะได้ซึ่งความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่สูงนั้นมีปัจจัยอยู่ 2 อย่างคือ กระบวนการหมัก และกระบวนการกลั่น โดยกระบวนการหมักนั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถของยีสต์ที่ใช้หมัก สายพันธุ์ ความแข็งแรงและช่วงเวลาในการผลิตเอทานอลสูงสุด และในส่วนของความเข้มข้นของน้ำตาล ชนิดของน้ำตาล ก่อนที่เอทานอลนั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการหมักสูงขึ้น (ได้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นสูง) และกระบวนการกลั่น จะขึ้นอยู่กับเครื่องกลั่นต้นแบบแบบกะขนาด 50 ลิตร ซึ่งมีการดัดแปลงโดยการติดตั้งท่อน้ำวนสำหรับเผา เพื่อเพิ่มพื้นที่การรับความร้อน และเพิ่มแรงดันในการระเหยของแอลกอฮอล์

โดยจากการทดลองในระดับสเกลใหญ่ นั้น พบปัญหาในกระบวนการหมัก คือ แอลกอฮอล์ในน้ำลำไยที่ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติก โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ยังคงเหลืออยู่ และเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่วัดได้ของน้ำลำไยน้อย คือ 4.1 และ 4.3 % ตามลำดับ

การที่แอลกอฮอล์ในน้ำลำไยถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติกนั้น มีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนแบคทีเรียที่ผลิตกรดอะซิติก ซึ่งจะส่งผลให้การหมักจะหยุดชะงักได้ โดยจากการทดลองในระดับสเกลใหญ่ นั้น ได้มีกระบวนการผ่านความร้อนให้กับน้ำลำไยที่อุณหภูมิน้ำเดือด คือ 95 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-8 ชั่วโมง เพื่อฆ่าเชื้อโรคชนิดต่างๆที่ปนเปื้อนมากับลำไยตกเกรด เพราะลำไยตกเกรดที่ไปปรับซื้อมาทำการทดลองนั้น จะอยู่ในสภาพที่ถูกปล่อยทิ้งไว้ตามพื้นดินเหมาะแก่การปนเปื้อนของเชื้อโรคทุกชนิด ที่เป็นอันตรายต่อกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* กรณีที่เชื้อโรคเหล่านั้นไม่ตาย เนื่องจากไม่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิและความดันสูง โดยในระดับสเกลเล็กขนาด 500 ml. จะไม่พบปัญหาในเรื่องของการปนเปื้อนและกระบวนการเปลี่ยนไปเป็นกรดอะซิติกของเอทานอลเลย ทั้งนี้ น่าจะมาจากกระบวนการให้ความร้อนในระดับสเกลใหญ่ นั้น ไม่สามารถฆ่าเชื้อที่มีความสามารถในการผลิตกรดอะซิติกได้ ซึ่งเชื้อชนิดนี้มีความสามารถในการดำรงชีวิตได้ดีทั้งในสภาวะมีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน จะเข้าแข่งขันแย่งชิงแหล่งพลังงาน เช่น กลูโคส แล้วผลิตกรดอะซิติกออกมายับยั้งการเจริญเติบโตและกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* ซึ่งกรดอะซิติกจะมีผลโดยตรงต่อเซลล์ของยีสต์ โดยจะทำให้เซลล์ยีสต์นั้นแตกและถูกยับยั้งการเจริญเติบโตในที่สุด สังเกตได้จากการที่มีปริมาณน้ำตาลเหลืออยู่และการได้กลิ่นเหม็นเปรี้ยวคล้ายน้ำส้มสายชู เมื่อเปิดถังหมักออกมา

ซึ่งการที่จะมาเชื้อโรคนี้นี้ได้จะต้องใช้ความดันที่ 15 -21 bar อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 - 30 นาที เพราะมีสปอร์ที่ทนความร้อนและความดันที่สูงได้ กระบวนการให้เพียงแก่ความร้อนอย่างเดียวนั้นไม่อาจที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดนี้ได้

การที่มีปริมาณน้ำตาลและ % brix เหลืออยู่ นั้นน่าจะมีสาเหตุมาจากน้ำตาลที่เหลือในน้ำต่ำ เป็นน้ำตาลที่ yeast ไม่สามารถที่จะนำไปใช้ในการผลิตเอทานอลได้ เพราะอาจจะเป็นพวกน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ เช่น น้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลซูโคส ซึ่งโดยทั่วไปแล้วยีสต์มีความสามารถใช้น้ำตาลกลูโคสได้ดีที่สุด (บุญพัต, 2546) จากตารางที่ 1.1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเนื้อลำไยอบแห้งและเนื้อลำไยสด พบว่า ในลำไยอบแห้งและลำไยสดตกเกรดมีปริมาณของน้ำตาลซูโครสสูงที่สุด คือเท่ากับ 10.20 และ 11.31 g /100 g ตามลำดับ รองลงมา คือ น้ำตาลกลูโคส ที่ระดับ 2.46 และ 2.79 g / 100 g ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ชัดว่าปริมาณของน้ำตาลกลูโคสที่น้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* ต่ำเป็นครั้งหนึ่งของกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง

จากการทดลองวัดเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ในน้ำส่ำก่อนกระบวนการกลั่น พบว่า มีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 4.1 และ 4.3 % ตามลำดับ โดยลักษณะของน้ำส่ำที่สังเกตได้ คือ มีสีส้ม กลิ่นออกเปรี้ยวๆ คล้ายน้ำส้มสายชู ซึ่งปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดนั้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น แต่ถ้าหากจะกล่าวถึงปัจจัยโดยรวมแล้ว พบว่า ความเข้มข้นของน้ำตาลที่สกัดได้จากลำไยตกเกรด มีส่วนสำคัญต่อการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* โดยจากบุญพัต (2546) พบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงกว่าร้อยละ 22 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรสารละลาย จะเกิดการรบกวนการเจริญเติบโตของเชื้อยีสต์ ทำให้เติบโตได้ยาก การหมักจะเป็นไปอย่างช้าและไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดการตกตะกอน กรดน้ำส้ม และสารอินทรีย์ต่างๆ ขึ้นได้ ส่วนมากจะเกิดในบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์ โดยปกติแล้วกระบวนการหมักจะใช้ความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 18 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรสารละลาย เพื่อให้การเจริญเติบโตเป็นไปแบบปกติจะใช้ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ถ้าน้ำตาลเป็นแบบโมเลกุลเล็ก เช่น กลูโคส ฟรุกโตส แล้วการหมักจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว กว่าพวกที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น ซูโคส มอลโตส ทั้งนี้เพราะยีสต์สามารถนำน้ำตาลโมเลกุลเล็กไปใช้ได้ทันที ซึ่งจากการทดลองนั้นพบว่า ในน้ำลำไยที่สกัดเอาน้ำตาลนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 13.58 และ 14.04 % ตามลำดับ ซึ่งลักษณะเช่นนี้อาจมีผลต่อกระบวนการเจริญเติบโตและผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* ก็เป็นไปได้

รูปแบบของการหมักก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ *Saccharomyces cereviceae* ถ้าใช้กระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง โดยการเติมแหล่งพลังงานให้กับยีสต์ เช่น น้ำตาลกลูโคสและธาตุไนโตรเจน แล้วกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ก็จะสูงขึ้นในระดับหนึ่ง เพราะยีสต์จะได้รับแหล่งพลังงานคือ น้ำตาลกลูโคส ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตและอีกส่วนหนึ่งจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตแอลกอฮอล์ ในส่วนของธาตุไนโตรเจนนั้นยีสต์จะใช้ในการแบ่งเซลล์ที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประชากรในการที่ยีสต์จะผลิตแอลกอฮอล์ที่สูงขึ้น แต่จากการทดลองซึ่งเป็นแบบกะ พบว่าประสิทธิภาพในการหมักจะต่ำกว่าประสิทธิภาพในการหมักแบบต่อเนื่อง เพราะกระบวนการหมักแบบกะนั้น จะใส่แหล่งอาหารและแหล่งพลังงานเพียงครั้งเดียว จนจบกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ ส่วนกระบวนการหมักแบบต่อเนื่องนั้นจะมีการเติมแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานดังที่กล่าวมาให้ตลอด ข้อดีของกระบวนการหมักแบบกะ คือ เหมาะกับการผลิตที่มีปริมาตรไม่มากนัก ในการหมักแต่ละครั้งยีสต์ที่ใช้มีความแข็งแรงและอ่อนไวดี ทั้งนี้เพราะต้องเตรียมยีสต์ขึ้นใหม่อยู่เสมอ ทำให้การฝ่าเหล่าเกิดขึ้นยาก การควบคุมให้ระบบอยู่ในสภาวะการหมักแบบปลอดเชื้อทำได้ง่าย และการควบคุมระบบทำได้ง่ายไม่ซับซ้อน (อุเทน, 2554)

ในส่วนของการกลั่นนั้น พบว่าทั้งสองการทดลอง คือลำไยอบแห้งตากเกรดและลำไยสดตากเกรด มีประสิทธิภาพการกลั่นที่ใกล้เคียงกัน คือ 48.94 % และ 50.36 % ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับการกลั่นแบบต่อเนื่องในระบบอุตสาหกรรมแล้วจะเป็นครึ่งหนึ่งของระบบอุตสาหกรรม เพราะในกระบวนการกลั่นแบบกะนั้น จะต้องกลั่นให้แอลกอฮอล์หมดก่อนในขั้นตอนแรก ถึงจะนำแอลกอฮอล์ที่ได้นั้นมากลั่นซ้ำอีกรอบ 2 เพื่อเพิ่มความเข้มข้นยิ่งขึ้นไป แต่ในกระบวนการกลั่นแบบต่อเนื่องนั้นจะทำการให้ความร้อนในครั้งเดียว แต่จะมีการควบแน่นหลายๆครั้งเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ขึ้นไป จนได้ความเข้มข้นที่ต้องการแล้วจึงจะหยุดการดำเนินการ ทั้งนี้ในอนาคตกระบวนการพัฒนาการกลั่นในระดับชุมชนนั้น จะต้องอาศัยองค์ความรู้ในหลายๆด้าน มาประยุกต์ใช้ เพราะมาตรฐานการกลั่นจะได้เท่าเทียมกัน เพื่อความก้าวหน้าของระบบอุตสาหกรรมในชุมชน ซึ่งจะเป็นรากฐานเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศต่อไป

การผลิตไบโอแก๊ส

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณแก๊สมีเทนที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง พบได้จากการทดลองที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 68.5% รองลงมา คือการทดลองที่ 2 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการทดลองที่ 3 จุดติดไฟได้ดี ไม่ค่อยมีกลิ่นของแก๊สไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ ซึ่งแสดงว่าระบบการผลิตแก๊สมีเทนกำลังจะเสถียร โดยเมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของคุณสมบัติทางเคมีของลำไยแล้ว จากตารางที่ 1.2 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเมล็ดลำไยสด พบว่า มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 52.50 g/100 g รองลงมา คือโปรตีน Crude Fiber, Fat และ Ash ตามลำดับ โดยมีปริมาณเท่ากับ 5.34, 1.30 และ 1.16 g/100 g ตามลำดับ ในส่วนขององค์ประกอบของเปลือกลำไย จากตารางที่ 1.3 พบว่า มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 45.55 g/100 g รองลงมา คือ Crude Fiber, Protein, Ash และ Fat ตามลำดับ โดยมีปริมาณเท่ากับ 23.64, 4.56, 3.07 และ 0.56 ตามลำดับ ซึ่งโดยกระบวนการทางธรรมชาติแล้ว การย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน นั้นจะอาศัยความสามารถทางธรรมชาติของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ซึ่งแต่ละชนิดก็มีความสามารถในการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยคาร์โบไฮเดรตนั้นจะถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ จากนั้นถึงจะถูกย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลกลูโคส จากการทดลองผลิตไบโอแก๊สจากลำไยตกเกรดนั้น ได้มีการออกแบบการทดลองที่สำคัญ อยู่ 2 ระบบ คือ ระบบการผลิตกรด และระบบการผลิตแก๊ส จากการศึกษาข้อมูลของ (วิกิรตน์, 2551) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบไร้อากาศสองขั้นตอน โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบสร้างกรดไร้อากาศ (Anaerobic Acid Reactor) และถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ซึ่งจะเป็นถังสร้างมีเทน โดยพบว่า การเตรียมหัวเชื้อตะกอนสลัดจ์ มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกรดมากกว่าตะกอนสลัดจ์ที่ไม่มีการเตรียมและให้ผลของเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนที่สูงกว่าการผลิตแก๊สมีเทนในขั้นตอนเดียว โดยจากการทดลองพบว่ากระบวนการหมักกากลำไยตกเกรดผสมกับมูลโค เมื่อนำไปหมักในถังเตรียม(ถังผลิตกรด) จะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่(เปลือก, เนื้อ และเมล็ด) โดยจุลินทรีย์และแบคทีเรียชนิดที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ เรียกขั้นตอนนี้ว่า Hydrolysis โดยจะย่อยสลายพวกเซลลูโลสไปเป็นคาร์โบไฮเดรต จากนั้นถึงจะย่อยไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ และสุดท้ายถึงจะกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน จากนั้นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก จะเข้าสู่กระบวนการสร้างกรดในขั้นตอน Fermentation หรือ Acidogenesis โดย Acidogenic Bacteria จะได้กรดไขมันระเหยง่าย Volatile fatty acid (VFA) สังเกตได้จากมีกลิ่นหอมปนเปรี้ยวคล้ายน้ำส้มสายชู ซึ่งจะ เป็นสารจำพวก Propionic Acid Butyric Acid และ Acetic Acid ค่า pH อยู่ในช่วง 3.8 – 4.6 จากการสังเกตจะพบเห็นฟองอากาศผุดขึ้นมาเป็นระยะๆ เมื่อระยะเวลาการหมักประมาณ 15 -20 วัน

ซึ่งเมื่อนำไปเติมในถังระบบที่ปราศจากออกซิเจน ที่มีแบคทีเรียและจุลินทรีย์จำพวก Facultative anaerobic bacteria และ Methanogen bacteria อยู่ การทดลองในขั้นนี้จะพบว่า โดยเฉลี่ยทั้ง 3 การทดลองนั้น จะเกิดแก๊สขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในการทดลองที่ 1 และ 2 นั้น จะมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าปริมาณแก๊สมีเทน แต่เมื่อถึงการทดลองที่ 3 กลับพบว่าปริมาณแก๊สมีเทนที่สูงกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เป็นเพราะแบคทีเรียและจุลินทรีย์ชนิดที่มีความสามารถในการใช้อากาศและไม่ใช้อากาศนั้น มีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ดีทั้ง 2 สถานะ ต่างกับเมทาโนเจนแบคทีเรียที่มีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ดีเพียงสถานะเดียว คือ ไร้ออกซิเจน ทำให้ในช่วงแรกของการทดลองนั้น(การทดลองที่ 1 และ 2)กระบวนการผลิตแก๊สมีเทนนั้นมีความล่าช้า แต่เมื่อเข้าสู่การทดลองที่ 3 การเพิ่มประชากรของเมทาโนเจนแบคทีเรียมีในปริมาณที่สูงและความสามารถในการผลิตแก๊สมีเทนก็เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ยับยั้งการเจริญเติบโตและยับยั้งการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ของพวก Facultative anaerobic bacteria ซึ่งจากการทดลองจะสามารถประมาณเวลาได้ว่า การที่ระบบจะคงที่นั้น จะต้องอาศัยเวลาประมาณ 25 – 30 วัน ในการเจริญเติบโตและการสร้างแก๊สมีเทนของเมทาโนเจนแบคทีเรีย ซึ่งปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพนั้น คือการการกวนผสม เพื่อให้จุลินทรีย์เข้าถึงเป้าหมายที่จะทำการย่อยสลายอินทรีย์สารต่างๆ เพราะจุลินทรีย์และแบคทีเรียไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่เองได้ จะต้องอาศัยการนำพาของแรงกลต่างๆ ถึงจะเกิดการดำเนินกิจกรรมนั้นๆ ถ้าในถังเตรียมและถังระบบไม่มีกระบวนการกวนเกิดขึ้นแล้ว ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สของพวกจุลินทรีย์และแบคทีเรียก็จะลดต่ำลง

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ แก้มเสือ. 2547. การศึกษาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักกากน้ำตาลในโรงงานบริษัทแสงโสม จำกัด จังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2544. การศึกษาสถานภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแก๊สโซฮอลล์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- กำเนิด สุภณวงษ์ และ สุกณณี บวรสมบัติ. 2536. รายงานการวิจัย เรื่องการผลิตเอทานอลเชื้อเพลิงจากอ้อยโดย *Zymomonas mobilis*. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชัชวาล คำวงศ์, ณัฐวิทย์ พงศ์พันธุ์, นฤตกิจ ทุนกาศ, วิลาวัลย์ ปันอิน และวิไลวรรณ ลินะกุล. 2550. โครงการจัดทำระบบฐานข้อมูลพลังงานเพื่อการวิเคราะห์และวางยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ. เอกสารเผยแพร่. สถาบันพัฒนาวิจัยและพลังงานจังหวัดเชียงใหม่.
- ชนศ อุทิศธรรม. 2528. การผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากของเสียในโรงงานสับปะรดกระป๋อง. วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิรนาม. 2549. การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. เอกสารทางวิชาการ. สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. 2006. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิรนาม. 2550. สำนักงานเกษตรอำเภอสามเงา จังหวัดตาก. เอกสารผลผลิตและราคาลำไย. กระทรวงเกษตร และสหกรณ์
- นิรนาม. 2552. การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง. voc.dip.go.th/download/report5.pdf?ml=5&mlt=system&tmpl. (5 ตุลาคม 2554)
- นิรนาม. 2552. คุณค่าทางอาหารและยาของลำไย. เอกสารเผยแพร่. <http://www.arda.or.th/kasetinfo/longan>. (2 ธันวาคม.2554)
- นิรนาม. 2552. โครงการการศึกษาการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในรูปแบบการหมักย่อยร่วมโดยถังปฏิกรณ์ UASB และ CSTR เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ.สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน (สวพ.) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2552)
- นิรนาม. 2553. บทปฏิบัติการเรื่อง Biochemical Methane Potential (BMP). www.cpfshe.cpportal.net/Portals/0/file/2010/jd1010.pdf. (15 พฤศจิกายน 2553)

นิรนาม. 2554. เคมีของคาร์โบไฮเดรต.

http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap1/chapter1_3.html.

(12 ธันวาคม 2554).

นิรนาม. 2554. Ammonia. <http://www.medtechzone.com/data/chem/ammonia.php>.

(18 ธันวาคม 2554).

นิรนาม. 2554. ลำไย. th.wikipedia.org/wiki/ลำไย. (30 พฤศจิกายน 2550).

นิรนาม. 2555. <http://surathai.wordpress.com/2010/06/12/factors>.

นิลวรรณ ไชยหนู. 2552. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและเศรษฐศาสตร์ในการใช้ระบบหมักไร้

อากาศแบบถังกวนต่อเนื่องเพื่อบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกร. วิทยานิพนธ์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : จังหวัดเชียงใหม่.

นพพล เล็กสวัสดิ์ และ รณชัย ปรรณานผล (2552) บทความการใช้ลำไยอบแห้งค้ำสั๊ตเพื่อผลิต

เอทานอล. <http://www.agro.cmu.ac.th/.../Record%5CInterview-EthanolLongan.doc>

(15 กันยายน. 2552)

บุญพัด สุภานิช, รัตนา จิระรัตนานนท์, สุวิทย์ เตีย, วิทยา เทพไพฑูรย์, อนวิษ สังข์เพ็ชร, จิระเดช

ชาญศักดิ์ และปณิดดา ภูอาภาส. 2546. การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงาน

น้ำตาล และโรงแป่งมันสำปะหลังเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์. รายงาน

การวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี :

กรุงเทพมหานคร

รติกร บัวคำ. 2551. The Product of Organic Compound from Expired Longan Using 15

Microbial Strains in static Condition. เอกสารเผยแพร่. วิศวกรรมอาหาร.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : จังหวัดเชียงใหม่

วิภารัตน์ ชัยเพชร. 2551. การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลกระป๋องโดยใช้กระบวนการ

หมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนในถังสร้างกรดแบบไร้อากาศและถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอส

บี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : จังหวัดสงขลา.

สามารถ บุญอาจ. 2552. การพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลสำหรับเครื่องย่นต์ทางการเกษตร แบบ

ติดตั้งประจำที่. เอกสารทางวิชาการ. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชา

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สาวตรี ลิ้มทอง. 2540. ยีสต์และยีสต์เทคโนโลยี. ภาควิชาจุลชีววิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ :

กรุงเทพมหานคร.

สุกัลยา ปาละกุล สุภาพร ฟองดวง และ นพพล เล็กสวัสดิ์. 2552. การผลิตแอลกอฮอล์จากลำไย

อบแห้ง. http://agro.cmu.ac.th/Research/WebAjarn/ppp%5Cnl_c01701.doc

(15 กันยายน 2554)

อุเทน กันทา. 2554. การผลิต CBG จากก๊าซชีวภาพ เพื่อนำไปใช้ในรถยนต์. เอกสารการฝึกอบรม.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : จังหวัดเชียงใหม่.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

1. การเผยแพร่องค์ความรู้

ในการลงพื้นที่สำรวจความต้องการเทคโนโลยีที่จะเข้ามาช่วยในการพัฒนาเกี่ยวกับเรื่อง ลำไยตกเกรด พบว่า ที่หมู่บ้านหนองไช ต.ป่าสัก อ.เมือง จ.ลำพูน ชาวบ้านมีความต้องการ เทคโนโลยีขั้นพื้นฐานที่สามารถเรียนรู้และต่อยอดได้ด้วยตนเอง ดังนั้นทางศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จึงได้นำเอาองค์ความรู้ที่มีอยู่ลงสู่ชุมชน โดยได้ทำการจัดแสดงองค์ความรู้ต่างๆ พร้อมเครื่องมือและตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้ เพื่อให้ชาวบ้านได้สัมผัส และแลกเปลี่ยนเรียนรู้



ภาพผนวกที่ 1 บรรยากาศการลงทะเบียนและการบรรยาย ณ ศูนย์ชุมชนการเรียนรู้ หมู่บ้านหนองไช ตำบลป่าสัก อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน

จากภาพที่ 6.8.1 เป็นบรรยากาศของการลงทะเบียนของผู้เข้าร่วมรับฟังการบรรยาย โดยมีผู้เข้าร่วมรับฟังการบรรยายประมาณ 35 คน โดยส่วนใหญ่จะเป็นผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ ซึ่งมีอาชีพเกษตรกรในตำบลป่าสัก ให้ความสนใจที่จะพัฒนาศักยภาพในการผลิตเอทานอลและแก้สชีวภาพจากลำไยตกเกรด โดยผู้เข้าร่วมรับฟังการบรรยายส่วนหนึ่ง มีความมุ่งมั่นที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน และต่อยอดองค์ความรู้



ภาพผนวกที่ 2 การถ่ายรูปร่วมกันของผู้เข้าร่วมการอบรม

ในอนาคตผู้นำชุมชนได้มีโครงการการยกระดับเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ภายในชุมชนที่มี
 ส่วนผสมเป็นเอทานอลจากลำไยตากเกรด เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจที่ยั่งยืนของชาวชุมชนหนองไข
 ตำบลปลาปัก อำเภอมะเมือง จังหวัดลำปาง ต่อไป

2. การคำนวณประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากลำไยสดตกเกรด (กนกวรรณ, 2547)

$$\text{ประสิทธิภาพการหมัก} = \frac{\text{ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์(\%)} \times \text{ปริมาตรน้ำสำ(ลิตร)} \times 100}{\text{ลำไยที่ใช้ (กก.)} \times \text{ความเข้มข้นของน้ำลำไย} \times 0.644 \text{ ลิตร}} \quad [1]$$

ตารางผนวกที่ 1 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเอทานอลจากลำไยสดตกเกรด

% แอลกอฮอล์ ที่ได้	ระยะเวลาในการ เลี้ยง (ชม.)	ปริมาณเชื้อยีสต์ Cell/ml	ปริมาณ แอลกอฮอล์ที่ได้	ประสิทธิภาพ การหมัก (%)
4%	8	6.17×10^6	350 ml.	47.73

$$\text{ความเข้มข้นของน้ำตาลจากลำไยสดตกเกรด (\%w/v)} = [F \times 250 \times 100] / [10 \times A] \quad [2]$$

$$\text{เมื่อ } A = \text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรท (ml)} = 4.5 \text{ ml}$$

$$F = \text{Factor ของ Fehling solution} = 0.05$$

$$\text{ความเข้มข้นของน้ำตาลจากลำไยอบแห้งเท่ากับ} = 27.77 \%$$

โดย ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้	=	4	%
ปริมาตรน้ำสำ	=	2	ลิตร
ปริมาณลำไย	=	1	กก.
ความเข้มข้นของน้ำลำไย	=	27.77	%

$$\text{Conversion ratio} = [\text{แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้(กรัม)}] / [\text{ปริมาณกากที่ใช้(กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)}] \quad [3]$$

แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ทั้งหมด คิดจาก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่นเท่ากับ 8.6 %

$$\text{โดย น้ำ } 100 \text{ ml. มีแอลกอฮอล์เท่ากับ } 8.9 \text{ ml.}$$

$$\text{ถ้า น้ำ } 36,500 \text{ ml. จะมีแอลกอฮอล์เท่ากับ } [8.9 \times 36,500] / [100] = 3,248.5 \text{ ml.}$$

จากความหนาแน่นของแอลกอฮอล์เท่ากับ 0.789 g/cm^3 เพื่อหามวลของ

$$\text{แอลกอฮอล์เป็นกรัม จะได้ว่า } m = 0.789 \text{ g/cm}^3 \times 3,248.5 \text{ ml}$$

$$m = 2,563.06 \text{ g.}$$

$$\text{แทนค่าลงใน (3) Conversion ratio} = [2,563.06 \text{ g.}] / [89.58 \text{ g.}]$$

$$\text{Conversion ratio} = 0.0286 \quad \underline{\text{Ans.}}$$

3. ลำไยอบแห้งตากเกรด (กนกวรรณ, 2547)

$$\text{ประสิทธิภาพการหมัก} = \frac{\text{ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์(\%)} \times \text{ปริมาตรน้ำสำ (ลิตร)} \times 100}{\text{ลำไยที่ใช้ (กก.)} \times \text{ความเข้มข้นของน้ำลำไย} \times 0.644 \text{ ลิตร}}$$

ตารางผนวกที่ 2 ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเอทานอลจากลำไยอบแห้งตากเกรด

% แอลกอฮอล์ ที่ได้	ระยะเวลาในการ เลี้ยง (ชม.)	ปริมาณเชื้อยีสต์ Cell/ml	ปริมาณ แอลกอฮอล์ที่ได้	ประสิทธิภาพ การหมัก (%)
4%	8	6.54×10^6	310 ml.	45.72

$$\text{ความเข้มข้นของน้ำตาลจากลำไยอบแห้งตากเกรด (\%w/v)} = [F \times 250 \times 100] / [10 \times A] \quad [2]$$

$$\text{เมื่อ } A = \text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรท (ml)} = 4.3 \text{ ml}$$

$$F = \text{Factor ของ Fehling solution} = 0.05$$

$$\text{ความเข้มข้นของน้ำตาลจากลำไยอบแห้งเท่ากับ} = 27.17 \%$$

$$\begin{aligned} \text{โดย ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้} &= 4 \% \\ \text{ปริมาตรน้ำสำ} &= 2 \text{ ลิตร} \\ \text{ปริมาณลำไย} &= 1 \text{ กก.} \\ \text{ความเข้มข้นของน้ำลำไย} &= 27.17 \% \end{aligned}$$

$$\text{Conversion ratio} = [\text{แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้(กรัม)}] / [\text{ปริมาณกากที่ใช้(กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)}] \quad [1]$$

แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ทั้งหมด คัดจาก เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่นเท่ากับ 8.6 %

$$\text{โดย น้ำ } 100 \text{ ml. มีแอลกอฮอล์เท่ากับ } 8.6 \text{ ml.}$$

$$\text{ถ้า น้ำ } 35,000 \text{ ml. จะมีแอลกอฮอล์เท่ากับ } [8.6 \times 35,000] / [100] = 3,010 \text{ ml.}$$

จากความหนาแน่นของแอลกอฮอล์เท่ากับ 0.789 g/cm^3 เพื่อหามวลของแอลกอฮอล์เป็นกรัม

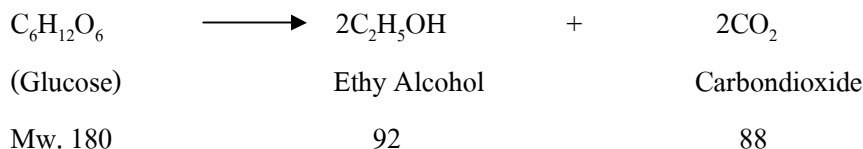
$$\text{จะได้ว่า } m = 0.789 \text{ g/cm}^3 \times 3,010 \text{ ml}$$

$$m = 2,374.89 \text{ g.}$$

$$\text{แทนค่าลงใน (3) Conversion ratio} = [2,374.89 \text{ g.}] / [80.25 \text{ g.}]$$

$$\text{Conversion ratio} = 0.0295 \quad \underline{\text{Ans.}}$$

จาก Emden – Meyerhof Pathway (กนกวรรณ, 2547) สามารถเขียนเป็นสมการเคมีแสดงการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสไปเป็นแอลกอฮอล์ได้ดังนี้



$$\begin{array}{rclcl}
 \text{น้ำตาลกลูโคส 1 กิโลกรัม เปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ได้} & = & 92/180 & \text{กิโลกรัม} \\
 & = & 0.511 & \text{กิโลกรัม} \\
 & = & 0.511/0.7934 & \text{ลิตร} \\
 & = & 0.644 & \text{ลิตร} \quad \text{Ans.}
 \end{array}$$

4. การคำนวณประสิทธิภาพเครื่องกลั่น

สูตรการหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ (นิรนาม, 2555)

$$\begin{array}{rclcl}
 N_1 \times V_1 & = & N_2 \times V_2 \\
 \text{โดย } N_1 & = & \text{ดีกรีของน้ำสำหรือน้ำหมักก่อนกลั่น} \\
 V_1 & = & \text{ปริมาตรของน้ำสำหรือน้ำหมัก} \\
 N_2 & = & \text{ดีกรีรวมของแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้} \\
 V_2 & = & \text{ปริมาตรของแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้}
 \end{array}$$

ลำไยอบแห้งตกเกรด

$$\text{ดีกรีของน้ำสำ (N}_1\text{)} = 4.1 \%$$

$$\text{ปริมาตรของน้ำสำ (V}_1\text{)} = 150 \text{ Litre}$$

$$\text{ดีกรีรวมของน้ำสุราที่กลั่นได้ (N}_2\text{)} = 8.6 \%$$

$$\text{ปริมาตรของเอทานอลที่กลั่นได้ (V}_2\text{)} = ? \text{ Litre}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \text{จากสูตร จะได้ว่า ปริมาตรของเอทานอลที่กลั่นได้ (V}_2\text{)} & = & [4.1 \times 150] / [8.6] \\
 & = & 71.51 \text{ Litre}
 \end{array}$$

$$\text{เทียบบัญญัติไตรยางศ์ กลั่นได้ 71.51 Litre คิดเป็น 100 \%}$$

$$\text{ถ้ากลั่นได้จริง 35 Litre คิดเป็น } [100 \% \times 35] / [71.51]$$

$$\text{คิดเป็น 48.94 \%} \quad \text{Ans.}$$

ล่ำไยสดตกเกรด

ดีกรีของน้ำสำ (N_1) = 4.3 %

ปริมาตรของน้ำสำ (V_1) = 150 Litre

ดีกรีสรวมของน้ำสุราที่กลั่นได้ (N_2) = 8.9 %

ปริมาตรของเอทานอลที่กลั่นได้ (V_2) = ? Litre

จากสูตร จะได้ว่า ปริมาตรของเอทานอลที่กลั่นได้ (V_2) = $[4.3 \times 150] / [8.9]$
= 72.47 Litre

เทียบบัญญัติไตรยางศ์ กลั่นได้ 72.47 Litre คิดเป็น 100 %

ถ้ากลั่นได้จริง 36.5 Litre คิดเป็น $[100 \% \times 36.5] / [72.47]$

คิดเป็น 50.36 % Ans.

ปริมาณล่ำไยที่ใช้ต่อถังหมัก = 250 kg.

ปริมาตรน้ำสำหมักต่อถัง = 150 Litre

กลั่นแอลกอฮอล์ต่อถังได้ = 35 Litre

5. การหาอัตราส่วนของกาก DDG ในถังหมักไบโอแก๊ส

จากอัตราส่วน มูลโค 5 กก. : กากล่ำไย 20 กก. : น้ำ 15 ลิตร

= มูลโค 1 : กากล่ำไย 4 : น้ำ 3

ถ้าหมักในถัง 500 ลิตร จะได้ว่า ต้องใช้ มูลโค 62.5 กก. : กากล่ำไย 250 กก. : น้ำ 187.5 ลิตร

6. การวิเคราะห์หาความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมดในตัวอย่าง โดยวิธี Modified Lane – Eynon**Constant Volumetric Method (AOAC, 1975)****วิธีวิเคราะห์ (กรณีเป็นของแข็ง)**

1. ชั่งตัวอย่างกากน้ำตาล (ที่คนให้เข้ากันดีแล้ว) 10 กรัม ในถ้วยพลาสติกขนาด 100 ml. ละลายด้วยน้ำกลั่น คนสารละลายให้เข้ากัน ถ่ายสารละลายลงใน Volumetric Flask ขนาด 200 ml. ปรับให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. Pipette สารละลายจากข้อ 1 ปริมาตร 25 ml. ลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 250 ml. เติมน้ำกลั่น 75 ml. และ 0.1 N HCL ปริมาตร 30 ml. เขย่าให้เข้ากัน นำไปตั้งใน water bath ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3. ขกตั้งทิ้งไว้ในอ่างน้ำจนถึงอุณหภูมิห้อง ถ่ายตัวอย่างลงใน Volumetric Flask ขนาด 250 ml. ปรับให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน

4. คูด Fehling ' s solution A และ Fehling ' s solution B อย่างละ 5 ml. ลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 250 ml. เขย่าให้เข้ากัน

5. เติมสารละลายตัวอย่างลงใน Burette ขนาด 25 ml. ปรับให้ถึงขีดปริมาตรแล้วปล่อยสารละลายตัวอย่างลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 250 ml. ในข้อ 4 ประมาณ 18 – 20 ml.

6. นำ Erlenmeyer Flask ขนาด 250 ml. ตั้งบนเตาสำหรับไคเตรทน้ำตาล จับเวลาตั้งแต่สารละลายเริ่มเดือดจนครบ 2 นาที แล้วรีบหยดสารละลาย 1% Methylene blue ลงไป 3 หยด ไคเตรทต่อจนสีของ Methylene blue หายไปภายใน 1 นาที (จุดสิ้นสุดของปฏิกิริยาจะเห็นตะกอนสีน้ำตาลแดงเกิดขึ้น) บันทึกปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ไคเตรททั้งหมด)

$$\text{การคำนวณ} \quad \text{ความเข้มข้นน้ำตาลทั้งหมด} = [F \times 200 \times 250 \times 100] / [w \times 25 \times A]$$

(1)

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } A &= \text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการไคเตรท (ml.)} \\ F &= \text{Factor ของ Fehling ' s solution} = 0.05 \\ W &= \text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำตาล (กรัม)} \end{aligned}$$

$$\text{วิธีวิเคราะห์หาความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมด(\%w/v)} = [F \times 250 \times 100] / [10 \times A] \quad (2)$$

(กรณีเป็นสารละลาย) เช่น โมลาส

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } A &= \text{ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการไคเตรท} \\ B &= \text{Factor ของ Fehling ' s solution} = 0.05 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 1 = คูดตัวอย่าง 10 ml. ลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 250 ml. เติมน้ำกลั่น 75 ml. และ 0.1 N HCl 30 ml. เขย่าให้เข้ากัน นำไปตั้งใน Water bath ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 2 = ทำการทดลองต่อไปในทำนองเดียวกับกากน้ำตาล

- การวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างกากน้ำตาล โดยวิธี Dilution Method

ขั้นตอนที่ 1 เติมน้ำกลั่น 50 ml. ลงในกระบอกขนาด 100 ml. แล้วใช้แท่งแก้วคนเพื่อไล่ฟองอากาศในน้ำกลั่น ปรับให้ถึงขีดปริมาตร 50 ml. ชั่งน้ำหนัก (A กรัม)

ขั้นตอนที่ 2 เติมตัวอย่างกากน้ำตาลลงในกระบอกตวงในข้อ 1 ให้ถึงขีดปริมาตร 100 ml. ใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างกากน้ำตาลละลายเข้ากัน ชั่งน้ำหนัก (B กรัม)

การคำนวณ ความหนาแน่นของกากน้ำตาล (กรัม/มิลลิลิตร) = $[B - A] / [50]$

เมื่อ $A =$ น้ำหนักของน้ำกลั่น (กรัม)

$B =$ น้ำหนักของน้ำกลั่นรวมกับตัวอย่างกากน้ำตาล (กรัม)

7. การวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อยีสต์ (Yeast Count) โดยใช้ Haemocytometer

วิธีวิเคราะห์

1. คูดตัวอย่าง 5 ml. ใส่ลงใน Volumetric Flask ขนาด 100 ml. ปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน

2. วาง Cover Glass ลงบน Haemocytometer Slide อย่าให้มีฟองอากาศ

3. ใช้ Pipette คูดสารละลายตัวอย่างเล็กน้อยและที่ขอบ Cover Glass บน Haemocytometer Slide

4. นำไปส่องดูด้วย กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 40 เท่า จะเห็นตารางปรากฏบน Haemocytometer Slide ซึ่งมีทั้งหมด 25 ช่องใหญ่ ใน 1 ช่อง จะมีตารางเล็กๆ ภายในอีก 16 ช่องเล็ก

5. การนับเซลล์โดยใช้ Counter นับจำนวนเซลล์ที่อยู่ในช่องใหญ่ 5 ช่อง (แนวตั้งแนวนอน หรือแนวทแยงมุม) ถ้ามีเซลล์อยู่ตรงขอบตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสพอดี ให้นับเซลล์ที่อยู่ตรงเส้นขอบบนและเส้นขอบด้านซ้ายรวมกับเซลล์ในช่อง ขณะที่จะไม่นับเซลล์ที่อยู่ตรงเส้นขอบล่างและเส้นขอบด้านขวา โดยใช้เส้นขอบกลางเส้นกลางจาก 31 เส้น เป็นแนวในการนับ คือ เซลล์ใดก็ตามที่แตะเส้นกลางของขอบเส้นบนและซ้ายจะถูกนับ ส่วนเซลล์ที่อยู่นอกเส้นกลางของขอบก็ไม่ต้องนับ

6. เซลล์ลูกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ครึ่งหนึ่งของเซลล์แม่ให้นับเป็นเซลล์

การคำนวณ ปริมาตรของ Haemocytometer ใน 1 ช่อง ตาราง = $1 \times 1 \times 0.1 = 0.1 \text{ mm.}^3$

แต่ $10^3 \text{ mm.}^3 = 1 \text{ cm.}^3 = 1 \text{ ml.}$

ปริมาตร = $0.1 \text{ mm.}^3 = 10^{-4} \text{ ml.}$

จำนวนเซลล์ที่นับ (เซลล์/มิลลิลิตร) = จำนวนเซลล์ทั้งหมด $\times 5 \times 10^4 \times \text{Dilution}$

8. การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (% Alcohol) โดยวิธี Hydrometer Method (AOAC, 1995)

วิธีวิเคราะห์

1. ตวงตัวอย่างที่ต้องการทราบค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ลงใน Cylinder
2. แขน Thermometer ลงใน Cylinder แล้วค่อยๆ หย่อน Alcoholmeter ลงไป
3. อ่านค่าอุณหภูมิจาก Thermometer และค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์จาก

Alcoholmeter

4. นำค่าทั้งสองที่อ่านได้ไปเปิดตารางคู่มือแอลกอฮอล์มิเตอร์ ค่าที่อ่านได้จากตารางจะเป็นค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

โครงการวิจัยที่ 2

การศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดด้วยระบบฟลูอิดิเซชันไอน้ำ

Study on Activated carbon Production from Low grade

Longan with Steam Fluidization

หัวหน้าโครงการวิจัย

อังฉรา แก้วกล้า

การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดลำไยตกเกรดด้วยระบบฟลูอิดไอเซนน้ำ

Activated Carbon Production from Shell and Seed Low Grade

Longan With Steam Fluidization

อัจฉรา แกล้วกล้า,¹ นิกราน หอมดวง,² กิตติกร สาสุจิตต์¹ และวิชาญ คงธรรม³

Achara Kleawkla,¹ Nikran Homdung,² Kitikorn Sasujit¹ and Wichan Kongtum²

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

²ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีคาร์บอนไนซ์เซชันจนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไย โดยใช้ส่วนเมล็ดและเปลือกเพื่อเพิ่มมูลค่าสิ่งที่เหลือใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด การผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ขั้นตอนที่ 2 กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพด้วยระบบฟลูอิดไอเซนน้ำ ถ่านกัมมันต์ที่ได้นำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยศึกษาปริมาณความชื้นและสมบัติทางเคมี โดยการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน และค่าการดูดซับฟีนอล งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของสภาวะการเตรียมที่มีต่อสมบัติความพรุนของถ่านกัมมันต์ ขอบเขตของสภาวะในการกระตุ้นทางกายภาพได้แก่ อุณหภูมิกระตุ้นอยู่ในช่วง 350 – 600 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการกระตุ้น 10 – 50 นาที ส่วนการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกนั้นได้ทำการศึกษาที่เวลา 2-12 ชั่วโมง การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับนั้น ได้ศึกษาการดูดซับไอโอดีน พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับได้มากที่สุด 1,203.7 ต่อกรัมถ่าน การดูดซับฟีนอล พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับได้มากที่สุด 80.67 มิลลิกรัมต่อกรัม การดูดซับสารอินทรีย์ซึ่งทำการวัดในรูปของการตรวจหาค่า COD นั้น พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับได้มากที่สุด 63.63% และในส่วนของ การดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ ซึ่งทำการวัดผ่านการละลายที่สมบรูณ์ในรูปของน้ำโซดาที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์โดยเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 9.48 g/L พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้สามารถดูดซับได้มากที่สุด 93.67%

คำสำคัญ : คาร์บอนไนซ์เซชัน ฟลูอิดไอเซน

Abstract

Activated Carbon that is product from biomass have many carbon contains. It burned at high temperature, finally the product biomass has dark. Quality of these are high absorption many substance. Objective of this research is study method of production of Activated Carbon from low longans that used seed and peel longans for increased value-added low grade longans high uesfull. The production of Activated Carbon from low grade longans has 2 step. The first chemical method charcoal activated by phosphoric acid (H_3PO_4). Second physical method charcoal activated by steam fluidization. After activated it tested physical quality by study percent of moisture and chemical quality by study percent absorption of Iodine number and percent absorption of phynol. This research study effect condition of preparation for porous quality. Condition of activated physical method is temperature 350 – 420, time of activated about 10 – 50 mins. Chemical method activated by phosphoric acid study at 2 -12 hours. The study of high effience Iodine number that found Activated Carbon from low grade longans could absorption about 1,203.7 per gram Activated Carbon. The study of high effience phenol that found Activated Carbon from low grade longans could absorption about 80.67 mg/g. The absorption waste organic could measured in COD method that found Activated Carbon could high absorp about 63.63%. And the carbondioxide dissoved in water full could measured in Soda water that has percent carbondioxide about 9.48 g/L, Activated Carbon from low grade longans could high absorp about 93.67%.

Key word : Cabonization Fludization

บทนำ

ลำไยเป็นผลไม้ที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย เพราะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในประเทศไทย ปัจจุบันเป็นที่นิยมบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมการทำลำไยแห้งและลำไยกระป๋อง ในแต่ละปีมีการส่งออกลำไยและผลิตภัณฑ์รวมมูลค่ามากกว่า 2,000 ล้านบาทและมีพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปลำไยหรือการบริโภคก็ตามนั้นจะมีเศษเหลือเป็นเมล็ดและเปลือกโดยเฉพาะจากการเก็บเกี่ยวจะต้องมีการตัดแต่งหรือคัดแยกลำไยให้ได้ขนาดและลักษณะตามที่ต้องการซึ่งทำให้มีลำไยที่เหลือจากการตัดแต่งซึ่งจะเป็นลำไยที่มีขนาดเล็ก แตก ไม่ได้มาตรฐานเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยทิ้งผลเพื่อให้ใช้สิ่งที่เหลือให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ปัญหามลภาวะทางอากาศ และทางน้ำ ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมมีอัตราการขยายตัวสูงในปัจจุบัน เนื่องจากการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมสูง ซึ่งปัญหาเหล่านี้ต้องการวิธีแก้ไขเพื่อให้ปัญหาที่เกิดขึ้นลดลง ปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากฝุ่นละออง กลิ่น สารเป็นอันตรายต่างๆ รวมถึงโลหะหนัก ต่างๆ ที่มาจากโรงงานฝ่ายการผลิตต่างๆ เช่น โรงงานฟอกย้อม โรงงานเคลือบชุบโลหะ โดยมีการปล่อยอากาศเสียโดยไม่มีการบำบัด ส่งผลกระทบต่อประชากรหากได้รับการสะสมที่ในระดับที่เกินมาตรฐานก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพต่อประชาชน ซึ่งในปัจจุบันมีการนำวิธีการ และเทคนิคต่างๆ มาให้บำบัดมลภาวะที่เกิดขึ้น ทั้งกระบวนการทางเคมีและทางธรรมชาติ ถ่านกัมมันต์เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีการนำมาใช้เพื่อกรองสารพิษกลิ่นสีหรือฝุ่นละอองและสามารถใช้งานให้ดีและมีประสิทธิภาพ

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีถ่านกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากซึ่งขนาดรูพรุนก็แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน (Ajmal, 2003)

ถ่านกัมมันต์ผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น เปลือกกล้วย เปลือกมะม่วงหิมพานต์ กะลามะพร้าว โดยวัสดุแต่ละชนิดให้สมบัติการเป็นถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน โดยโครงสร้างของวัสดุเอง และถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยข้อดี หรือข้อได้เปรียบของถ่านกัมมันต์คือเป็นวัสดุจากธรรมชาติ สามารถลดการใช้สารเคมีในกระบวนการบำบัดได้ ในการพัฒนาการผลิตถ่านกัมมันต์มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวัตถุดิบที่มีสมบัติเหมาะสมในการใช้เป็นถ่านกัมมันต์ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง ซึ่ง

สอดคล้องกับการทำเกษตรกรรมอาชีพหลักของประเทศไทย และมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในแต่ละปีสูง งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำผลลำไยทิ้งผลที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร และเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรอีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากผลลำไยทิ้งผลด้วยการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ และการกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำ
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์จากผลลำไยทิ้งผล และเพื่อศึกษานำเสนอแนวทางในการผลิตถ่านกัมมันต์จากผลลำไยที่ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้
 - การกระตุ้นที่ใช้ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาวิธีการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริก และใช้การกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำ
 - ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์อ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 900-2547) โดยทำการศึกษาค่าต่างๆ ดังนี้
 - ศึกษาค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ (ASTM D 1087)
 - ศึกษาค่าร้อยละของความชื้น (AWWA B 604)
 - ศึกษาค่าการดูดซับไอ โอดีน (AWWA B 604)
 - ศึกษาการดูดซับสารฟีนอล
 - ศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ
 - ศึกษาการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับลำไยตกเกรดซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ผลิตลำไย
- ทราบแนวทางและองค์ความรู้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ และลดการนำเข้าจากต่างประเทศ
- เป็นการนำประโยชน์จากชีวมวลเหลือทิ้งประเภทลำไยตกเกรด ที่เกษตรกรในพื้นที่เพาะปลูกสามารถที่จะผลิตเป็นอาชีพได้อีกทางหนึ่ง
- เป็นการนำประโยชน์จากลำไยตกเกรดที่มีคูลำและเกิดประโยชน์สูงสุด

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถ่านกัมมันต์ คือ วัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงสามารถดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ดี และสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้านโดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ (จินดารัตน์, 2546) ซึ่งสามารถที่จะสรุปโดยภาพรวม ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำมีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากซึ่งขนาดรูพรุนก็แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

วิวัฒนาการของถ่านกัมมันต์

แต่เดิมนั้นเราทราบกันเพียงว่า ถ่านมีสมบัติในการดูดซับสีในของเหลว (คริสต์ศตวรรษที่ 15) ต่อมาในปี พ.ศ. 2334 มีนักวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งพบว่าถ่านจากกระดูกสามารถดูดสีได้มากกว่าถ่านซึ่งมาจากไม้ ต่อมาจึงนิยมนำถ่านจากกระดูกมาฟอกน้ำตาลทรายให้ขาวสะอาดบริสุทธิ์กันมาก และได้มีการค้นคว้าพัฒนาเรื่อยมาจนกระทั่ง ในปี พ.ศ. 2365 มีผู้พบว่าถ่านที่ได้จากการเผาเลือกกับด่างซีได้มีความสามารถดูดสีได้มากกว่าถ่านกระดูกถึง 20-50 เท่า ในปี พ.ศ. 2443 Ostreyko นักวิทยาศาสตร์ชาวโปแลนด์ได้ค้นคิดวิธีหนึ่ง คือ ใช้คลอไรด์ของโลหะผสมกับถ่านแล้วนำไปเผาจึงนับได้ว่า Ostreyko เป็นผู้ริเริ่มให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นอย่างจริงจัง ทำให้มีการผลิตถ่านกัมมันต์ในชื่อต่างๆกันอีกมากมาย เช่น Epomit , Norit , Carboraffin , Filtchar ฯลฯ และได้มีการปรับปรุงมาเรื่อยๆ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นนิยมใช้ในการดูดสี ฟอกสีในโรงงานผลิตน้ำตาลซึ่งพบว่าใช้ได้ดีกว่าถ่านกระดูก

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 มีการนำเอาถ่านกัมมันต์ไปใช้ทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษจากจุดนี้เองทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจในสมบัติ การทำก๊าซให้บริสุทธิ์ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากการทดลองโดยวิธีต่างๆได้พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการฟอกสีน้ำตาลนั้นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษเพราะมีลักษณะพอง เบา และต้องใช้ในปริมาณมาก ทำให้มีผู้พยายามผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่ให้มีความหนาแน่นมากขึ้นเพื่อใช้ในการดูดซับก๊าซ โดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่นี้ผลิตจากกะลามะพร้าว มีสมบัติในการดูดซับก๊าซได้ดี ส่วน

ถ่านกัมมันต์ที่มีลักษณะพอง เบานั้นได้จากไม้ ขี้เลื่อย ถ่านหินชนิดร่วน (Peat) ถ่านหินลิกไนต์และกากที่เหลือจากการทำเยื่อกระดาษด้วยเซลลูโลส เป็นต้น เหมาะสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบมักเป็นพวกอินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืช เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้งและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย เปลือกผลไม้ ชังข้าวโพด เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีพวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ แอนทราไซต์ เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบที่มาจากสัตว์นั้นไม่มีมาก เช่น กระดูก หรือ เขาสัตว์ เป็นต้น

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีปริมาณสารระเหยต่ำ
- มีราคาถูกและหาได้ง่าย
- มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง
- มีสมบัติคงที่

ตารางที่ 1 แสดงวัตถุดิบชนิดต่างๆที่ได้มีการศึกษาในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบประเภทพืช	วัตถุดิบประเภทอื่นๆ
- ชายอ้อย - กากน้ำตาล - แกลบ - กากของบีท (Beet-sugar sludge) - กะลามะพร้าว - ชังข้าวโพด - เปลือกเมล็ดฝ้าย - เปลือกถั่วลิสง	<u>สัตว์</u> - เลือดสัตว์ - กระดูก - กากหนัง - เขาสัตว์ <u>ถ่านหินและอื่นๆ</u> - ถ่านหินลิกไนต์

ถึงแม้ว่าจะสามารถผลิตถ่านกัมมันต์ได้จากวัตถุหลายชนิด แต่ทว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีสมบัติในการดูดสีหรือกลิ่นแตกต่างกัน เช่น กะลามะพร้าว เมื่อเผาจะเกิดการหดตัวทำให้ได้รูพรุนที่มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสูง เหมาะสำหรับดูดก๊าซและกลิ่นในขณะกระดูก

เมื่อเผาจะให้ถ่านที่มีสมบัติเหมาะต่อการดูดซับสี อย่างไรก็ดีตามอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการผลิต ถ่านกัมมันต์ก็มีอิทธิพลต่อคุณภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยเช่นกัน

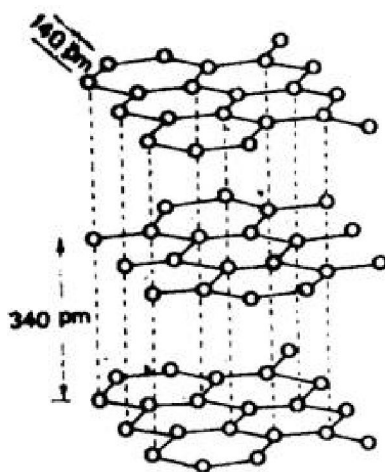
โครงสร้างของผิวถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์เตรียมจากการเผาผลาญสารอินทรีย์ด้วยความร้อน (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 °C ในสถานะที่มีออกซิเจนต่ำ ซึ่งเรียกว่า การคาร์บอนไนซ์ โดยความร้อนจะสลายอะตอมต่างๆที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จนเหลือแต่อะตอมของคาร์บอนที่มีรูปแบบและเกิดการสร้างวงอะโรมาติก (Aromatization) โดยอะตอมคาร์บอนซึ่งเดิมสร้างพันธะโดยใช้อิเล็กตรอนจากชั้น 2s จำนวน 2 ตัวและชั้น 2p จำนวน 2 ตัว เกิดการ Hybridization เปลี่ยนมาใช้อิเล็กตรอนจากชั้น 1s เพียง 1 ตัวและชั้น 2p จำนวน 2 ตัวและมีอิเล็กตรอนอิสระจากชั้น 2p อีก 1 ตัวจึงเกิดพันธะแบบซิกมา (Sigma bond) กับคาร์บอนอะตอมข้างเคียง 3 ตัว เรียงกันเป็นรูปสามเหลี่ยมระนาบเดียวกันและอิเล็กตรอนอิสระที่เหลือจะโคจรอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของระนาบพร้อมที่จะเกิดพันธะไพ (Pibond) ซึ่งในที่สุดก็จะเกิดวงแหวนอะโรมาติกเคลื่อนที่ (Resonance) ทั้งหมดโครงสร้างได้เป็นวงอะโรมาติกเชื่อมโยงกันอย่างไม่มีระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะมียอดประกอบของทาร์ (Tar) และสารอื่นๆที่ได้จากการเผาผลาญ โดยช่องว่างเหล่านี้จะเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้นเพื่อกำจัดทาร์ ธาตุและสารประกอบอื่น โดยการเผาผลาญเพื่อให้ออกจากช่องว่างรูพรุนเหล่านั้นและสร้างหมู่ฟังก์ชันบนนี้มาแทน ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จึงมีผลต่อเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีด้วย Riley ได้ศึกษาโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ และได้เสนอโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ไว้ 2 แบบคือ แบบที่มีลักษณะแกรไฟต์แต่การวางตัวระหว่างชั้นไม่ตั้งฉากกัน ช่องว่างระหว่างชั้นจึงชิดมาก ทำให้แรงกระทำน้อยกว่าผลึกแกรไฟต์ สำหรับอีกแบบหนึ่งเป็นที่มีลักษณะไม่เป็นระเบียบ โครงสร้างแบบนี้จะเสถียรมากขึ้นเมื่อมีอะตอมออกซิเจน (วิชัยและเกษม, 2543)

โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (ศิริลักษณ์, 2547)

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์มีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากมีการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องว่างของผลึกคาร์บอน รูพรุนทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือ การทำให้มีความพรุนไม่ใช่เป็น

การกระตุ้นให้ขนาดของรูใหญ่ ซึ่งเป็นการทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 1 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์

หลักการทำงานของถ่านกัมมันต์

การดูดซับเกิดขึ้นต่อเมื่อมีการสัมผัสโดยตรงระหว่างถ่านกัมมันต์ที่มีผิวสะอาดกับไอหรือสารละลายของสารที่ต้องการดูดซับ โดยที่ทั้งไอหรือสารละลายนั้นจะต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤติ (Critical temperature) และไอนั้นยังสามารถควบแน่นได้ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (T) ความดัน (P) และยังขึ้นอยู่กับพลังงาน (E) ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารที่ถูกดูดซับและสารดูดซับ (ปริญทร, 2551)

ชนิดของถ่านกัมมันต์ (ปริญทร, 2551)

แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

ก. กระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับฟิวคาร์บอน มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ตัวกระตุ้นที่ใช้ได้แก่ซิงค์คลอไรด์ และโซเดียมคลอไรด์

ข. กระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการค้ามี 2 รูปแบบ ได้แก่ เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สออกซิไดส์ เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก

แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (วิชัยและเกษม, 2551)

ก. ขนาดเล็ก (Micro pore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 nm มักใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

ข. ขนาดกลาง (Meso pore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีรูพรุนประมาณ 1.5 ถึง 100 nm มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reaction) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น การฟอกสี

ค. ขนาดใหญ่ (Macro pore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร โดยไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี และการผลิตยา

แบ่งตามลักษณะรูปร่าง

ก. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Granular Activation carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 μm ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ดใช้สำหรับทำก๊าซให้บริสุทธิ์หรือการทำให้ตัวทำละลายที่ใช้แล้วให้บริสุทธิ์ ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยาง อุตสาหกรรมโพลีเอทิลีน อุตสาหกรรมฟิล์มโปรงแสง อุตสาหกรรมการพิมพ์ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเคลือบผ้า อุตสาหกรรมก๊าซ นอกจากนี้ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการปฏิกิริยาของก๊าซและใช้เป็นวัสดุทำหน้ากากป้องกันก๊าซและไอพิษต่างๆ



ภาพที่ 2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด หรือ เกล็ด

ข. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 μm ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก มีลักษณะผง ใช้สำหรับฟอกสีใน

ของเหลว ดูดกลืนและแต่งรสของสารละลายได้หลายชนิด ใช้ในการทำน้ำตาลให้บริสุทธิ์ใช้ในอุตสาหกรรมไขมันและน้ำมันทำให้ไขมันและน้ำมันปราศจากสีหรือสีอ่อนลง ใช้ในการทำน้ำประปาให้มีรสและกลิ่นดีขึ้น ใช้ในการทำน้ำอัดลมบรรจุขวด นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ยังใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆอีก เช่น ผงชูรส เครื่องดื่มประเภทเบียร์หรือไวท์ จี๊ฟี่ พลาสติก ก๊าซพิษและในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (ปริญทร, 2551)



ภาพที่ 3 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ลักษณะการดูดซับ (ศิริลักษณ์, 2547)

ถ่านกัมมันต์สามารถใช้ดูดซับสีและกลิ่น ในสภาพของเหลวและก๊าซ ดังนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะการดูดซับได้ 2 ชนิดคือ

Gas-adsorption carbon โดยมากมักใช้ในการทำก๊าซให้บริสุทธิ์ เช่น การนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ การแยกก๊าซหรือการนำไปใส่ถังกักเก็บ

Liquid-adsorption carbon ถูกนำมาใช้กับงานฟอกสีหรือทำให้ของเหลวบริสุทธิ์ มีลักษณะเหลวๆ เช่น จี๊ฟี่

ข้อแตกต่างระหว่าง Gas-adsorption carbon และ Liquid-adsorption carbon คือการกระจายขนาดของรู (pore-size) แสดงให้เห็นว่า Gas-adsorption carbon มีมากที่สุดในรูปแบบ Micropore คือรัศมีอยู่ในช่วง $3-50 \text{ \AA}$ นอกจากนี้ยังอาจอยู่ในรูปแบบ Macropore คือรัศมีอยู่ในช่วง $1,000-5,000 \text{ \AA}$ และในช่วง transition จะมีรัศมีอยู่ในช่วง $50-1,000 \text{ \AA}$ แต่จะมีปริมาณไม่มากนัก

โดยทั่วไปแล้ว Liquid-adsorption carbon จะมีพื้นที่ผิวพอกับ Gas-adsorption carbon แต่จะมีปริมาตรช่องว่างทั้งหมดใหญ่กว่า

Liquid-adsorption carbon ทั้งหมดไม่จำเป็นที่จะใช้งานในการดูดซับของเหลว ทั้งนี้เพราะขนาดของถ่านกัมมันต์มีทั้ง Micropore และ Transition ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง

transition เป็นส่วนใหญ่แต่ในช่วง Micropore ก็มีไม่น้อยเช่นกัน เนื่องจากขบวนการผลิตต่าง ๆ กันและมาจากวัตถุดิบต่าง ๆ กัน แต่ต้องการให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีปริมาณคาร์บอนอยู่มาก เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานในสภาพ Liquid-adsorption carbon นั้นจะต้องมีการเลือกใช้วัตถุดิบ ซึ่งตัวอย่างของวัตถุดิบเหล่านี้ ได้แก่ จี๊เลื่อย ถ่านลิกไนท์ บิทูมินัส ถ่านปิโตรเลียม

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มของขนาดรูพรุน

Class of pore	Radius of pore
Micropore	3-50 °A
Transition	50-1000 °A
Macropore	1000-50000 °A

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงการดูดซับจะลดลง
2. ความดัน การดูดซับจะเพิ่มขึ้นถ้าความดันเพิ่ม
3. เฟสของระบบมีผลต่อการดูดซับ เช่น ตัวดูดซับตัวหนึ่งมีความสามารถในการดูดเฟสก๊าซได้ดี แต่อาจจะไม่มีความสามารถในการดูดซับในเฟสของเหลวก็ได้
4. ขนาดของอนุภาค อัตราการดูดซับจะขึ้นอยู่กับผิวหน้าของตัวดูดซับและความเร็วในการแพร่กระจายของก๊าซเข้าไปในอนุภาค
5. ตัวขัดขวาง (Contaminate) ซึ่งอาจสะสมในระหว่างดูดซับ

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (บุญ, 2548)

การกระตุ้น (Activation) แบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ การกระตุ้นทางเคมี และการกระตุ้นทางกายภาพ

1. **การกระตุ้นทางเคมี** เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้สารเคมี สารเคมีที่ใช้แพร่หลายคือ แคลเซียมคลอไรด์ โพแทสเซียมซัลไฟด์ สังกะสีคลอไรด์ กรดฟอสฟอริก เป็นต้น หลักการเตรียมด้วยวิธีนี้เตรียมได้ 2 แบบ

ก. การผสมสารเคมีกับวัตถุดิบโดยตรง โดยนำถ่านที่ผ่านการบดและคัดแยกผ่านตะแกรงร่อนให้ได้ขนาดที่เหมาะสม นำไปแช่ในสารเคมีเพื่อช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้

ความร้อน (pyrolysis) เมื่อนวดให้เข้ากันดีแล้วนำมาเผาในที่อุณหภูมิสูง ไม่ให้อากาศเข้า เมื่อเย็นลง นำมาสกัดแยกสารเคมีออก ก็จะได้ถ่านที่มีปฏิกิริยาตามต้องการไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ข. การผสมสารเคมีกับวัตถุดิบที่ผ่านการคาร์บอนในเซชัน โดยนำอินทรีย์วัตถุไปผ่านการคาร์บอนในเซชันให้ได้ผลิตภัณฑ์ก่อนแล้วจึงเติมสารเคมีก่อกัมมันต์อีกทีหนึ่ง

สำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์แบบแรกจะมีความลำบากตอนที่ล้างสารประกอบที่เกิดขึ้นตามรูพรุนได้ยากกว่าแบบหลัง

การกระตุ้นทางเคมีจะช่วยลดการเกิดทาร์และสารอื่นๆที่เกิดในกระบวนการ ดังนั้นร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงค่อนข้างมีปริมาณสูง

- กระตุ้นแบบนี้มักใช้กับวัตถุดิบที่เป็นไม้
- อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นอยู่ในช่วง 500-900 °C
- สารกระตุ้นที่ใช้กันทั่วไปในทางอุตสาหกรรม คือ ซิงค์คลอไรด์และกรดฟอสฟอริก

การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ โดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ผสมกับวัตถุดิบโดยใช้สถานะที่อุณหภูมิประมาณ 130 °C หลังจากนั้นจะนำไปคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 600-850 °C ซึ่งในระดับอุตสาหกรรมจะคำนึงถึงประสิทธิภาพในการนำเอาซิงค์คลอไรด์กลับมาใช้ใหม่ที่ค่อนข้างจำกัด ประกอบกับปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้การใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารกระตุ้นในระยะหลังจึงลดลง

การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก กระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น จะใช้อุณหภูมิในการกระตุ้นที่ค่อนข้างต่ำคือ 400-500 °C ซึ่งการใช้กรดฟอสฟอริกนั้นสามารถผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยยังได้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูง พบว่าวัตถุดิบที่เป็นไม้ สามารถผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพดีโดยวิธีนี้

ในการกระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีนี้ ขนาดของถ่านมีอิทธิพลต่อการดูดซับมาก จะทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเปลี่ยนไป มีผลต่อความจุของการดูดซับ โดยที่ความจุของการดูดซับจะแปรผันตามพื้นที่ผิวทั้งหมดของถ่าน เพราะฉะนั้นผงถ่านที่หนักเท่ากัน ถ่านที่เป็นผงละเอียดมากกว่าจะมีความจุของการดูดซับมากกว่า

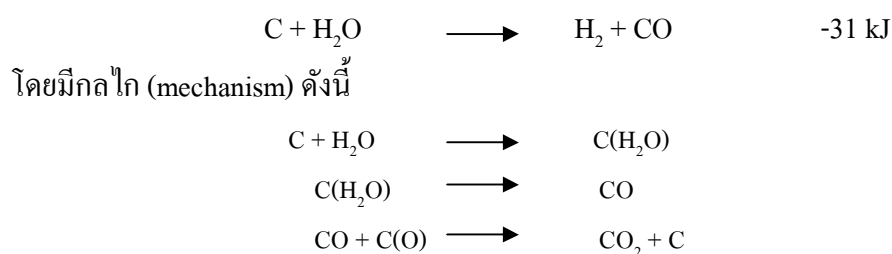
การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการกระตุ้นด้วยการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อากาศหรือน้ำซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระตุ้นค่อนข้างสูงประมาณ 800-1,000 °C เพราะไอน้ำที่ใช้จะต้องเป็นไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (Superheated stream) เพื่อให้สารอินทรีย์ต่างๆสลายไป ทำให้โครงสร้างภายในมีลักษณะรูพรุน (porous)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตถ่านผลิตด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยกายภาพ คือ เตาเผาแบบหมุน ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- แหล่งกำเนิดไอน้ำ เป็นส่วนที่เปลี่ยนน้ำที่เป็นของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำ
- ตัวเครื่อง ประกอบด้วย ท่อบรรจุสาร มอเตอร์หมุน ที่วัดอุณหภูมิและเครื่องควบคุม
- แหล่งให้ความร้อน เพื่อให้ไอน้ำผ่านเข้ามาในตัวเครื่องเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง

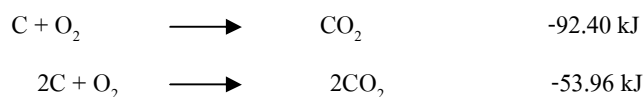
โดยในการผลิตเตาเผา จะใช้ทีมนักวิศวกร นักเคมี และผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินการก่อสร้างซึ่งโครงสร้างของเตาเผาอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์

ก. การกระตุ้นด้วยไอน้ำ เป็นการกระตุ้นทางกายภาพอย่างหนึ่ง ทำโดยใช้ไอน้ำยิ่งยวด ซึ่งมีอุณหภูมิตั้งแต่ 750-950 °C ไอน้ำจึงสามารถทำปฏิกิริยากับผลึกถ่านได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic Reaction) ดังนี้



ถ่านที่ได้จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำ มีค่าคาร์บอนประมาณร้อยละ 97-98 และยังคงมีรูปร่างที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถตรวจชนิดของวัสดุที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์จากกล้องจุลทรรศน์

ข. การกระตุ้นด้วยอากาศ ปฏิกิริยานี้ใช้ออกซิเจนในอากาศเป็นตัวออกซิไดซ์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน เช่นกันดังสมการ



การกระตุ้นด้วยอากาศ ต้องใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 800 °C ออกซิเจนจากอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับผลึกคาร์บอน อีกทั้งออกซิเจนจะทำให้ผิวของถ่านไหม้ ทำให้เกิดการสูญเสียอย่างมาก

ค. การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยานี้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวออกซิไดส์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน เช่นกันดังสมการ



จะเห็นว่าได้ปฏิภานี้ ต้องการพลังงานความร้อนมากกว่า วิธีการกระตุ้นด้วยไอน้ำ จึงต้องใช้ อุณหภูมิสูงกว่า โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 800-1,000 °C ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการกระตุ้นทางกายภาพ และทางเคมี (ปริญทร, 2551)

วิธีการกระตุ้น	ข้อดี	ข้อเสีย
กายภาพ	- ได้ถ่านกัมมันต์ที่รูพรุนขนาดเล็ก ไม่มีสารเคมีตกค้าง ไม่เป็นอันตราย - ต้นทุนในการผลิตต่ำ	- วัสดุ อุปกรณ์ หายาก มีความเฉพาะเจาะจง
เคมี	- สะดวก ง่าย ไม่ยุ่งยากในการทดลอง	- ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ - มีสารเคมีตกค้างต้องเสียเวลาดำรงนาน - ต้นทุนในการผลิตสูง

การวัดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ (บุญ, 2548)

การวัดสมบัติของถ่านกัมมันต์ทำได้โดยการวัดความสามารถในการดูดซับคาร์บอน (Adsorptive Capacity) ซึ่งได้มีการใช้ Adsorbate ที่มีความเข้มข้นชนิดต่างๆ ได้แก่ Phenol, Tannin , Iodine และ Molasses การดูดซับ Phenol เป็นดัชนีชี้วัดความสามารถของคาร์บอนในการกำจัดรสและกลิ่นทางเคมี ส่วนการดูดซับ Tannin ใช้เป็นดัชนีวัดความสามารถในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ในน้ำที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชผัก การดูดซับ Iodine และ Molasses ใช้แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนนี้ใช้เป็นถ่านกัมมันต์ได้

พื้นที่ผิวเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมรรถนะของคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (มีหน่วยเป็น m^2/g) จะมีอำนาจหรือขีดความสามารถในการดูดซับสูงตามไปด้วย การวัดพื้นที่ผิวจำเพาะของคาร์บอนทำได้โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกคาร์บอนดูดซับไว้ วิธีวัดสมรรถนะของคาร์บอนอาจทำได้โดยการวัด Iodine Number (ค่าการดูดซับไอโอดีน) หรือ Molasses Number (ค่าการดูดซับ Molasses) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวคาร์บอน

Iodine Number แสดงถึงสมรรถนะของคาร์บอนในการกำจัดสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (ขนาดใหญ่มากกว่า 28 °A)

การทดสอบสมบัติของถ่านกัมมันต์

เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้น ถูกใช้ในการดูดซับและฟอกสีสารต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซ ดังนั้นการทดสอบสามารถแบ่งตามสภาพของการทดสอบได้ทั้ง 3 วิธีด้วยกัน คือ

- การทดสอบสมบัติทั่วไป (General Properties of Activated Carbon Test)
- การทดสอบสมบัติต่างๆเกี่ยวกับการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้งานกับของเหลว (Liquid Adsorption Test)
- การทดสอบสมบัติต่างๆเกี่ยวกับการนำถ่านไปใช้งานกับก๊าซ (Gas Adsorption Test)

ทฤษฎีการดูดซับ (พิชัย, 2549)

กลไกการดูดซับ (Mechanisms of Adsorption)

เนื่องจากการดูดซับในการถ่ายเทมวลสาร (Mass transfer) จากก๊าซหรือของเหลวมายังของแข็งหรือของเหลว การดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะ

ระยะที่ 1 โมเลกุลของสิ่งสกปรก (Adsorbate) ในน้ำเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของถ่าน

ระยะที่ 2 โมเลกุลของสิ่งสกปรกจะฟุ้งกระจาย (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของถ่าน

ระยะที่ 3 เกิดการดูดซับในรูพรุนนี้ระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นที่ผิวของถ่านซึ่งอาจจะดูดซับด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน ปรากฏการณ์ดูดซับของถ่านกัมมันต์ แบ่งได้ 4 ชนิดคือการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมี การดูดซับแบบแลกเปลี่ยนและการดูดซับแบบเจาะจง

การดูดซับทางกายภาพ (นิรนาม, 2547)

การดูดซับทางกายภาพ เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับโดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนๆและเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ พันธะไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังมี

- โพลาร์กับโพลาร์โมเลกุลเกิดจาก Orientation effect คือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงข้าม

- นอนโพลาร์กับนอนโพลาร์โมเลกุล เกิดจาก Dispersion effect ซึ่งเป็นผลมาจากหลักการที่ว่า นอนโพลาร์โมเลกุลสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้ ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มาอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมากจะทำให้ไดโพลาร์โมเลกุลได้และเมื่อมีนอนโพลาร์ที่มีลักษณะเดียวกันเข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกันมักเป็นแรงที่อ่อน (เช่น สารอินทรีย์และถ่านกัมมันต์ เพราะสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นนอนโพลาร์โมเลกุล)

- โพลาร์และนอนโพลาร์โมเลกุลเกิดจาก Induce effect ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของโพลาร์โมเลกุลเข้าใกล้นอนโพลาร์โมเลกุล เหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงข้ามแล้วดึงดูดกันซึ่งมีทิศทางและยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับทำได้ง่ายและการดูดซับอาจเกิดซ้อนกันเป็นหลายชั้น

การดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางเคมี เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยากัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับจะทำให้ยากและการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. เป็นชนิดพันธะเคมี (Chemical bond) เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือให้อิเล็กตรอนไปเลยหรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแข็งแรงกว่าแรงทางกายภาพ

2. ไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ เพราะยึดเหนี่ยวด้วยแรงที่มากมีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี (Chemical Compound)

การดูดซับแลกเปลี่ยน

เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับเป็นไอออนที่มีประจุตรงข้ามกับตัวดูดซับ หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่ผิวของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

การดูดซับแบบเจาะจง

เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่อยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมของการดูดซับชนิดนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างพลังงานของการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมี การดูดซับแลกเปลี่ยนหรือการดูดซับแบบเจาะจงขึ้นอยู่กับชนิดของกลุ่มตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับนั้น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

ในระหว่างที่มีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนถ่านกัมมันต์หรือสารดูดซับอื่นๆ โมเลกุลส่วนใหญ่เกาะติดอยู่ในโพรงคาร์บอนและมีบางส่วนเกาะติดที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาคาร์บอนเกิดขึ้นได้ถึงจุดสมดุลจึงหยุด ความเข้มข้นโมเลกุลของน้ำจะเหลือน้อยมากเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไป

จับอยู่บนคาร์บอน อัตราเร็วและขีดความสามารถของการดูดซับคาร์บอนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่

ขนาดและพื้นที่ผิวของคาร์บอน

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของคาร์บอนคือ ขนาดและพื้นที่ผิวขนาดของคาร์บอนมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับในทางลบ กล่าวคือ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดคาร์บอน ดังนั้นคาร์บอนที่มีขนาดเล็กจะดูดซับได้ดีกว่าคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ ฉะนั้นคาร์บอนผงจึงมีอัตราการดูดซับสูงกว่าคาร์บอนเม็ด ส่วนพื้นที่ผิวของคาร์บอนนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ นั่นคือ คาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลได้มากกว่าคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวน้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของคาร์บอนได้มาจากช่องว่างหรือโพรงภายใน ขนาดคาร์บอนจึงมีบทบาทน้อยในการกำหนดพื้นที่ผิว คาร์บอนทั้งแบบผงและแบบเม็ดจึงมีพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักใกล้เคียงกันซึ่งหมายถึงความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกัน

ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับบนผิวคาร์บอน

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำและไปเกาะกับผิวของของแข็ง สารที่ละลายน้ำได้ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างหนาแน่นจึงเป็นสารที่ยากต่อการดูดซับ สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้อยจะสามารถเกาะติดบนผิวคาร์บอนได้ดีกว่า แต่มีสารบางชนิดที่ละลายเกาะติดผิวคาร์บอนได้ยาก แต่ในทางตรงกันข้ามการดูดติดผิวอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้ว่าเป็นความสัมพันธ์อย่างแน่นอนในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถในการดูดซับและมีความสามารถในการละลายน้ำ

ความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่ออัตราการดูดซับ ถ้าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง อัตราการดูดซับจะเร็วและมากเพราะค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่ออัตราการดูดซับด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนที่เพิ่มขึ้นยังสามารถเกาะติดผิวคาร์บอนได้ดี ทำให้คาร์บอนมีสภาพเป็นกลางเสมอ เนื่องจากคาร์บอนไม่มีขั้วค่อนข้างเป็นลบจึงทำให้โมเลกุลไม่มีขั้วของสารในน้ำมาเกาะที่ผิวของคาร์บอนได้ดี

อุณหภูมิ

อุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับติดผิวจะลดลง เนื่องจากกระบวนการการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

สถานการณ์ถ่านกัมมันต์ในปัจจุบัน (นิรนาม, 2547)

ถ่านกัมมันต์สามารถนำไปใช้ได้หลายอุตสาหกรรม ทั้งนี้ตัวอย่างของกลุ่มสินค้าที่มีการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของกระบวนการผลิต ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการถ่านกัมมันต์ขยายตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่น

- กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ หน้ากากป้องกันพิษ เนื่องจากสภาวะแวดล้อมของประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตชุมชนเมือง ประสบกับปัญหามลภาวะเป็นพิษทำให้มีความต้องการเครื่องกรองอากาศและหน้ากากป้องกันก๊าซพิษกันมากขึ้น จึงส่งผลต่อเนื่องทำให้มีความต้องการถ่านกัมมันต์สูงขึ้นเช่นกัน โดยใช้เป็นตัวดูดซับก๊าซพิษออกไปจากบรรยากาศ

- กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา เป็นกลุ่มตลาดที่มีขนาดใหญ่และมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเป็นสินค้าที่จำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้คน ขณะเดียวกันน้ำบริสุทธิ์ตามแหล่งน้ำก็หายากขึ้น ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์เป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยการดูดซับสิ่งเจือปนต่างๆออกไป

- กลุ่มโรงงานชุบโลหะ ซึ่งจะมีการระบายน้ำที่ปนเปื้อนไปด้วยโลหะหนักประเภทต่างๆ เช่น โครเมียม นิกเกิล ทองแดง เป็นต้น ออกมาสู่แหล่งน้ำต่างๆแต่เนื่องด้วยข้อบังคับกฎหมายว่าด้วยเรื่องสิ่งแวดล้อม ทำให้โรงงานชุบโลหะต้องทำการบำบัดน้ำเสียเหล่านั้นก่อนการระบายสู่แหล่งน้ำเป็นเหตุให้มีความต้องการถ่านกัมมันต์ในกระบวนการบำบัดดังกล่าวในการเป็นตัวดูดซับโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในน้ำออกไป

- กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป มักมีกลิ่นของวัตถุดิบอาหารที่เหม็นคาว โดยบางครั้งยังเป็นกลิ่นโชยออกไปนอกพื้นที่โรงงานส่งผลให้ชาวบ้านใกล้เคียงได้รับความเดือดร้อน ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จะมีการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับกลิ่นต่างๆให้จางลงไป ซึ่งในปัจจุบันในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารมีอัตราการขยายตัวค่อนข้างสูง อีกทั้งยังเป็นกลุ่มที่ทำรายได้และนำเงินตราต่างประเทศเข้ามาเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้รัฐบาลให้การสนับสนุนเป็นอย่างมาก โดยเมื่ออุตสาหกรรมขยายตัวเพิ่มขึ้น ปริมาณความต้องการถ่านกัมมันต์ก็ย่อมขยายตัวเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันนอกจากการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆแล้ว ด้วยคุณสมบัติในการดูดกลิ่นได้ดี ทำให้ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ภายในครัวเรือนได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยเป็นผลิตภัณฑ์ใช้ดูดซับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับภายในตู้เย็น ตู้เสื้อผ้า หรือใช้เป็นตัวดูดกลิ่นในรองเท้า โดยมีการบรรจุในผลิตภัณฑ์ที่สวยงามและขนาดกะทัดรัด สามารถพกพาไปไหนได้

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ่านกัมมันต์มีกลุ่มตลาดที่กว้างขวางมาก ไม่จำกัดอยู่ในอุตสาหกรรมใดอุตสาหกรรมหนึ่งเป็นการเฉพาะ ฉะนั้นผู้ผลิตถ่านกัมมันต์จะมีความเสี่ยงด้านพึ่งพาตลาดกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งตลาดเดียวต่ำมาก นอกจากนี้ไม่เพียงแต่มีตลาดอยู่เฉพาะภายในประเทศเท่านั้น ปัจจุบันยังสามารถทำการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้อีกด้วย แม้ว่าจะต้องอาศัยการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศเป็นบางส่วน แต่ก็มีความมั่นใจว่าจะสามารถทดแทนการนำเข้าได้มากขึ้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ภายในประเทศยังไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้นัก โดยผู้ใช้นักมีทัศนคติและความเชื่อมั่นในสินค้าที่นำเข้าจากต่างประเทศว่ามีคุณภาพดีกว่าสินค้าที่ผลิตภายในประเทศ ทั้งนี้ถ่านกัมมันต์บางชนิดที่ยังไม่มีการผลิตภายในประเทศเนื่องจากปริมาณความต้องการยังไม่มากพอรวมทั้งวัตถุดิบภายในประเทศไม่เอื้ออำนวยต่อการผลิต เช่น ถ่านกัมมันต์จากถ่านหิน เป็นต้น ทำให้ไม่คุ้มทุนสำหรับการลงทุนผลิตของผู้ประกอบการในประเทศ

เมื่อพิจารณาจากปริมาณการนำเข้า-ส่งออกสินค้าประเภทถ่านกัมมันต์ พบว่าไทยยังคงนำเข้าผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ ในปี พ.ศ.2549 มีมูลค่า 349 ล้านบาท จากประเทศต่างๆ เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย เป็นต้น ขณะเดียวกันไทยมีมูลค่าส่งออกสูงถึง 171 ล้านบาท โดยประเทศที่ส่งออกหลักคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น บราซิล โดยถ่านกัมมันต์ของไทยมีแนวโน้มที่จะสามารถส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศได้สูงขึ้น โดยเฉพาะผู้ผลิตที่ใช้กะลามะพร้าว เปลือกผลไม้ เป็นวัตถุดิบเนื่องจากมีผู้ผลิตจากประเทศอื่นๆ เพียงไม่กี่ประเทศที่สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดนี้ได้ ซึ่งได้แก่ ศรีลังกา มาเลเซีย และฟิลิปปินส์

งานวิจัยเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์

พิศิษฐ์ (2549) ได้ศึกษาการผลิตและประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์จากยางล้อใช้แล้วเพื่อหาเทคนิคที่สามารถควบคุมการผลิตถ่านกัมมันต์ให้ขนาดรูพรุนตามที่ต้องการได้ โดยนำยางรถยนต์ที่แยกเฉพาะส่วนที่ต้องการ นำมาบดเป็นผงและให้ความร้อนที่เหมาะสมจนได้เป็นถ่านออกมา จากนั้นก็นำไปอัดเม็ดและบรรจุท่อ ก่อนนำไปทดลองใช้จริง พบว่าสามารถพัฒนาเทคนิคในการผลิตถ่านกัมมันต์จากยางล้อใช้แล้วที่มีความสามารถในการดูดซับฟีนอลเทียบได้กับถ่านกัมมันต์ทางการค้า และมีความสามารถในการดูดซับสีข้อมอินทรีย์สูงกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า

บุญ (2548) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าโพดสำหรับกำจัดโครเมียมจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม โดยการนำมาผ่านกระบวนการกระตุ้นทางกายภาพ เริ่มจากการเผาถ่านขี้เถ้าโพดในเตาเผาอับอากาศที่อุณหภูมิ 300 °C ถึง 500 °C แล้วผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ยังยวดยาวเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบนี้สามารถนำมาใช้ในการจับโครเมียมในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้

จุฑามาส (2547) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลาย $ZnCl_2$ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์คือ ใช้ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 35% โดยน้ำหนัก และเวลาในปฏิกิริยาในการกระตุ้น 2 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิในการเผา คือ $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับและจากภาพ SEM พบว่าถ่านกัมมันต์มีรูพรุนขนาดเล็กและรูพรุนขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไปในโครงสร้าง โดยมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากกว่ารูพรุนขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก

ศิริลักษณ์ (2547) ได้ศึกษาถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและเปลือกข้าวโดยนำวัตถุดิบมาผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นถ่าน แล้วนำมาผ่านกระบวนการเพิ่มพื้นที่ผิวหน้าโดยการทำปฏิกิริยากับสารเคมีคือ สารละลายสังกะสีคลอไรด์ นำมาวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน พบว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 249.9 mg/g ขณะที่ถ่านกัมมันต์จากเปลือกข้าวได้ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 248.1 mg/g

จินดารัตน์ (2546) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยการนำกะลามะพร้าวเผาที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที หาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้โดยเฉลี่ย 34.09 ทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ $260\text{ }^{\circ}\text{F}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วัดค่าเลขไอโอดีนนัมเบอร์เฉลี่ยได้ 172 mg/g และทำการกระตุ้นทางเคมีโดยแช่สารละลายซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วน 2:1 นำไปกระตุ้นที่อุณหภูมิ $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดค่าเลขไอโอดีนนัมเบอร์เฉลี่ย 534 mg/g

เทิดธรรมและวิศิษฐ์ (2544) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยทำการคาร์บอนี่ถ่านกะลาที่อุณหภูมิ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นได้นำถ่านที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนี่เซชันไปก่อกัมมันต์ด้วยสารเคมี 2 ชนิด คือซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ความเข้มข้นเท่ากับ 5.00 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนสารละลายต่อถ่านกะลามะพร้าวเป็น 2:1 ที่อุณหภูมิ $600\text{--}800\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง พบว่าถ่านกะลามะพร้าวที่ผ่านการก่อกัมมันต์โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีสมบัติที่ดีกว่าในกรณีใช้ซิงค์คลอไรด์ โดยการก่อกัมมันต์ที่อุณหภูมิ $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงให้ค่าเลขไอโอดีนสูงสุด 621.9

วิชัยและเกษม (2543) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่และซังข้าวโพดโดยการเผาไหม้ในที่อับอากาศและใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการกระตุ้นและหาสภาวะที่เหมาะสม พบว่า อุณหภูมิเผาเท่ากับ $920\text{ }^{\circ}\text{C}$ อัตราส่วนเกลือ : ไม้ไผ่เท่ากับ 2 : 1 ระยะเวลาเผา 50 นาที ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนสูงสุดเท่ากับ 670 mg/g และร้อยละของผลผลิตที่ได้เท่ากับ 24 % ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของการเผาซังข้าวโพดคือ $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ อัตราส่วนเกลือต่อซัง

ข้าวโพดเท่ากับ 4 : 1 ระยะเวลาเผาเท่ากับ 70 นาที ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน 736.98 mg/g และร้อยละของผลผลิตได้เท่ากับ 13 %

ลลิตา (2544) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับไอโอดีนในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทุเรียนและเม็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่าการดูดซับไอโอดีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของน้ำเสียเพิ่มขึ้น ถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกำจัดไอโอดีนสูงกว่าเปลือกทุเรียน 90 % และเปลือกทุเรียนมีประสิทธิภาพสูงกว่าเม็ดมะม่วงหิมพานต์

ณิชนันท์ (2550) ได้ศึกษาการผลิตแผ่นกรองอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ฟอสโฟรยด์จากถ่านกัมมันต์เปลือกทุเรียน จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพอุณหภูมิการเผาที่ 700 °C ระยะเวลากระตุ้น 15 นาทีมีความเหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์เนื่องจากมีค่าดูดซับไอโอดีนสูงสุด 784.33 mg/g ค่าร้อยละของผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 24.79 ค่าความชื้นร้อยละ 3.14 ตัวประสานที่เหมาะสมคือ ยิปซัม ในอัตราส่วนยิปซัมต่อถ่านกัมมันต์ 30:70 มีค่าความแข็งต่อแรงอัด 846.67 N/cm³ มีความหนาแน่นปรากฏ 0.37 g/cm³

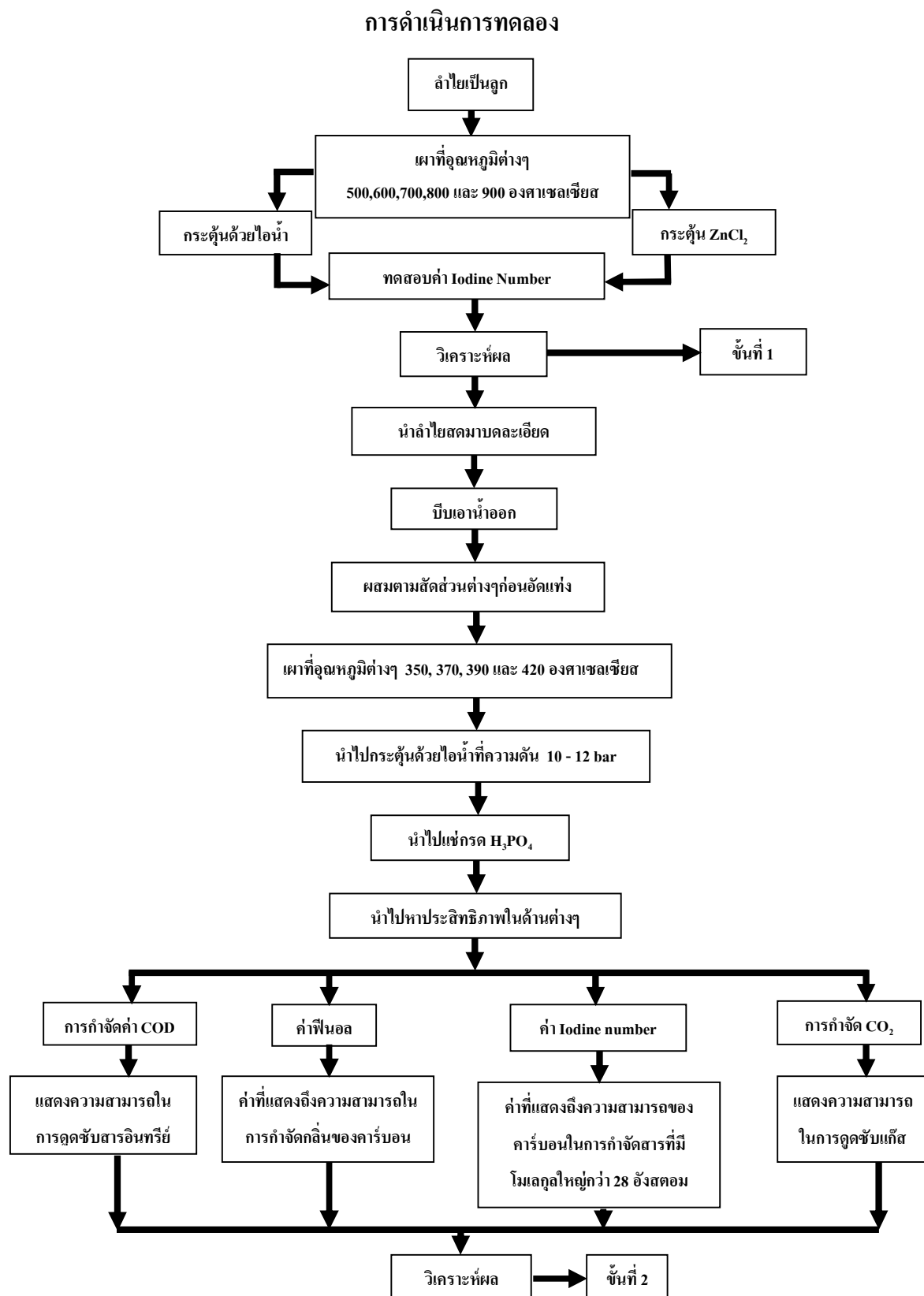
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ในกระบวนการทดลอง

- เครื่องอัดแท่งถ่านขนาด 3 แรงม้า 1 เครื่อง
- เครื่องบดละเอียดขนาด 2 แรงม้า 1 เครื่อง
- เตาเผาอุณหภูมิสูง 1 เครื่อง
- เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) 1 เครื่อง
- กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 85 %
- ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2)
- ตะแกรงขนาด 0.1 – 0.05 mm.
- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- แวนตาคันกรด
- หน้ากากกันแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

กระบวนการดำเนินการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากลำไยตกเกรด พบว่า มีกากที่เหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการที่จะผลิตเป็นถ่านกัมมันต์นั้น จะต้องมีการป้องกันการเกิดกระบวนการกลายเป็นเถ้าของกากลำไย โดยจากลักษณะของเปลือกลำไย เมล็ด และเศษเนื้อลำไย สามารถที่จะนำมาอัดเป็นทางได้ เพื่อป้องกันการกลายเป็นเถ้าในกระบวนการ Carbonization โดยจากภาพที่ 3.1 เป็นกระบวนการดำเนินการทดลองเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ โดยมีการใช้สารเคมีในกระบวนการกระตุ้นให้เกิดรูพรุน คือ กรดฟอสฟอริกและซิงค์คลอไรด์ร่วมกับการกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยในขั้นตอนสุดท้ายจะมีการนำถ่านที่ได้ไปทดสอบตามคุณลักษณะต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้



ภาพที่ 4 แผนการดำเนินการทดลองการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรด

การอัดแท่งล้าไยตกเกรด

จากภาพที่ 5 เป็นขั้นตอนของการผลิตถ่านกัมมันต์จากล้าไยตกเกรด โดยต้องนำมาทำการอัดขึ้นรูปเป็นแท่งก่อนกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน เพราะถ่านนำเข้าเตาเผาอุณหภูมิสูงเลยในลักษณะที่เป็นกาก จะทำให้เกิดการเผาไหม้เป็นเถ้า ซึ่งจะไม่เป็นผลดีต่อการผลิตถ่านกัมมันต์จากล้าไยตกเกรด รูปที่ [1] เป็นผลล้าไยตกเกรดก่อนกระบวนการบดอัด รูปที่ [2] เป็นกากล้าไยที่ผ่านการบดอัดในขั้นตอนการผลิตเอทานอล รูปที่ [3] เป็นกระบวนการอัดแท่งล้าไยตกเกรด และรูปที่ [4] เป็นแท่งล้าไยตกเกรดที่ผลิตได้



[1] ผลล้าไย



[2] กากล้าไย



[3] การอัดแท่งล้าไย



[4] ล้าไยที่ผ่านการอัดแท่ง

ภาพที่ 5 ล้าไยตกเกรดก่อนการบดและบดละเอียด

กระบวนการเผาและกระตุ้นด้วยสารเคมีและไอน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

จากตารางที่ 4 เป็นการออกแบบสภาวะในการทดลองในขั้นตอนที่ 2 ของการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรด โดยจะมีสภาวะที่ใช้ในการศึกษาในขั้นตอนที่ 2 นั้นเท่ากับ 8 สภาวะ โดยใช้กรดฟอสฟอริก 85% เป็นตัวกระตุ้นในการเกิดรูพรุน อัตราการไหลของไอน้ำเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที และความเร็วของการไหลเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 4 สภาวะในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลำไยตากเกรด

สภาวะที่	แป้ง : ลำไย : แกลบ	การเผา	สภาวะในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ	เวลาในการแช่กรดฟอสฟอริก 85%
1	1:8:1	T=350, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
2	1:8:1	T=350, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
3	2:6:2	T=370, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
4	2:6:2	T=370, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
5	1:6:3	T=390, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
6	1:6:3	T=390, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
7	2:5:3	T=420, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
8	2:5:3	T=420, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12

3.2.2.1 ขั้นตอนในการเผา (Carbonization)



ภาพที่ 6 กระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิสูง

จากภาพที่ 6 เป็นการเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อกระตุ้นให้โครงสร้างภายในของแท่งลำไยเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง ให้มีรูพรุนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยใช้อุณหภูมิ 350 – 420 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ



ภาพที่ 7 กระบวนการกระตุ้นพื้นผิวผ่านกัมมันต์ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ

จากภาพที่ 7 กระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำอิมตัว โดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 3 ลิตรต่อ นาที ความเร็วของการไหลเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที โดยจะกระตุ้น ณ ความดัน 10 – 12 บาร์ อุณหภูมิในการกระตุ้นจะอยู่ในช่วง 105 – 112 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมี คือ กรดฟอสฟอริก 85%



ภาพที่ 8 กระบวนการกระตุ้นพื้นผิวถ่านกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริก

จากภาพที่ 8 เป็นการกระตุ้นพื้นผิวถ่านกัมมันต์ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 85% เป็นเวลา 4 และ 12 ชั่วโมง จากนั้นจะนำไปล้างด้วยน้ำสะอาด จนมีค่าพีเอชเป็นกลาง คือ ประมาณ 7 – 7.5 และหลังจากนั้นจำเป็นต้องนำไปอบให้แห้ง

ขั้นตอนการบดละเอียดและผ่านตะแกรงขนาด 0.15 mm.



ภาพที่ 9 ลักษณะของผงถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดที่พร้อมทดสอบคุณภาพ

จากภาพที่ 9 เมื่อถ่านกัมมันต์ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกเรียบร้อยแล้ว นำถ่านอัดแท่งมาทำการบดละเอียดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.15 mm. จากนั้นจึงจะนำไปทดสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆ

การตรวจสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ (ปริญทร, 2551)

ก. การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ถ้าใช้เป็นลูก ถ้าใยอัดแท่งและถ่านอัดแท่ง)

1. เผาด้วยกระบือในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
3. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของด้วยกระบือ
4. ชั่งแท่งใยจากใยตัวอย่าง บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนอบแห้งรวมน้ำหนักของด้วยกระบือ
5. นำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
6. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างหลังอบแห้งรวมน้ำหนักของด้วยกระบือ
7. คำนวณหาค่าความชื้น ดังนี้

$$\text{ความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = [(L-K)/L] \times 100$$

เมื่อ	L	=	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบ (g)
	K	=	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

ข. การกระตุ้นถ่านกัมมันต์ (Carbonization) (ถ้าใยเป็นลูก ถ้าใยอัดแท่งและถ่านอัดแท่ง)

1. อบตัวอย่างในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. เผาด้วยกระบือในเตาเผาที่ 750 °C เป็นเวลา 10 นาที ใส่ใยประมาณ 100 กรัม บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนเผารวมน้ำหนักด้วยกระบือ
3. ทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 °C 600 °C 700 °C 800 °C และ 900 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถ่านจากใยหลังเผารวมน้ำหนักของด้วยกระบือ
4. นำถ่านที่ได้มากระตุ้นด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารเคมี ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂) ในอัตราส่วน 1: 3 นำมาล้างด้วยน้ำกลั่น และกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ 10, 15 และที่ 20 psi เวลา 10, 15 และ 20 นาที

ค. การหาเปอร์เซ็นต์ Yield

1. นำผลล้าไปโปบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
2. เผาด้วยกระบือียงในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
3. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถั่วกระบือียง
4. ใส่ล้าไปประมาณ 100 กรัม ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ในถั่วกระบือียง บันทึกน้ำหนักที่ได้ของตัวอย่างก่อนเผา รวมน้ำหนักของถั่วกระบือียง
5. เผาที่อุณหภูมิ 500 °C 600 °C 700 °C 800 °C และ 900 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
6. ชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ของถั่วจากล้าไปหลังเผา รวมน้ำหนักของถั่วกระบือียง
7. คำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ ดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (\% yield)} = [100 - \{(X - Y) / X \times 100\}]$$

เมื่อ X = น้ำหนักของล้าไปก่อนเผา (g)

Y = น้ำหนักของล้าไปหลังเผา (g)

ง. การศึกษาค่าการดูดซับไอโอดีน (ตามมาตรฐาน AWWA B 604)

สารเคมี และวิธีเตรียม

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
ผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70.00 ml ลงในน้ำกลั่น 550.00 ml เขย่าให้เข้ากัน
2. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไอโอเดต 0.100 N (normal, N)
ชั่งโปแตสเซียมไอโอเดต (Primary Standard Grade Potassium Iodate, KIO_3) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จำนวน 3.5667 g ละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 ml
3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 ± 0.001 N (normal, N)
ละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium Thiosulfate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 24.8200 g ในน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มให้เดือด 75.00 ml เติมโซเดียมคาร์บอเนต 0.1000 g ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1 ลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000 ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 วัน ก่อนทำการตรวจสอบความเข้มข้น

4. สารละลายมาตรฐานไอโอดีน 0.1 ± 0.001 N (normal, N)

ชั่งไอโอดีน 12.7000 g และโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 19.1000 g ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 2-5 ml คนให้ของแข็งละลาย ค่อยๆ เติมน้ำทีละน้อย (ครั้งละประมาณ 5.00 ml) จนกระทั่งให้สารละลายประมาณ 40 ml ทิ้งสารละลายไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง คนเป็นระยะเพื่อให้แน่ใจว่าของแข็งละลายหมด ถ่ายสารละลายลงในขวดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 1 ลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1,000ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา ตรวจสอบความเข้มข้นกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N

5. น้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

สารละลายแป้ง (Soluble Starch) 1.0 ± 0.5 g ในน้ำเย็น 5-10 ml คนสารละลายพร้อมกับเติมน้ำกลั่นเพิ่มอีก 25 ± 5 ml เทสารละลายลงในน้ำเดือด 1 ลิตร แล้วต้มต่อให้เดือดอีก 4-5 นาที ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

6. การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย

6.1 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

6.1.1 ปิเปตต์สารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 25.00 ml ใส่ในขวด รูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมโปแตสเซียมไอโอไดน์ (KI) 2.0 g เขย่าจนละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 ml ลงในขวดรูปชมพู่

6.1.2 ไทเทรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่ง เป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด End Point) หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรดต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการไตเตรดซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

คำนวณ หาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตโดยใช้สูตร

$$N_1 = (P.R)/S \quad (1)$$

เมื่อ	N_1	=	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต, N
	P	=	ปริมาตรสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, ml
	R	=	ความเข้มข้นสารละลายโปแตสเซียมไอโอเดต, N
	S	=	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้, ml



ภาพที่ 10 การเตรียมสารเคมีในกระบวนการหาค่า Iodine number

6.2 การตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

6.2.1 ปิเปตต์สารละลายไอโอดีน 25.00 ml ในขวดรูปชมพู่ 250 ml

6.2.2 ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1000 N เมื่อสีของสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุด End Point) หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายจะเป็นสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำการ ไตเตรตซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

คำนวณหาความเข้มข้นสารละลายไอโอดีนโดยใช้สูตร

$$N_2 = (S \cdot N_1) / I \quad (2)$$

เมื่อ	N_2	=	ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน, N
	S	=	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้, ml
	N_1	=	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต, N
	I	=	ปริมาตรสารละลายไอโอดีน, ml

จ. วิเคราะห์การหาค่า Iodine number

- 1) ชั่งผงถ่านตัวอย่าง 0.25 g, 0.50 g และ 1.00 g โดยให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml
- 2) เติมสารละลายไอโอดีน 0.10 N ปริมาตร 50.00 ml เขย่าประมาณ 30 วินาที – 1 นาที
- 3) กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 ทั้งสารละลายที่กรองได้ในช่วงแรก
- 4) ปิเปตต์สารละลายที่กรองได้มา 25.0 ml ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 125 ml

5) ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N เมื่อสารละลายไอโอดีนจางลงจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอ่อน (ใกล้ถึงจุดยุติ) หยคน้ำแข็ง 2-3 หยด สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ไทเทรตต่อจนสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ ทำซ้ำ 3 ครั้ง

6) คำนวณหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ โดย

ค่าการดูดซับจำเพาะของไอโอดีน (X/M) ได้จากสูตร

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} \quad (3)$$

เมื่อ $\frac{X}{M}$ = มิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อกรัมของถ่านที่ใช้ดูดซับ

A = $(N_2)(12693.0)$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (N)

B = $(N_1)(126.93)$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (N)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

M = ปริมาณถ่านที่ใช้ (g)

DF = ค่าคงที่ของการเจือจาง หาได้จากสูตร

$$DF = \frac{I + H}{F} \quad (4)$$

เมื่อ I = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีน (ml)

H = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5% (ml)

F = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (ml)

เมื่อคำนวณหาค่า X/M ซึ่งเป็นค่าการดูดซับไอโอดีนแล้ว สามารถหาค่า X ได้โดยนำค่า M มาคูณกับค่า X/M ที่ได้ จากนั้นนำค่า X มาหาค่า $\log X$ เพื่อนำค่า $\log X$ ไปพลอตกราฟกับค่า $\log C$ โดยค่า C หาได้จากสูตร

C = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือ

$$C = \frac{N_2 \times S}{F} \quad (5)$$

เมื่อ N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (N)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

F = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไทเทรต (ml)

กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง จากสมการเส้นตรงของกราฟจะทำให้ทราบค่า y จากนั้นจะสามารถหาค่าไอโอดีนัมเบอร์ได้โดย

$$\text{Iodine Number} = 10^y$$

ฉ. การศึกษาค่าการดูดซับฟีนอล

ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล

1. ปิเปตสารละลายฟีนอล ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.0 มิลลิกรัม ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิกรัม
2. เติมสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต-โบรไมด์ ความเข้มข้น 0.10 นอร์มอล ปริมาตร 25 มิลลิกรัม แล้วเขย่าให้สารละลายเท่ากัน
3. เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5.0 มิลลิกรัม แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที
4. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 12.5% ปริมาตร 8.0 มิลลิกรัม แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที
5. นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตจนกระทั่งได้สีเหลือง
6. เติมน้ำแข็ง 2 – 3 หยด จะได้สารละลายสีน้ำเงิน
7. ไตเตรตจนกระทั่งได้สารละลายสีไม่มีสี
8. บันทึกปริมาตรโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้
9. กำหนดความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล โดย

$$\text{Mp (g/l)} = [(V1 \times N1) - (V2 \times N2) \times 15.685] / [Vp] \quad [6]$$

เมื่อ	Mp	=	ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอล (กรัมต่อลิตร)
	Vp	=	ปริมาตรของสารละลายฟีนอล (มิลลิกรัม)
	V1	=	ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต – โบรไมด์ (มิลลิกรัม)
	N1	=	ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมโบรเมต – โบรไมด์ (นอร์มอล)
	V2	=	ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (มิลลิกรัม)
	N2	=	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (นอร์มอล)

ข. การวิเคราะห์ค่าการดูดซับฟีนอล

1. ชั่งถ่านกัมมันต์หนักประมาณ 0.05 กรัม ใส่ลงในขวดรูปกรวย ขนาด 50 มิลลิลิตร 4 ขวด
2. ปิเปตสารละลายฟีนอล ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.5 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงใน 3 ขวดแรก
3. ปิเปตสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.073 โมลาร์ ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.5 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ 4 เพื่อเป็นสารไวตัวอย่าง
4. นำมาเขย่าที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
5. กรองสารละลายผ่านกรวยกรอง โดยทิ้งสารละลายในช่วงแรก จนกระทั่งกระดาษกรอง อิ่มตัวด้วยสารละลาย จึงรองรับสิ่งกรองด้วยหลอดทดลองขนาดเล็ก
6. นำสิ่งกรองไปหาความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ โดยใช้เครื่องยูวีวิชิเบล สเปคโตรโฟโตมิเตอร์
7. นำความเข้มข้นที่วัดได้มาคำนวณหาร้อยละประสิทธิภาพของการกำจัดฟีนอล
8. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1- 7 โดยเพิ่มน้ำหนักถ่านครั้งละ 0.05 กรัม จนกระทั่งความเข้มข้นที่สามารถดูดซับได้ มีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ของความเข้มข้นเริ่มต้น

คำนวณหาค่าการดูดซับฟีนอล (Phenol value) โดย

1. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารละลายฟีนอลที่เหลืออยู่ (% Residual filtrate phenol) จาก

$$\text{ร้อยละความเข้มข้นฟีนอลที่เหลือ} = [100 \times \text{ความเข้มข้นสารละลายฟีนอลที่เหลือ}] / [\text{ความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น}]$$
2. คำนวณหาร้อยละของฟีนอลที่ถูกดูดซับ (% Adsorbed phenol)

$$\text{ร้อยละความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ} = 100 - \text{ร้อยละความเข้มข้นของฟีนอลที่เหลือ}$$
3. คำนวณหาปริมาณถ่านที่ใช้ (กรัมต่อลิตร) จาก

$$\text{ปริมาณถ่านที่ใช้ (g/l)} = [1000 \times \text{น้ำหนักถ่านที่ชั่ง (g)}] / [\text{ปริมาตรของสารละลายฟีนอลที่ใช้}]$$
4. คำนวณหาค่า X/M ในแต่ละปริมาณถ่านที่ใช้
5. เขียนกราฟระหว่าง ร้อยละของสารละลายฟีนอลที่เหลือ กับค่า X/M โดยใช้เป็นลอการิทึม จะได้กราฟเส้นตรงที่ผ่านจุดต่างๆ
6. หาค่า X/M ที่เปอร์เซ็นต์ ของสารละลายฟีนอลที่เหลือเท่ากับ 10 จากไอโซเทอมที่ได้เพื่อใช้คำนวณค่าฟีนอล โดยสามารถคำนวณได้จาก

ค่าฟีนอล = $[90] / [\text{ค่า X/M ที่ร้อยละ 10 ของฟีนอลที่เหลือ}] \times [(100 - \text{ร้อยละความชื้น}) / 100]$



ภาพที่ 11 การวิเคราะห์ปริมาณการดูดซับฟีนอลโดยใช้เครื่อง Specto photometer

จากภาพที่ 11 เป็นกระบวนการในการตรวจสอบความสามารถในการดูดกลืนของ ถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะที่ผลิตได้ โดยจะใช้เครื่อง Specto photometer ทำการตรวจวัดปริมาณ สารฟีนอลที่ถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะดูดซับไว้

ข. การศึกษาค่าการดูดซับสารอินทรีย์ (COD)

1. สารละลาย digestion reagent

ละลาย $K_2Cr_2O_7$ 4.913 กรัม ซึ่งอบแห้งที่ $103^\circ C$ เป็นเวลา 2 ชม. ในน้ำกลั่น 500 มล. ค่อย ๆ เติม conc. H_2SO_4 167 มล. เติม $HgSO_4$ ลงไป 33.3 กรัม คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่ อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

2. กรด Sulfuric เข้มข้นที่ผสม $AgSO_4$ (Sulfuric Acid reagent)

ละลาย $AgSO_4$ 22 กรัมใน Conc. H_2SO_4 ซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม (2.5 ลิตร) แล้วตั้งทิ้งไว้ 1-2 วันเพื่อให้ละลาย

3. สารละลายมาตรฐาน ferrous ammonium sulfate (FAS) 0.1 N

ละลาย $Fe (NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 39 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติม conc. H_2SO_4 ลงไป 20 มล. ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนครบปริมาตร 1 ลิตร

สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลาย digestion reagent ดังนี้ คือ เติมน้ำกลั่น 10 มล. สารละลาย digestion reagent 14 มล. จากนั้นใช้ปิเปตค่อย ๆ เติม Sulfuric Acid reagent ลงไป 14 มล. ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลาย Ferrous ammonium sulfate (FAS) โดยใช้ ferroin จำนวน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลือง เป็นสีฟ้าม่วงเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ

$$\text{Normality of FAS solution} = \frac{\text{ml K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{\text{ml Fe (NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2} \times 0.10$$

4. สารละลาย ferroun อินดิเคเตอร์ วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1

วิธีการทดลอง

- ล้างหลอดทดลอง และฟาจุกด้วยกรด H_2SO_4 20 % ก่อนเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์
- ปิเปตตัวอย่างน้ำมา 10 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม digestion reagent ลงไป 6 มล.
- ค่อย ๆ เติม กรด sulfuric เข้มข้นที่ผสม AgSO_4 ลงไป 14 มล. ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นของน้ำตัวอย่างและ digestion reagent

หมายเหตุ ภายหลังการเติมกรดซัลฟูริก ให้สังเกตสีของตัวอย่างดังต่อไปนี้

- ถ้าได้สีเขียว แสดงว่าปริมาณ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ เหลืออยู่มาก ใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างน้อยเกินไป ต้องเพิ่มปริมาณน้ำตัวอย่างอีก
- ถ้าได้สีเขียวอมเหลือง แสดงว่าปริมาณน้ำตัวอย่างเหมาะสม สามารถนำตัวอย่างไปรีฟลักซ์ได้
- ถ้าได้สีเขียวอมฟ้า แสดงว่าปริมาณน้ำตัวอย่างมากเกินไป ต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นน้อยกว่านี้. โดยจะใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำตัวอย่าง : น้ำกลั่น เท่าไหร่ก็ได้ แต่ผลรวมของปริมาตรน้ำตัวอย่างต้องเท่ากับ 10 มล.

4. ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลาย ๆ ครั้งอย่างทั่วถึงก่อนจะนำตัวอย่างไปรีฟลักซ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมอยู่ที่ก้นหลอดซึ่งอาจแตกได้ในขณะที่ทำการรีฟลักซ์ให้ทำ blank โดยใช้ น้ำกลั่น แทนน้ำตัวอย่างด้วยวิธีการทดลองเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ประมาณ 1-2 หลอด

5. นำหลอดแก้วทั้งหมดที่ใส่น้ำตัวอย่างและ Blank วางบนที่ตั้งหลอดทดลอง แล้วเข้าเตาอบที่ทำให้อุณหภูมิสูงถึง $150 \pm 2^\circ\text{C}$ ก่อนหน้านี้อแล้ว เมื่อครบเวลา 2 ชม. ให้นำตัวอย่างออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งเย็น

6. เทตัวอย่างจากหลอดใส่ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วไทเทรตกับสารละลาย FAS จนกระทั่งถึงจุดยุติ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ อ่านปริมาตรที่ไทเทรตตอนเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดงทันที



[1] ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้

[2] ถ่านกัมมันต์ทางการค้า

ภาพที่ 12 การศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

จากภาพที่ 3.9 เป็นการศึกษาการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยจะทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์กับถ่านกัมมันต์ทางการค้า โดยรูปที่ [1] นั้นเป็นถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ส่วนรูปที่ [2] เป็นถ่านกัมมันต์ทางการค้า

ณ. การศึกษาค่าการดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ (อภิชัย, 2545)

สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

1. สารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ ชั่งฟีนอล์ฟทาไลน์ น้หนัก 0.5 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 50 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นที่ต้มกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว 50 มล. จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.0454 N ที่ละหยดจนเกิดสีชมพูอ่อน ซึ่งแสดงว่าไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลืออยู่

2. ชั่ง โซเดียมคาร์บอเนต น้หนัก 2.407 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ต้มกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มล. แล้วที่ตู้อบใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชม. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

วิธีการวิเคราะห์

1. เก็บตัวอย่างน้ำโดยไม่ให้ตัวอย่างน้ำสัมผัสกับอากาศ โดยใช้ขวด BOD และควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือภายในเวลาไม่เกิน 2 – 3 ชม. หลังจากเก็บตัวอย่าง
2. ใช้สายยางดูดตัวอย่างน้ำจากขวด BOD ใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 100 มล. โดยปล่อยให้ตัวอย่างน้ำล้นออกประมาณ 50 – 75 มล. แล้วใช้ปิเปตหรือหลอดหยด ดูดส่วนที่เกินออกให้ได้ปริมาตรคงเหลือ 100 มล.
3. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลงไปในตัวอย่งน้ำ 4 – 5 หยด ถ้าตัวอย่างน้ำ เปลี่ยนเป็นสีชมพูแสดงว่ามีค่า pH มากกว่า 8.34 ซึ่งไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ แต่ถ้าตัวอย่างน้ำไม่เปลี่ยนสีแสดงว่ายังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต้องรีบทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.0454 *N* ขณะไทเทรตใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างน้ำเบา ๆ จนกระทั่งตัวอย่างน้ำเปลี่ยนเป็นสีชมพู (จุดยุติ) บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไทเทรต
4. ตรวจสอบความถูกต้องโดยการทำซ้ำเหมือนเดิม แต่ทำการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาน้อยที่สุด เพื่อลดความผิดพลาดจากการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตัวอย่างน้ำ

คำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

$$\text{ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มก./ล.)} = \frac{(V_1) \times (N) \times (22) \times (1,000)}{V_2}$$

V_1 หมายถึง ปริมาตรของโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไทเทรต (มล.)

V_2 หมายถึง ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ (100 มล.)

N หมายถึง ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนต (0.0454 *N*)



ภาพที่ 13 การศึกษาการดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ

3.4 กระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้จากลำไยตากเกรด



[1] การอัดแท่งลำไย



[2] การตากแท่งลำไย



[3] การเผาแท่งลำไย



[4] การเผาแท่งลำไย

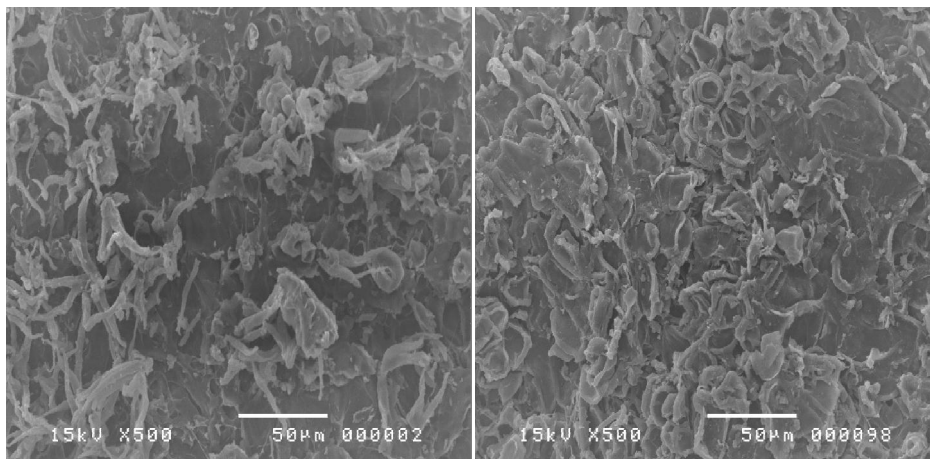
ภาพที่ 14 การผลิตน้ำส้มควันไม้จากลำไยตากเกรด

จากภาพที่ 14 เป็นกระบวนการผลิตน้ำส้มควันไม้จากลำไยตากเกรดอัดแท่ง โดยจะทำการเผาในเตาเผาซึ่งจะใช้ถังขนาด 150 ลิตร สำหรับบรรจุลำไยอัดแท่ง โดยจะใช้เวลาในการเก็บน้ำส้มควันไม้ประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง จากนั้นจะนำไปทำการกลั่นให้บริสุทธิ์ต่อไป โดยรูปที่ [1] เป็นการอัดแท่งลำไย รูปที่ [2] เป็นการนำแท่งลำไยที่ได้ไปทำการตากให้แห้งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง รูปที่ [3] และ [4] เป็นการเผาแท่งลำไยเพื่อเก็บเอาน้ำส้มควันไม้

ผลการวิจัย

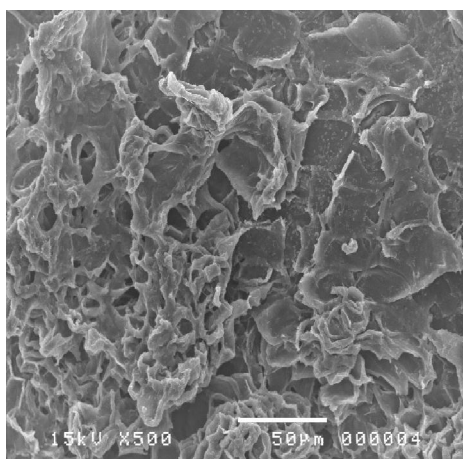
ผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 การผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยทั้งลูก



พื้นผิวธรรมชาติของผิวเปลือกลำไย

พื้นผิวธรรมชาติที่ผ่านการอบไอน้ำ



ผิวธรรมชาติแซงซ์คลอไรด์ + อบไอน้ำ

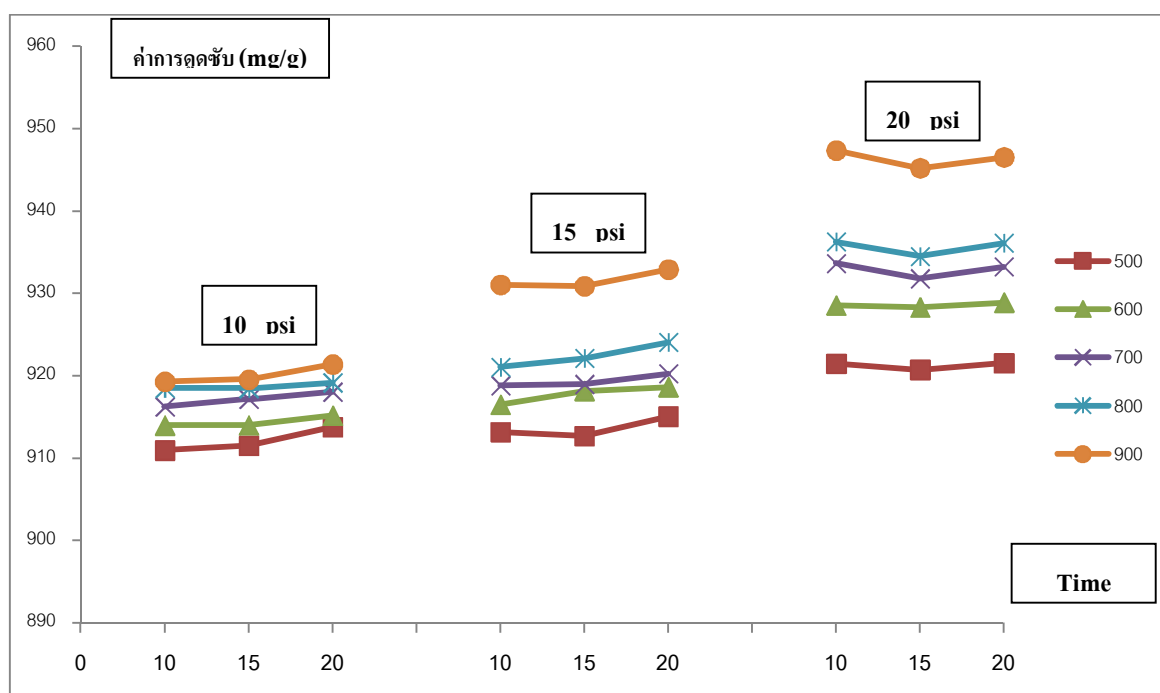
ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบพื้นผิวของเปลือกลำไยในสถานะต่างๆ

จากภาพที่ 15 พบว่า ลักษณะทั่วไปของพื้นผิวเปลือกลำไยนั้น ในสถานะปกติจะมีลักษณะขรุขระเป็นเส้น นูน ต่ำ ไม่เท่ากัน แต่เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่า มีความพรุนเพิ่มขึ้น ตามแรงดันไอน้ำที่ได้รับ และเมื่อมีการกระตุ้นด้วยแซงซ์คลอไรด์ พบว่า ความพรุนเพิ่มขึ้นมากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำ ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของการผลิตถ่านกัมมันต์

จากภาพที่ 16 การกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ความดัน 10 15 และ 20 psi ณ ช่วงเวลา 10 ถึง 20 นาที ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับไอโอดีนกับระยะเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นมีค่าแตกต่างกันเป็นอย่างมาก โดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่เพิ่มมากขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดซับ ค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุดจะอยู่ที่ความดัน 20 psi ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 946 – 948

mg/g รองลงมาที่ความดัน 15 psi ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซับจะอยู่ในช่วง 936 – 937 mg/g และอันดับสุดท้าย คือที่ความดัน 10 psi ณ อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส โดยจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนต่ำที่สุด คือจะอยู่ในช่วง 922 – 923 mg/g ซึ่งถ้าจะสังเกตจะพบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนนั้นจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและความดันที่สูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ที่กล่าวไว้ว่าค่าการดูดซับไอโอดีนไม่น้อยกว่า 600 mg/g ซึ่งแสดงว่าถ่านกัมมันต์จากลำไยทั้งลูกนั้นมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

หมายเหตุ ค่าการดูดซับไอโอดีนหมายถึง ค่าความสามารถในการดูดซับสารที่มีโมเลกุลใหญ่กว่า 28 วัตตอมของถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดซับไอโอดีนกับเวลา ณ อุณหภูมิและความดันต่างๆ

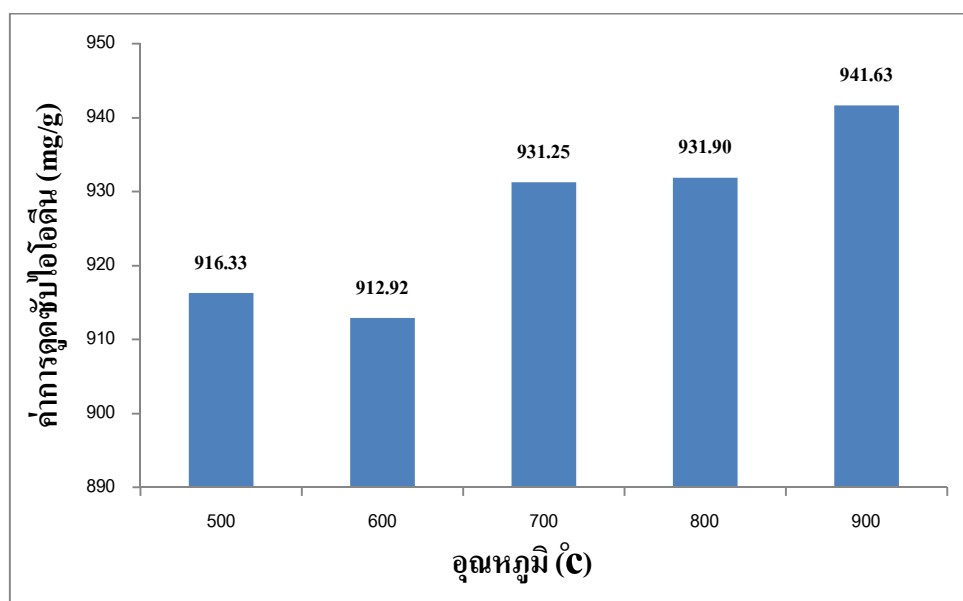
4.1.2 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

ค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ที่ความเข้มข้น 25 % และระยะเวลาในการกระตุ้น 24 ชั่วโมง โดยค่าการดูดซับไอโอดีนเพิ่มมากขึ้นประมาณร้อยละ 4.5 - 6 เมื่อเทียบกับถ่านที่ไม่ถูกกระตุ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์การดูดซับไอโอดีนที่เพิ่มขึ้นสูงสุด คือ 5.87%, 5.59%, 5.26%, 5.02% และ 4.65% ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าการดูดซับไอโอดีนที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

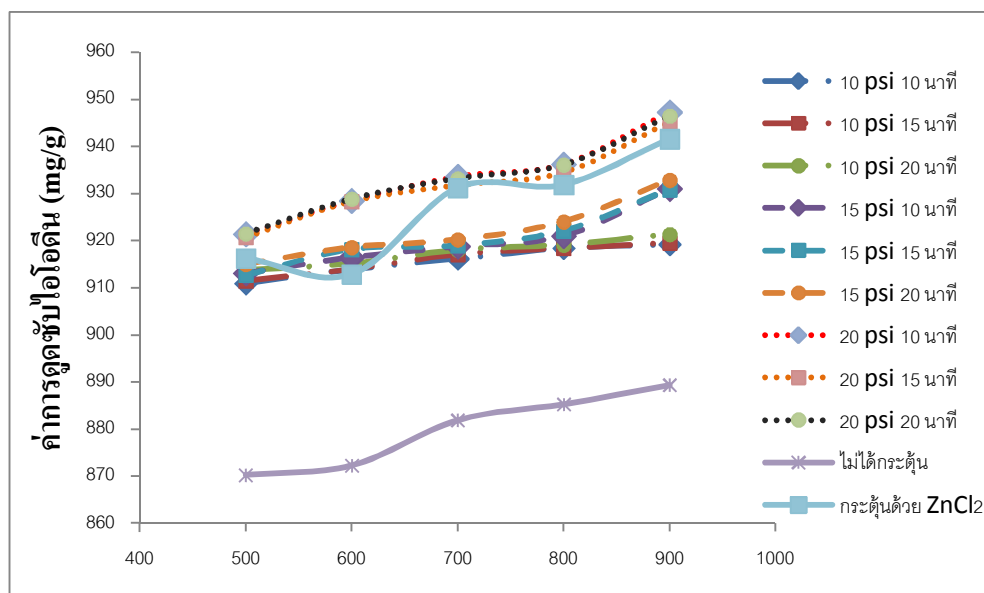
อุณหภูมิ (°C)	ไม่กระตุ้น (mg/g)	ครั้งที่ 1 (mg/g)	ครั้งที่ 2 (mg/g)	ครั้งที่ 3 (mg/g)	เฉลี่ย (mg/g)	% การเพิ่มขึ้น
500	870.30	908.54	921.68	918.76	916.33	5.02 %
600	872.31	901.24	917.30	920.22	912.92	4.65 %
700	881.92	940.16	917.30	936.28	931.25	5.59 %
800	885.31	917.30	928.98	949.42	931.90	5.26 %
900	889.40	918.76	940.66	965.47	941.63	5.87 %

จากภาพที่ 17 พบว่า ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส นั้นจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงสุด คือ 941.63 mg/g รองลงมา คือ ที่อุณหภูมิ 800, 700, 600 และ 500 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 931.90, 931.25, 912.92 และ 916.33 mg/g ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์นั้น มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดซับไอโอดีนในระดับหนึ่ง



ภาพที่ 17 ค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยที่อุณหภูมิต่างๆที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ (ZnCl₂)

จากภาพที่ 18 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ถูกกระตุ้นด้วยไอน้ำและสารเคมี คือซิงค์คลอไรด์นั้น จะมีค่าในการดูดซับไอโอดีนต่ำที่สุด คือ 870 - 890 mg/g และถ่านกัมมันต์ที่ได้รับการกระตุ้นจากไอน้ำและซิงค์คลอไรด์นั้น พบว่า จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ 915 - 940 mg/g ซึ่งทำให้เห็นความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดว่าการกระตุ้นถ่านกัมมันต์จากผลลไยนั้น ถ้าต้องการให้มีค่าการดูดซับสารที่มีโมเลกุลใหญ่กว่า 28 อังสตรอมนั้น จะต้องทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำหรือสารเคมี ชนิดซิงค์คลอไรด์



ภาพที่ 18 ภาพรวมของผลการทดลองที่มีการกระตุ้นด้วยไอน้ำและกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์

จากการศึกษาถึงคุณลักษณะที่ดีของถ่านกัมมันต์นั้น ควรจะต้องมีค่าการดูดซับไอโอดีนที่สูงกว่า 1,000 ฉะนั้น ในกระบวนการศึกษาจึงมีการศึกษาเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ที่สามารถจะบ่งบอกได้ว่า ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านแล้วนั้น ค่าการดูดซับไอโอดีนจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในระดับใด ดังรายละเอียดในกระบวนการทดลองในขั้นตอนที่ 2

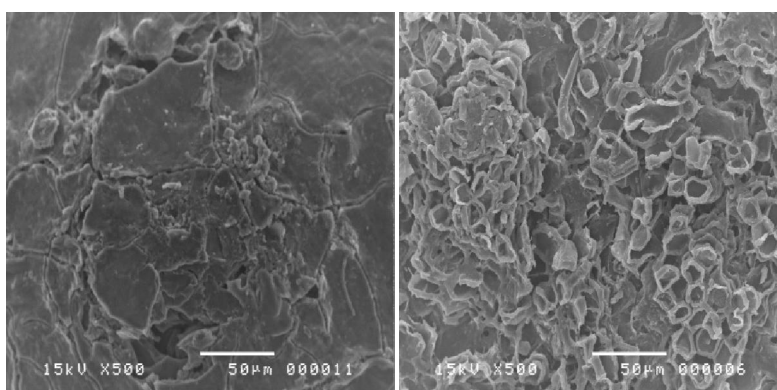
ขั้นตอนที่ 2 การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไยอัดแท่ง

ตารางที่ 6 สภาวะในการทดลองผลิตถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากถ่านไยตกเกรด

สภาวะที่	แป้ง : ถ่านไย : แกลบ	การเผา	สภาวะในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ	เวลาในการแช่กรดฟอสฟอริก 85%
1	1:8:1	T=350, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
2	1:8:1	T=350, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
3	2:6:2	T=370, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
4	2:6:2	T=370, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
5	1:6:3	T=390, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
6	1:6:3	T=390, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12
7	2:5:3	T=420, t=10	P = 10 psi, t = 40 min	4
8	2:5:3	T=420, t=20	P = 12 psi, t = 20 min	12

หมายเหตุ Flow rate of steam = 5 ลิตรต่อนาที, Velocity of steam = 30 m/s

จากตารางที่ 6 พบว่า มวลของถ่านที่ผลิตได้จากการทดลองเบื้องต้นนั้น จะมีลักษณะเป็นมวลเบา ซึ่งกระบวนการออกแบบการทดลองนั้น จะต้องมีการนำไปแปรรูป โดยการอัดเป็นแท่ง เพื่อป้องกันการเผาไหม้จนเป็นถ่าน เพราะเป็นถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลที่มีการปั่นบดละเอียด เมื่อนำมาเผาเตาเผาที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 300 องศาเซลเซียส จะเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพไม่ตรงตามต้องการ ทั้งในด้านการใช้งานและทดลอง ดังนั้น จึงมีการออกแบบกระบวนการทดลองดังตารางที่ 4.2 เพื่อควบคุมในเรื่องของ การเผาไหม้ที่สูง โดยคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ดีจะต้องมีปริมาณของรูพรุนที่สูง ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก

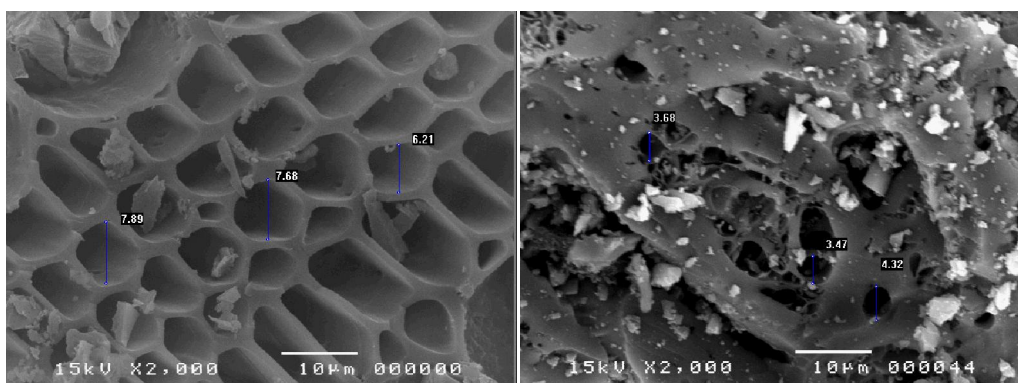


แช่กรด H_3PO_4 85%

แช่กรด H_3PO_4 85% + อปน้ำ

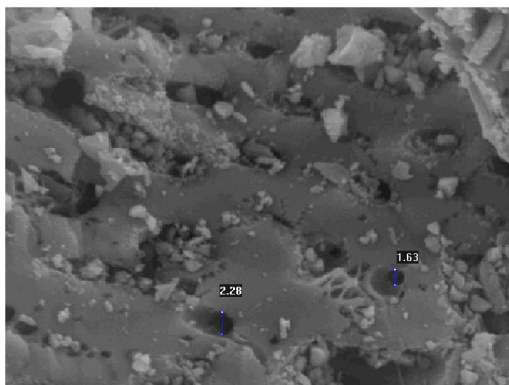
ภาพที่ 19 พื้นผิวถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดที่ผลิตได้

จากภาพที่ 19 พบว่า ลักษณะของพื้นผิวเม็ดถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดที่ผ่านการแช่กรดนั้น จะมีลักษณะที่แตกกระแหงเป็นแผ่นๆ ไม่เป็นระเบียบ แต่เมื่อนำมากระตุ้นด้วยไอน้ำ พบว่า จะมีลักษณะของความเป็นรูพรุนมากขึ้น ตามแรงดันของไอน้ำจากการทดลอง



พื้นผิวถ่านไม้ลำไย

พื้นผิวเม็ดถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด



พื้นผิวถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ภาพที่ 20 เปรียบเทียบลักษณะและขนาดของรูพรุนของพื้นผิวถ่านชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

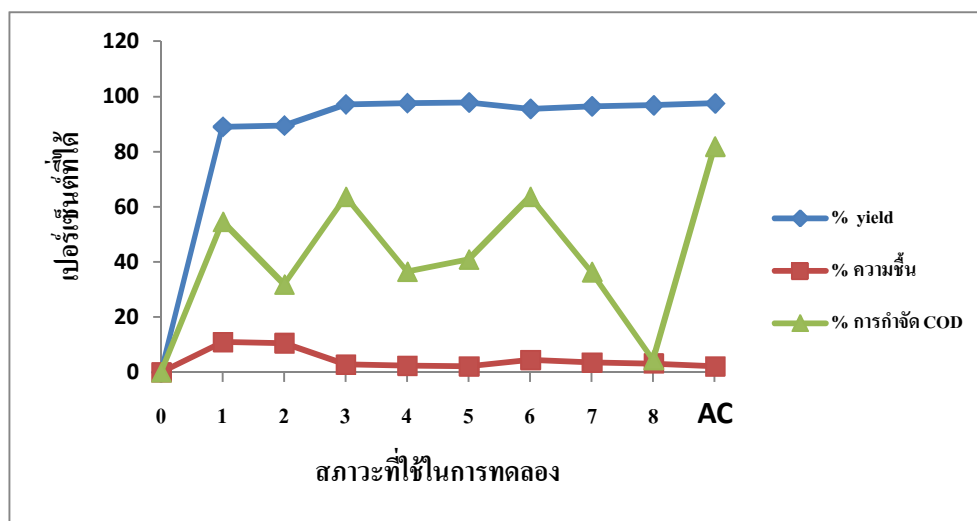
ชนิด	พื้นที่ผิว (m^2 / g)	ปริมาตรของรูพรุน (cm^3 / g)
ถ่านไม้ลำไย	1,225	0.62
ถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรด	1,240	0.55
ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว	1,255	0.52

จากภาพที่ 20 พบว่า พื้นผิวของถ่านไม้ลำไยนั้นจะมีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ โดยมีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 7.26 micrometer ในส่วนของพื้นผิวเม็ดถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดมีการเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ โดยมีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 3.82 micrometer และในส่วนของพื้นผิวถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว มีการเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ เช่นเดียวกันกับพื้นผิวเม็ดถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรด โดยมีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 1.95 micrometer

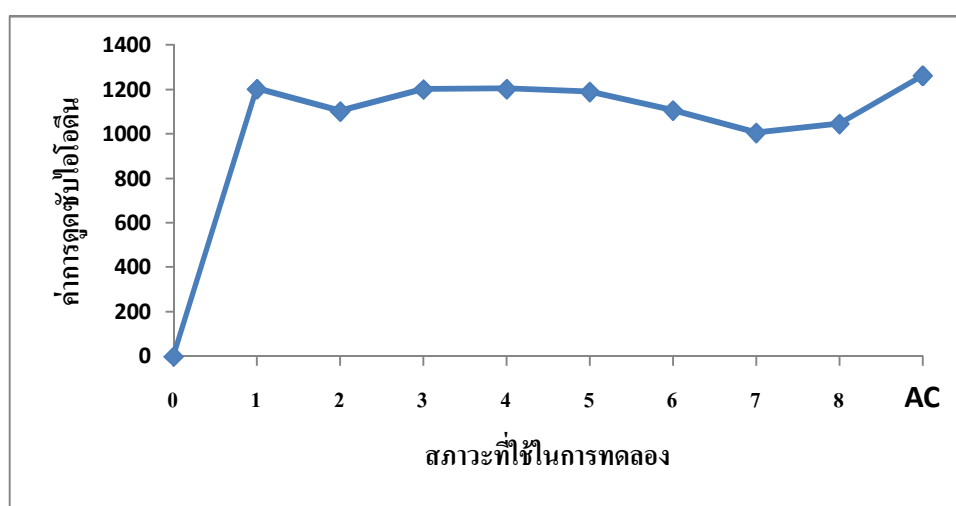
จากภาพที่ 21 พบว่าเปอร์เซ็นต์ Yield ถ่านกัมมันต์ลำไยอัดแท่งนั้น สภาวะในการทดลองที่ 3 4 และ 5 นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เปอร์เซ็นต์ Yield ที่ต่ำสุดนั้นจะอยู่ในส่วนของสภาวะที่ 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบ % Yield สูงสุดระหว่างถ่านกัมมันต์ลำไยอัดแท่งกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันที่ 97.82 และ 97.5% ตามลำดับ (เปอร์เซ็นต์ Yield หมายถึง ร้อยละผลได้ของถ่านที่เกิดขึ้นจากการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ของการทดลอง) ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ความชื้น สภาวะการทดลองที่ 3 4 และ 5 มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว พบว่า มีค่าที่ระดับ 2.81, 2.44, 2.18 และ 2.18% ตามลำดับ โดยในส่วนของสภาวะที่ 1 นั้นมีค่าความชื้นเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ โดยมีค่าความชื้นอยู่ที่ 10.99 % และเมื่อนำมาทำการวัดความสามารถในการกำจัดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ โดยทำการวัดในรูปแบบของค่า COD พบว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวทางการค้า มีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำได้ถึง 81.81% โดยเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์จากลำไยอัดแท่งแล้ว พบว่า สภาวะที่มีความสามารถในการ

การดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงที่สุด คือ สภาวะที่ 6 และ สภาวะที่ 3 รองลงมา คือ สภาวะที่ 1 5 4 7 และ 2 ตามลำดับ โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 63.63, 63.63, 54.54, 40.9, 36.47, 36.36 และ 31.81% ตามลำดับ โดยสภาวะที่มีความสามารถในการดูดซับปริมาณสารอินทรีย์ต่ำที่สุด คือ สภาวะที่ 8 โดยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 4.55 %

หมายเหตุ มาตรฐานอุตสาหกรรม เปอร์เซ็นต์ความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8

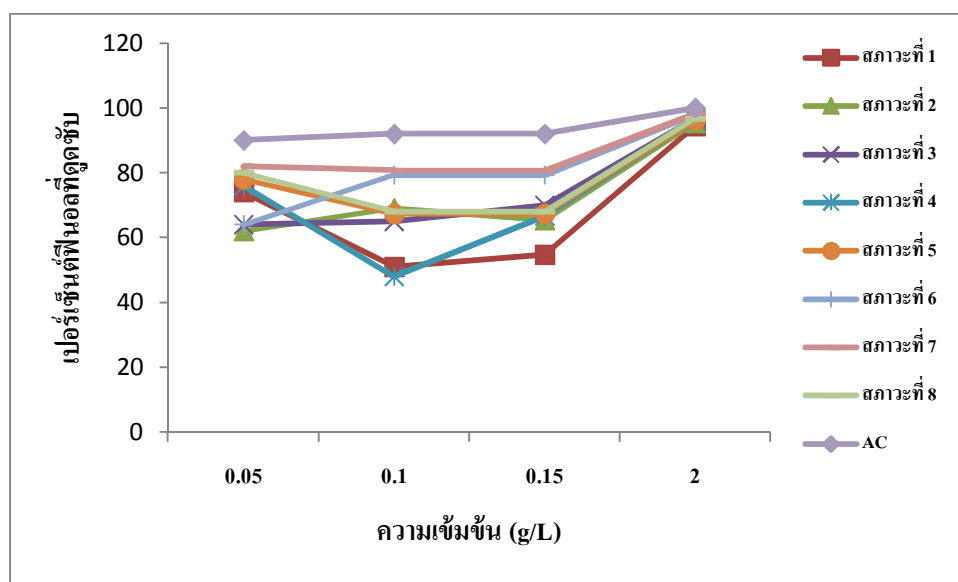


ภาพที่ 21 คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลำไยตกเกรด ณ สภาวะการทดลองดังตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)



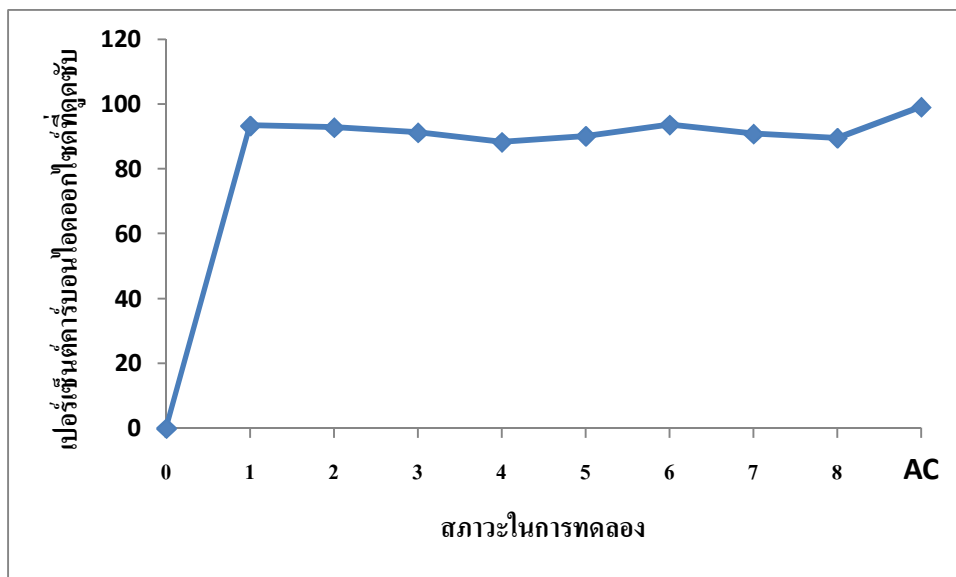
ภาพที่ 22 ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลำไยตกเกรด ณ สภาวะการทดลองดังตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)

จากภาพที่ 22 พบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว มีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุด คือที่ระดับ 1,263.7 รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลำไยตกเกรด ณ สภาวะที่ 4, 1 และ 3 ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 1,203.7, 1,203.6 และ 1,202.2 ตามลำดับ โดยสภาวะที่ 7 ของการทดลองนั้นจะมีค่าการดูดซับไอโอดีนน้อยที่สุด คือ ที่ระดับ 1,006.8 โดยภาพรวมแล้ว ถ้าวัดค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์อัดแท่งจากลำไยตกเกรด มีค่าอยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนด และมีค่าสูงกว่าการที่นำลำไยทั้งลูกมาทำการทดลอง



ภาพที่ 23 ความสามารถในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ ณ ความเข้มข้น 2 g/L ณ สภาวะการทดลองดังตารางที่ 3.2 (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)

จากภาพที่ 23 พบว่า ความสามารถในการดูดซับฟีนอลของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว จะมีค่าการดูดซับที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ โดยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวนั้น ณ ความเข้มข้นที่ 0.05 g/L มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับฟีนอลที่เกิน 90 % ในขณะที่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นั้นยังอยู่ในช่วง 50 – 80 % โดยประมาณ ซึ่งแสดงว่าความสามารถในการดูดซับกลืน 90 % ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวจะเริ่มที่ความเข้มข้น 0.05 g/L และความสามารถในการดูดซับกลืน 90 % ของถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด จะต้องเริ่มที่ ความเข้มข้น 2 g/L



ภาพที่ 24 ความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ณ สภาวะการทดลองดังตารางที่ 3.2 (โดย AC คือ Activated Carbon from Bituminous Coal)

จากภาพที่ 24 พบว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำได้สูงกว่าถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดที่ผลิตได้ โดยมีค่าการดูดซับที่ระดับ 99.15% ในส่วนถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดที่ผลิตได้ มีค่าการดูดซับสูงสุด คือ 93.67% ณ สภาวะการทดลองที่ 6 รองลงมาคือ 93.38 ณ สภาวะการทดลองที่ 1 และสภาวะที่มีการดูดซับต่ำที่สุด คือ สภาวะการทดลองที่ 4 คือ 88.64 % เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่นำมาทดลองนั้น มีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดที่ผลิตได้ทุกสภาวะการทดลอง

4.1.4 ขั้นตอนที่ 3 การผลิตน้ำส้มควันไม้จากลำไยตากเกรดอัดแท่ง



ภาพที่ 25 ลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากลำไยตากเกรดอัดแท่ง

ใช้ลำไยอัดแท่งจำนวน 10 กก. จะได้น้ำส้มควันไม้ปริมาณ 1.25 ลิตร ซึ่งมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.3 ซึ่งทางกายภาพมีสีเหลืองขุ่นและมีกลิ่นของควันเล็กน้อย ไม่แยกชั้น ไม่มีตะกอนหรือสารแขวนลอย โดยมีน้ำประมาณ 85% และมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.012-1.024

4.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดนั้น มีปัจจัยหลายอย่างที่เข้ามาเกี่ยวข้องในเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังตารางที่ 8 ซึ่งเมื่อคิดที่ต้นทุนคงที่แล้วจะเท่ากับ 311,000 บาท และต้นทุนผันแปรจะเท่ากับ 184,800 บาทต่อปี

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในส่วนของต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร

ลำดับที่	ต้นทุนคงที่	ต้นทุนผันแปร
1	ค่าสารเคมีในการตรวจสอบ ราคา 20,000 บาท (ใช้ได้หลายครั้ง)	ค่าไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า 5,000 บาท / เดือน
2	หม้อความดันไอน้ำ 3 ชุด ราคา 36,000 บาท	ค่าเชื้อเพลิง LPG (ในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ) 2,000 บาท
3	เตาเผาไฟฟ้า 3 ตัว ราคา 135,000 บาท	ค่าแรง คนงาน จำนวน 3 คน วันละ 200 บาท เป็นเวลา 14 วัน เท่ากับ 8,400 บาท
4	เครื่องอัดแท่งลำไย 3 แรงม้า จำนวน 3 เครื่อง ราคา 90,000 บาท	-
5	ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ 5 ชุด ราคา 10,000 บาท	-
6	เครื่องคัดขนาดเม็ดถ่าน 1 เครื่อง ราคา 20,000 บาท	-
รวม / เดือน	-	15,400 บาท / เดือน
รวม / ปี	311,000 บาท	184,800 บาท / ปี

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในส่วนของการกำไรต่อปีและการคืนทุน

น้ำหนัก วัตถุดิบ กก. / เดือน	ปริมาณถ่าน กัมมันต์ที่ผลิตได้ กก. / เดือน	ต้นทุน วัตถุดิบ (บาท/กก.)	ราคาขายต่อ กิโลกรัม (บาท/กก.)	การผลิตได้ (กก.)/ปี	จุดคุ้มทุนใน การผลิต (กก.)/ปี	ยอดขาย ณ จุดคุ้มทุน (บาท)	กำไร/ปี (บาท)	คืนทุนจริง (ปี)
1,000	920	16.74	93	11,040	4,078.11	379,263.97	647,456.03	0.480

จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด ดังตาราง 9 พบว่า ในกระบวนการผลิตจากกากลำไย 1 ตัน/เดือน จะนำเข้าสู่กระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชัน (Carbonization) ซึ่งจะได้ถ่านที่น้ำหนัก 920 กก. /เดือน และได้ถ่าน 11,040 ตันต่อปี ทำการขายที่กิโลกรัมละ 93 บาท โดยมีต้นทุนวัตถุดิบเท่ากับ 16.74 บาท ซึ่งจุดคุ้มทุนในการผลิตอยู่ที่ 4,078.11 กก./ปี โดยมียอดขาย ณ จุดคุ้มทุนที่ 379,263.97 บาท มีกำไรต่อปีและการคืนทุนจริงเท่ากับ 647,456.03 บาท และ 0.48 ปี ตามลำดับ

โดยตามท้องตลาดแล้วถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าวราคาจะอยู่ที่ 120 บาทต่อกิโลกรัม นับได้ว่าถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าจากกะลามะพร้าวถึง 27 บาทต่อกิโลกรัม โดยคุณภาพในด้านต่างๆที่กล่าวมาก็ใกล้เคียงกัน ซึ่งในอนาคตถ่านกัมมันต์ทั้ง 2 ชนิดน่าจะมีคุณภาพที่ทัดเทียมกันได้แต่ราคาของถ่านกัมมันต์อาจจะมีราคาที่ถูกลงกว่าก็อาจจะเป็นได้

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการทดลองกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตากเกรดโดยใช้ลักษณะของการเผาทั้งลูกนั้น มีทั้งการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิต่างๆ รวมทั้งยังใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นสารเคมีในการกระตุ้น พบว่า ให้ค่า Iodine number สูงสุดเท่ากับ 941.63 ซึ่งจากกระบวนการผลิตเอทานอลนั้นเหลือกากในลักษณะบดหยาบ ซึ่งถ้านำเข้าเตาเผาอุณหภูมิสูงจะทำให้ไหม้กลายเป็นเถ้า จึงต้องมีวิธีการที่จะทำให้ไม่เกิดการกลายเป็นเถ้า ดังนั้นจึงได้นำมาซึ่งกระบวนการอัดแท่งและทำการเปลี่ยนสารเคมีในการกระตุ้นมาเป็นกรดฟอสฟอริก เพราะมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนที่ดีกว่าค่าซิงค์คลอไรด์ โดยได้ทำการออกแบบสภาวะการทดลองดังตารางที่ 4.2 โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า และทำการตรวจสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆ ดังนี้ คือ % Yield, % ความชื้น, ค่า Iodine number, % การดูดซับสารอินทรีย์, % การดูดซับฟีนอล และ % การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพบว่า ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีคุณสมบัติที่สูงกว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะที่ผลิตได้ ดังตารางที่ 10 โดยอาจเป็นเพราะว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้านั้นทำมาจากกะลามะพร้าว ซึ่งมีความหนาแน่นของมวลที่สูง แต่ถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นมวลเบาและความหนาแน่นของมวลนั้นน้อย ประสิทธิภาพในการดูดซับจึงต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า โดยในส่วนของ % Yield ถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะมีค่า % Yield อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ในส่วนของ % ความชื้นจะอยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนด ยกเว้นสภาวะที่ 1 และ 2 ซึ่งมี % ความชื้นเท่ากับ 10.99 และ 10.57 % ในส่วนของค่า Iodine number พบว่ามีค่าสูงกว่า 1,000 ทุกสภาวะการทดลอง โดยถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีค่า Iodine number สูงที่สุด ซึ่งเท่ากับ 1,263.7 ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะ มีค่า Iodine number สูงกว่าถ่านกัมมันต์ในขั้นตอนที่ 1 ที่ผลิตจากลำไยทั้งลูก โดยทั้ง 8 สภาวะจะมีค่า Iodine number อยู่ในช่วง 1,006.8 - 1,203.7 ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากกระบวนการคาร์บอนไนเซชันที่เป็นการให้ความร้อนกับแท่งลำไย โครงสร้างภายในจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นระเบียบ และเกิดรูพรุนขึ้น ซึ่งยังมีจำนวนของรูพรุนน้อยอยู่ จึงต้องทำการกระตุ้นด้วยไอน้ำและกรดฟอสฟอริก โดยจำนวนของรูพรุนและขนาดจะขึ้นอยู่กับกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำและสารเคมี โดยความเร็วและความแรงของไอน้ำจะเข้าไปกระทบกับพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ (พัชร, 2543) ทำให้เกิดจำนวนของรูพรุนที่เพิ่มสูงขึ้นในทางเดียวกันการกระตุ้นด้วยสารเคมีโดยใช้กรดฟอสฟอริกนั้น พบว่า ความเป็นกรดเข้มข้น (H^+) จะมีผลให้พื้นผิวของถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะ ถูกกัดกร่อน ซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดและจำนวนของรูพรุนอีกทางด้วย โดยจากการทดลองพบว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะจะมีค่า Iodine number ที่ใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า อาจเป็นผลมาจากการทดลองใช้ตัวกระตุ้นทางเคมีที่มีความเข้มข้นสูง

คือ 85 % เพื่อเร่งปฏิกิริยาการกัดกร่อนพื้นผิว โดยอาจกล่าวได้ว่าถ่านกัมมันต์ทั้ง 8 สภาวะและถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับสารที่มีโมเลกุลใหญ่กว่า 10^{-8} cm. ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะแล้วขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรดจะเท่ากับ 3.82 micrometer และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ทางการค้า(จากกะลามะพร้าว)จะเท่ากับ 1.95 micrometer

ตารางที่ 10 คุณสมบัติต่างๆของถ่านกัมมันต์ทางการค้าและถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด

สภาวะที่	% Yield	% ความชื้น	ค่า Iodine number	% การดูดซับสารอินทรีย์	% การดูดซับฟีนอล	% การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์
1	89.01	10.99	1,203.6	54.54	94.5	93.38
2	89.43	10.57	1,103.1	31.81	95.45	92.8
3	97.19	2.81	1,202.2	63.63	96.85	91.22
4	97.56	2.44	1,203.7	36.47	96.25	88.34
5	97.82	2.18	1,191.1	40.9	96.3	90.18
6	95.52	4.48	1,107.3	63.63	97.95	93.67
7	96.44	3.56	1,006.8	36.36	98.15	90.82
8	96.78	3.22	1,046.9	4.55	96.75	89.6
AC	97.5	2.18	1,263.7	81.81	100	99.15

ในส่วนของการดูดซับกลิ่น ซึ่งจะทำให้การตรวจคุณสมบัติโดยวัดจากการดูดซับฟีนอลนั้น พบว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับกลิ่นได้ถึง 100 % โดยในส่วน of ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะนั้นจะมีความสามารถในการดูดซับกลิ่นที่ต่ำกว่า โดยอยู่ในช่วง 94.5 – 98.15 % อาจเกิดจากสารเคมีที่ใช้ซึ่งเป็นความลับของบริษัทผู้ผลิต โดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะนั้น ขนาดและจำนวนของรูพรุน นั้นมีผลต่อการดูดซับกลิ่นอย่างแน่นอน สอดคล้องกับปริญทร (2551) กล่าวว่าจำนวนของรูพรุนนั้นมีผลต่อปริมาณและความสามารถในการดูดซับอนุภาคต่างๆ ซึ่งจากการที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ถ้าค่า Iodine number ยิ่งสูง แสดงถึงความสามารถในการดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า 28 อังสตรอม หรือ 10^{-8} cm. ได้เป็นอย่างดี แสดงว่าอนุภาคในอากาศที่ลอยลอยและส่งผลให้เกิดกลิ่นนั้น สามารถที่จะถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะได้เป็นอย่างดี ด้วยการแลกเปลี่ยนประจุซึ่งกันและกัน หรือโมเลกุลของแก๊สที่มีขั้วกับพื้นผิวที่ไม่มีขั้ว (พัชร, 2543) ทั้งนี้ปัจจัยหลักที่ไม่อาจควบคุมประสิทธิภาพในการดูดซับได้ก็คือชนิดของอนุภาคในอากาศและอุณหภูมิ ณ เวลาการดูดซับ โดยถ้ามีอุณหภูมิที่สูงประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดลง

ในส่วนของการดูดซับสารอินทรีย์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับอยู่ที่ระดับ 81.81 % และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาวะนั้น มีความสามารถในการดูดซับอยู่ในช่วง 4.55 – 63.63 % ซึ่งต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้า ทั้งนี้เป็นเพราะในกระบวนการใช้ถ่านทั้ง 8 สภาวจะเป็นตัวกรอง พบว่ามีลักษณะเป็นมวลเบาลอยน้ำ แต่ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความหนาแน่นของมวลที่สูง จึงสามารถที่จะดูดซับได้ดีกว่า ซึ่งเมื่อพิจารณา พบว่าในน้ำเสียที่นำมาทดลองนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำหลายชนิดที่ไม่อาจควบคุมได้ ซึ่งอาจมีอนุภาคที่ใหญ่เกินกว่า 10^{-8} cm ส่งผลให้ไม่สามารถที่จะถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาว และ การแลกเปลี่ยนประจุระหว่างอนุภาคที่มีความหลากหลายกับพื้นที่ผิวอาจจะมีประสิทธิภาพลดลงในระดับหนึ่ง

ในส่วนของการดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ ถ่านกัมมันต์ทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับสูงถึง 99.15 % และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีความสามารถในการดูดซับอยู่ที่ระดับ 88.34 – 93.67 % ซึ่งต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ทางการค้าอย่างเห็นได้ชัด อาจจะเป็นผลมาจากการคาร์บอนไนซ์เซชันที่อุณหภูมิ 200 – 400 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ที่มีความเป็นกรดบนผิวหน้าของถ่านกัมมันต์ (พัชร, 2543) โดยจะแสดงคุณสมบัติของกรด เมื่ออยู่ในสารละลาย หมู่ฟังก์ชันนี้จะพบในถ่านกัมมันต์ชนิดแอล ซึ่งได้จากการเผาวัตถุดิบในอากาศ ตัวอย่างของหมู่ฟังก์ชันกลุ่มนี้ ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) หมู่ฟีนอลิกคาร์บอกซิล (Phenolic Carboxyl) หมู่ควิโนนอยด์ (Quinonoid) หมู่กรด Carboxyl Acid Group เป็นต้น ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้ง 8 สภาว เมื่อนำไปดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำซึ่งมีความเป็นกรดอยู่แล้ว อาจจะมีประสิทธิภาพที่ลดลง แต่ในส่วน of ถ่านกัมมันต์ทางการค้านั้นน่าจะมีการใช้สารเคมีที่มีความเป็นด่างในกระบวนการกระตุ้นทางเคมี และการคาร์บอนไนซ์เซชันที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ซึ่งจะปรากฏหมู่ฟังก์ชันที่มีลักษณะความเป็นด่าง ซึ่งเมื่ออยู่ในสารละลายจะสามารถดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำโดยการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกันได้เป็นอย่างดี (ปริญทร, 2551)

เมื่อพิจารณาการทดลองทั้ง 2 ขั้นตอน ตามกระบวนการที่ได้ออกแบบไว้ พบว่า การผลิตถ่านกัมมันต์จากถ้ำไยตกเกรดในลักษณะการอัดแท่งให้คุณภาพทางด้านค่า Iodine number สูงกว่าการคาร์บอนไนซ์เซชันถ้ำไยทั้งลูก โดยในกระบวนการทดลองนี้ มีความพยายามที่จะค้นหาคุณสมบัติ ที่เด่นในด้านต่างๆของถ่านกัมมันต์จากถ้ำไยตกเกรด เพื่อการต่อยอดองค์ความรู้ในอนาคต ซึ่งจากการทดลองทำให้ทราบได้ว่าถ่านกัมมันต์จากถ้ำไยตกเกรดนั้นมีความสามารถที่จะดูดกลืนและดูดซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำได้เป็นอย่างดี โดยในอนาคตอาจจะ

การพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้โดยการเปลี่ยนสารเคมีในการกระตุ้นและพัฒนาชุดกระตุ้นด้วยไอน้ำ
ให้มีประสิทธิภาพที่สูงยิ่งขึ้นไป

เอกสารอ้างอิง

- กิติโรจน์ หวันตาหลา ชยาภาส ทับทอง และสินศุภา จุ้ยจุลเจิม. 2554. การดูดซับสีย้อมผ้าด้วย ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว. วารสารวิจัย. วิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ : กรุงเทพมหานคร.
- เกสรานุกุล. 2531. รายงานการวิจัยการผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ. รายงาน ฉบับที่ 1 โครงการวิจัยที่ ภ30-14. โครงการวิจัยและพัฒนาดินพรุเพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรม. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร.
- พุดินันท์ พิงญาดี. 2546. ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้. ชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์ และพลังงานจากไม้. ชงยุทธ โอสดสภา อรรถสิทธิ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต สงประยูร. 2551. ไม้เพื่อการเกษตร ยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- นิรนาม. 2555. Distillers Grain By – products. สืบค้นจาก. <http://www.ddgs.umn.edu>. (10 ธันวาคม, 2554)
- Ajmal, M. 2003. Adsorption studies on rice husk: removal and recovery Cd(II) from wastewater. Bioresource Technology. 86:147-149.
- จินดารัตน์ นิ่มพาณิชย์. 2546. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษวัสดุ เหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : จังหวัดเชียงใหม่.
- วิชัย ธรรมสาธิตและเกษม นัตรมณีฤกษ์. 2543. การผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่และซังข้าวโพด ด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร.
- ศิริลักษณ์ นิวิฐจรรยงค์. 2547. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันด้วยวิธีกระตุ้นด้วยสารละลายสังกะสีคลอไรด์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- บุญ สวัสดิ์ชัย. 2548. การใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลสำหรับการกำจัดโครเมียมจากน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยนเรศวร: จังหวัดพิษณุโลก.
- พิศิษฐ์ อริยเดชาวิช. 2549. การผลิตและประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์จากยางล่อใช้แล้ว วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : จังหวัดเชียงใหม่.
- ลลิตา นิตินจารกุล. 2544. ความสามารถในการดูดซับฟิโวลีนในน้ำเสียสังเคราะห์โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกทุเรียนและเม็ดมะม่วงหิมพานต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพฯ.

- นิรนาม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ มอก.900-2547. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม
- จุฑามาส จิตรต์เจริญ. 2547. การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยใช้สารละลาย $ZnCl_2$. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : จังหวัดเชียงใหม่.
- เทอดธรรม เย็นสบาย และวิศิษฐ์ วังพานนท์. 2544. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซิงค์คลอไรด์ และโพแทสเซียมคลอไรด์สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว. มหาวิทยาลัยมหิดล : กรุงเทพมหานคร.
- ณิชนันท์ คำนวนสินธุ์. 2550. การผลิตแผ่นกรองอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมพ่นสีรถยนต์. พิษณุโลก มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- นิรนาม. 2553. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 1592 (พ.ศ. 2553). ประกาศสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำส้มควันไม้.
- พัชร วีระพจนานันท์. 2543. ผลของความชื้นต่อการดูดซับไอระเหยสารอินทรีย์ด้วยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี : กรุงเทพมหานคร.
- ปรินทร์ เต็มญารศิลป์. 2551. การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพมหานคร.
- Annual Book of ASTM Standards. 1998. **Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon D2866-94**. 15.01. 707-708. United State of America.
- Annual Book of ASTM Standards. 1998. **Standard Test Method for Moisture in Activated Carbon D2867-95**. 15.01. 709-711. United State of America.
- Annual Book of ASTM Standards. 1998. **Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon D4607-94**. 15.01. 755-759. United State of America.
- Annual Book of ASTM Standards. 1998. **Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon Samples D5832-95**. 15.01. 782. United State of America.
- American Water Works Association. 1995. **Standard for Activated Carbon**. AWWA B600-95. United States of America.
- Bansal, R.C., J.B. Donnet and F. Stoeckl. 1987. **Active Carbon**. New York: Marcel Dekker Inc.
- Cheremisinoff, P.N. and A.C. Morresi. 1987. Carbon adsorption application. In P.N. Cheremisinoff and F. Ellerbusch(eds.), **Carbon adsorption handbook**. Michigan: Ann Arbor Science.

- Culp, G.L. and R.L. Culp. 1974. **New Concepts in Water purification**. Newyork:VanNostrand Reinhold Company.
- Dubinin, M.M. 1966. **Chemistry and physics of Carbon**. New York: P.L. Walker Jr.(Ed.), Vol.2, M Dekker.
- Hassler, J.W. 1697. **Activated carbon**.London:Leonard Hill.
- Hsu, L.Y. and H. Teng. 2000. Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal. **Fuel Processing Technology**.64:155-166.
- Kohan, S.M. and D.M. Barkodor. 1979. Mission Analysis for Federal Fuel from Biomass Program vol IV. **Thermalchemical Conversion of Biomass to Fuels and Chemistry**, Chapter VI, Production of Oil and Char Pyrolysis of Wood, January.
- Kula, I., M. Ugurla, H. Karaoglu and A. Celik. 2008. Adsorption of Cd(II) icons from aqueous solutions using activated carbon prepared from olive stone by ZnCl_2 activation. **Bioresource Technology**. 99:492-501.
- Mattson, J.S. and H.B. Mark. 1971. **Activated carbon – surface chemistry and adsorption from solution**. Marcel Dekker.
- Mohanty, K., D. Das and M.N. Biswas. 2005. Adsorption of phenol from aqueous solutions using activated carbons prepared from Tectonagrandis sawdust by ZnCl_2 activation. **Chemical Enginerring Journal**.115:121-131.
- Namane, A., A. Mekarzie , K. Benrachedi, B.N. Belhaneche and A. Hellal. 2005. Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with ZnCl_2 and H_3PO_4 . **Journal of Hazardooous Material**. B119:189-194.
- Singh, K.P., A. Malik, S.Sinha and P. Ojha. 2007. Liquid-phase adsorption of phenols using activated carbons derived from agricultural waste material. **Journal of Hazerdous Materials**.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

1. การเผยแพร่องค์ความรู้

ในส่วนของการเผยแพร่องค์ความรู้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด พบว่าผู้เข้าร่วมรับฟังการบรรยาย ส่วนมากมีความรู้ในเรื่องของการผลิตถ่านกัมมันต์น้อยมาก ส่วนใหญ่ทราบแต่วิธีการผลิตถ่านธรรมดา โดยในการบรรยายในครั้งนี้ ส่วนใหญ่ให้ความสนใจพอสมควร



ภาพผนวกที่ 1 การบรรยายการบรรยายการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด

ในขณะนี้ทางบ้านหนองไช ตำบลป่าสัก จังหวัดลำพูน ได้มีการจัดตั้งกลุ่มผลิตสินค้าโอท็อป ซึ่งในอนาคตทางผู้นำชุมชนจะได้มีการจัดกลุ่มชาวบ้านในการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับชาวบ้านในชุมชนได้อีกทางหนึ่ง



ภาพผนวกที่ 2 การถ่ายรูปร่วมกันของผู้เข้าร่วมรับฟังการบรรยายให้ความรู้ในเรื่องของการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด

2. วิธีวัดความพรุน

ความพรุน (Porosity)

เป็นสมบัติที่แสดงสัดส่วนของ ปริมาตรของช่องว่างภายในมวลถ่าน(V_v) กับปริมาตรของมวลถ่าน(V_t) นั่นคือ

$$n = \frac{V_v}{V_t} \quad (4-1)$$

ในการหาค่าความพรุนมีขั้นตอนต่อไปนี้คือ

1. หาน้ำหนักของถ่านที่อบแห้งสนิท อาจเป็นตัวอย่างทรงกระบอก หรือตัวอย่างแบบก้อน (W_{dry})
2. แช่ตัวอย่างให้อิ่มน้ำอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ทำการหาน้ำหนักของถ่านที่อิ่มน้ำ (W_{sat})
3. ชั่งน้ำหนักของถ่านอิ่มน้ำโดยแทนที่น้ำเพื่อหาปริมาตรของหิน (W_{sub}) จากกฎที่ว่าน้ำหนักที่หายไปใต้น้ำเท่ากับน้ำหนักของน้ำปริมาตรเท่าวัตถุ

4. คำนวณค่าความพรุน

$$n = \frac{(W_{sat} - W_{dry})}{(W_{sat} - W_{sub})}$$

วิธีการคำนวณปริมาตรรูพรุน

1. อบชิ้นงานให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็น D (กรัม)
2. ดมชิ้นงานในน้ำกลั่นให้เดือดนาน 5 ชั่วโมง และแช่ไว้อีกนาน 24 ชั่วโมง
3. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในน้ำ บันทึกเป็น S (กรัม)
4. เช็ดผิวชิ้นงาน ชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็น W (กรัม)
5. นำค่าจากการทดสอบมาคำนวณตามสูตร

- 5.1 ปริมาตรของชิ้นงาน (Exterior Volume) = $(W - S) / d$
- 5.2 ปริมาตรของรูพรุนเปิด (Volume of Open Pores) = $(W - D) / d$
- 5.3 ร้อยละของความพรุนตัวปรากฏ (Apparent Porosity) = $[(W - D) / V] \times 100$
- 5.4 ร้อยละของการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) = $[(W - D) / D] \times 100$
- 5.5 ความหนาแน่นของชิ้นงาน (Bulk Density) = D / V

d หมายถึงความหนาแน่นของน้ำ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

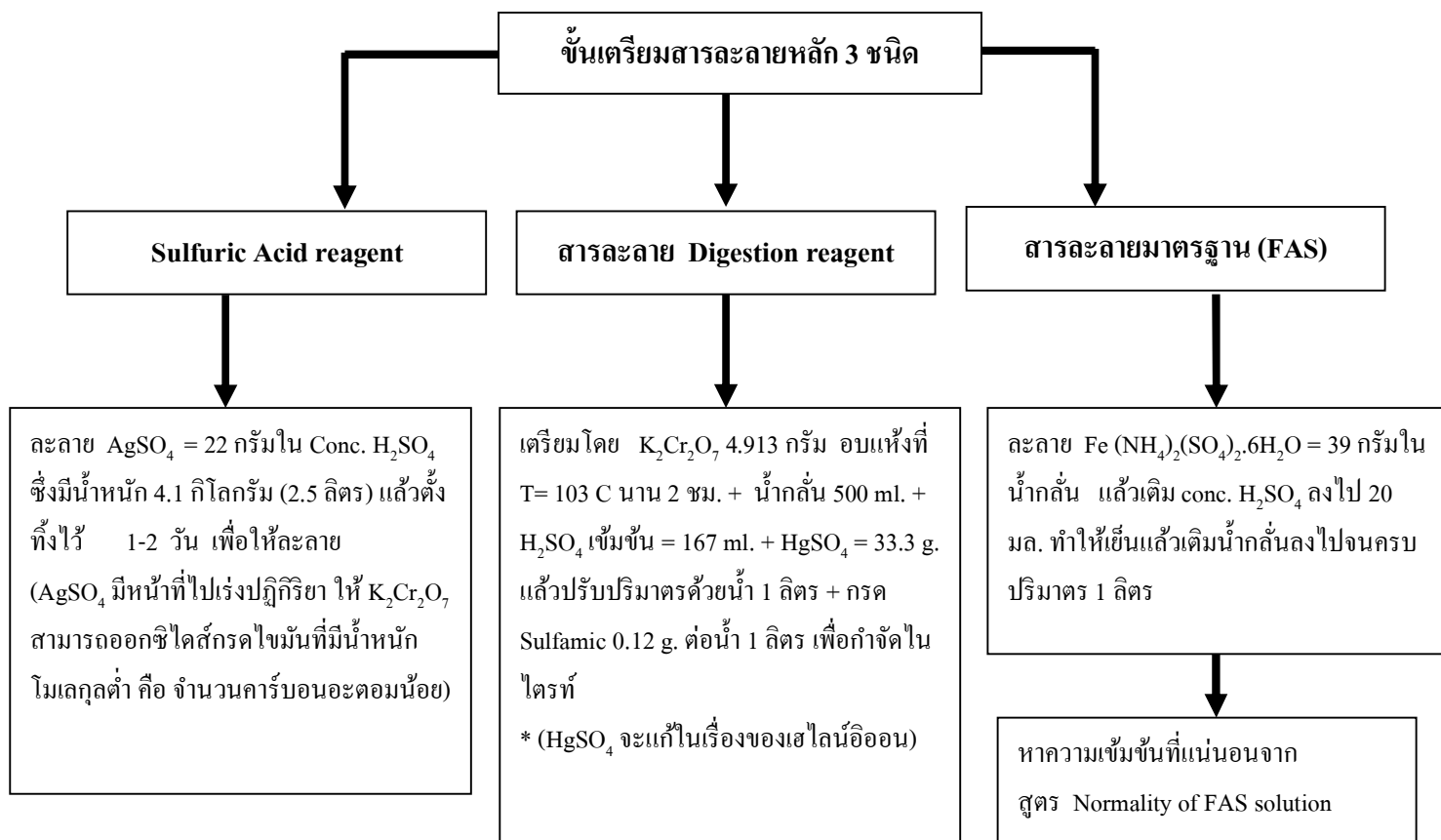
D หมายถึงน้ำหนักชิ้นงานแห้งก่อนต้ม (กรัม)

S หมายถึงน้ำหนักชิ้นงานหลังต้ม ชั่งในน้ำ (กรัม)

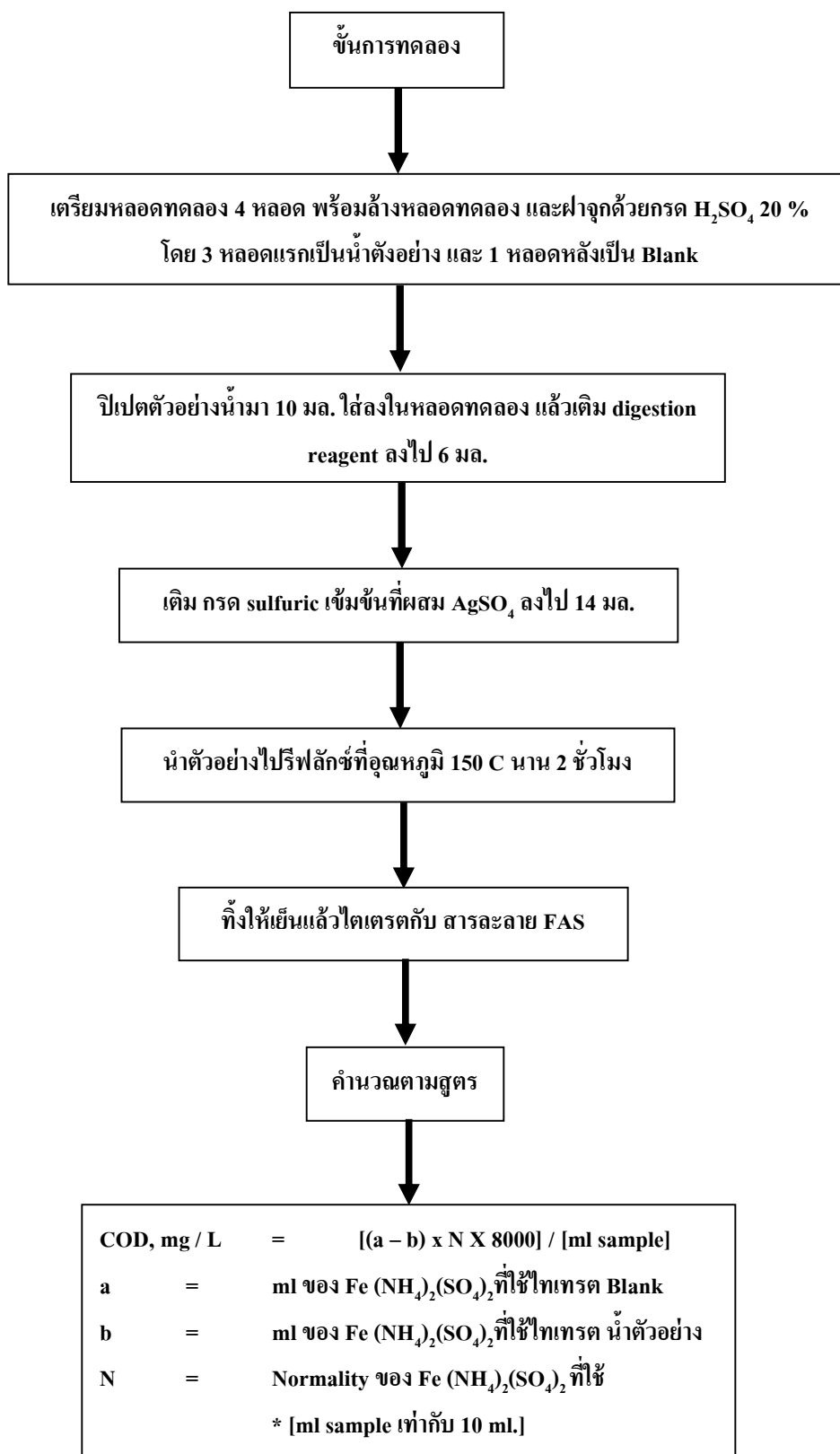
W หมายถึงน้ำหนักชิ้นงานหลังต้ม ชั่งในอากาศ (กรัม)

V หมายถึงปริมาตรของชิ้นงาน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

3. วิธีการวัดค่าปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ



ขั้นตอนการวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ



4. การวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (อภิชัย คิวประภากร, 2545)

4.1 สารเคมีและการเตรียมสารละลาย

4.1.1 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ชั่งฟีนอล์ฟทาลีน หนัก 0.5 กรัม ละลายในเอซีลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 50 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นที่ต้มกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว 50 มล. จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 0.0454 N ที่ละหยดจนเกิดสีชมพูอ่อน ซึ่งแสดงว่าไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลืออยู่

4.2.2 ชั่งโซเดียมคาร์บอเนตหนัก 2.407 กรัม ละลายในน้ำกลั่นที่ต้มกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มล. แล้วที่ตู้อบใช้อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชม. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

4.2 วิธีการวิเคราะห์

4.2.1 เก็บตัวอย่างน้ำโดยไม่ให้ตัวอย่างน้ำสัมผัสกับอากาศ โดยใช้ขวด BOD และควรทำการวิเคราะห์ทันที หรือภายในเวลาไม่เกิน 2 – 3 ชม. หลังจากเก็บตัวอย่าง

4.2.2 ใช้สายยางดูดตัวอย่างน้ำจากขวด BOD ใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 100 มล. โดยปล่อยให้ตัวอย่างน้ำล้นออกประมาณ 50 – 75 มล. แล้วใช้ปิเปตหรือหลอดหยด ดูดส่วนที่เกินออกให้ได้ปริมาตรคงเหลือ 100 มล.

4.2.3 หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลงไปในตัวอย่งน้ำ 4 – 5 หยด ถ้าตัวอย่างน้ำเปลี่ยนเป็นสีชมพูแสดงว่ามีค่า pH มากกว่า 8.34 ซึ่งไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ แต่ถ้าตัวอย่างน้ำไม่เปลี่ยนสีแสดงว่ายังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต้องรีบทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.0454 N ขณะไทเทรตใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างน้ำเบา ๆ จนกระทั่งตัวอย่างน้ำเปลี่ยนเป็นสีชมพู (จุดยุติ) บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไทเทรต

4.2.4 ตรวจสอบความถูกต้องโดยการทำซ้ำเหมือนเดิม แต่ทำการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาน้อยที่สุด เพื่อลดความผิดพลาดจากการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตัวอย่างน้ำ

4.2.5 คำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มก./ล.)} = \frac{(V_1) \times (N) \times (22) \times (1,000)}{V_2}$$

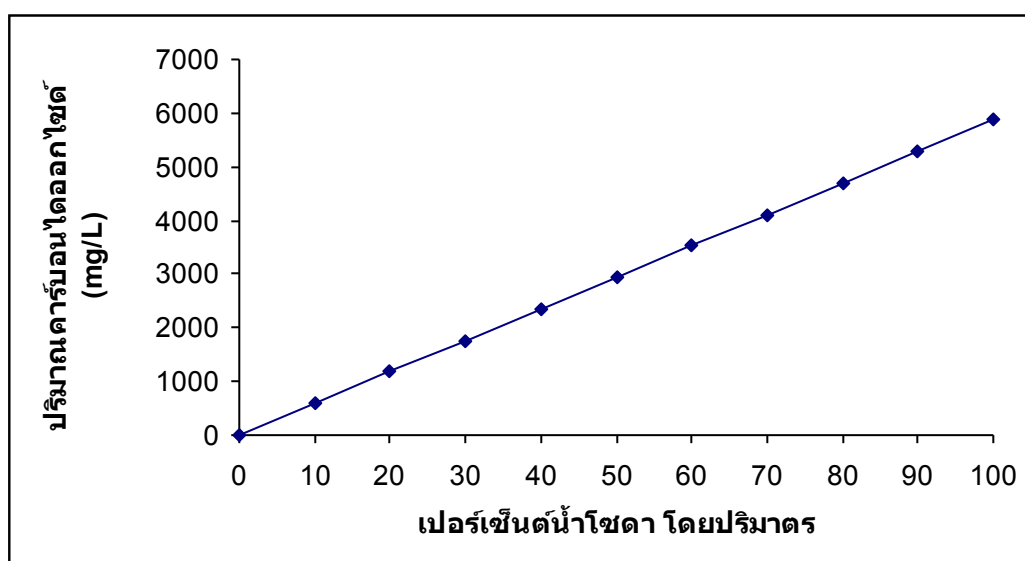
V_1 หมายถึง ปริมาตรของโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ไทเทรต (มล.)

V_2 หมายถึง ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ (100 มล.)

N หมายถึง ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนต (0.0454 N)



ภาพผนวกที่ 3 อุปกรณ์สารเคมีและขั้นตอนการไทเทรตหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพผนวกที่ 4 กราฟมาตรฐานของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำโดยอยู่ในรูปของน้ำโซดา

ตารางผนวกที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงในกระบวนการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลในถ่านกัมมันต์

ค่าการดูดกลืนแสง																				
ตัวอย่าง	มวลของถ่าน (กรัม)						% phenol ที่เหลือ						% phenol ที่ถูกดูดซับ							
	0.05	0.1	0.15	2	2.5	3	0.05	0.1	0.15	2	2.5	3	0.05	0.1	0.15	2	2.5	3		
1/1	0.013	0.049	0.068	0.11	0.125	0.14	26	49	45.33	5.5	5	4.67	74	51	54.67	94.5	95	95.33		
1/2	0.019	0.031	0.052	0.091	0.099	0.095	38	31	34.67	4.55	3.96	3.17	62	69	65.33	95.45	96.04	96.83		
2/1	0.018	0.035	0.045				36	35	30	3.15	2.97	2.4	64	65	70	96.85	97.03	97.6		
2/2	0.012	0.052	0.05	0.075	0.13	0.129	24	52	33.33	3.75	3.25	2.87	76	48	66.67	96.25	96.75	97.13		
3/1	0.011	0.031	0.049	0.074	0.08	0.09	22	32.67	32.67	3.70	3.20	3	78	67.33	67.33	96.30	96.80	97.00		
3/2	0.018	0.018	0.031	0.041	0.039	0.038	36	20.67	20.67	2.05	1.56	1.27	64	79.33	79.33	97.95	98.44	98.73		
4/1	0.009	0.033	0.029	0.037	0.039	0.039	18	19.33	19.33	1.85	1.56	1.30	82	80.67	80.67	98.15	98.44	98.70		
4/2	0.01	0.029	0.048	0.065	0.055	0.069	20	32	32	3.25	2.2	2.3	80	68	68	96.75	97.8	97.7		
AC	0.005	0.022	0.012	0	0	0	10	8	8	0	0	0	90	92	92	100	100	100		

ตารางผนวกที่ 2 แสดงสถานะในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากลำไยตกเกรด

ตัวอย่าง แป้ง:ลำไย:แกลบ	สถานะ	น้ำหนัก ก่อนอบ	น้ำหนัก หลังอบ 12 ชั่วโมง	% Yield	% ความชื้น	เผาที่ Step 1 และ 2	อุณหภูมิใน การเผา	เวลาในการ เผา	กระตุ้นด้วย ไอน้ำ(PSI)	เวลาในการ กระตุ้น	เวลาในการ แช่ H ₃ PO ₄ 85%
1:8:1	1	85.934	76.49	89.01	10.99	T=350,t=10	350	20	10	40	4
	2	67.31	60.17	89.43	10.57	T=350,t=20	350	30	15	20	12
2:6:2	1	77.07	74.9	97.19	2.81	T=370,t=10	370	20	10	40	4
	2	78.21	76.31	97.56	2.44	T=370,t=20	370	30	15	20	12
1:6:3	1	61.67	60.32	97.82	2.18	T=390,t=10	390	20	10	40	4
	2	80.38	76.36	95.52	4.48	T=390,t=20	390	30	15	20	12
2:5:3	1	68.6	66.19	96.44	3.56	T=420,t=10	420	20	10	40	4
	2	61.21	59.29	96.78	3.22	T=420,t=20	420	30	15	20	12

โครงการวิจัยที่ 3

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิต
เอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด

**Organic-Fertilizer Production from Waste of Ethanol and Biogas Process
Of Low Grade Longan**

หัวหน้าโครงการวิจัย

อภิชาติ สวนคำทอง

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตเอทานอล
และแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด

**Organic-Fertilizer Production from Waste of Ethanol
and Biogas Process Of Low Grade Longan**

อภิชาติ สวนคำทอง¹ ดนูวัต เพ็งอัน² ประกิต โก๊ะสูงเนิน³ และธนศ ไชยชนะ⁴
**Aphichart Suankamkong,¹ Danuwat Pengoun,² Prakrit Kosungnoun³
And Tanate Chaichana⁴**

¹คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

²สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

³มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ อ.ร้องกวาง จ.แพร่

⁴ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพ พบว่า ระยะเวลาในกระบวนการหมักที่สั้นจะทำให้มีการย่อยสลายของลำไยตกเกรดที่ไม่สมบูรณ์ โดยค่าการย่อยสลายที่สมบูรณ์จะดูจากค่า Organic Matter (OM) ซึ่งเท่ากับ 48.54% โดยระยะเวลาการหมักในถังไบโอแก๊สประมาณ 6 เดือน ซึ่งค่าต่างๆของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตกเกรดที่ผลิตได้อยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานปุ๋ยกำหนด ในกระบวนการทดลองนั้นได้นำปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดไปทดสอบควบคู่กับปุ๋ยเคมี โดยนำไปปลูกข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 โดยใช้แผนการทดลองแบบ Random Complete Block Design (RCBD) และใช้แผนการวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA Without Replication และใช้การวิเคราะห์แบบ Two-way ANOVA without Replication ซึ่งพบว่า น้ำหนักของข้าวโพดและการเจริญเติบโตในแต่ละแปลงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 95% โดยในอนาคตกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพ อาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนในส่วนของการใช้ปุ๋ยเคมีได้

ภายหลังจากระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์ การย่อยสลายที่สมบูรณ์

Abstract

After the production of ethanol and biogas for the low grade longans, there are residues from each process that need to be dealt with. This study mainly concerns about recycling those wastes for organic fertilizer production. The test compares between organic and chemical fertilizer on the growth of the sweet corn (Maejo 84 F1). The experimental method is based on the Random Complete Block Design (RCBD) and the two-way ANOVA Without Replication is applied for the result analysis. It was found that the weight of the sweet corn is significantly different (95%) when using low grade longan organic and chemical fertilizer where the organic one favors the growth of the sweet corn. The result shows that organic fertilizer produced from the low grade longan waste can become the alternative way to reduce the cost of using chemical fertilizer in the future.

Key word : Organic fertilizer, RCBD, ANOVA

บทนำ

ลำไยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคเหนือ โดยเฉพาะในกลุ่มจังหวัดล้านนา ได้แก่จังหวัด เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง เชียงราย พะเยา และแม่ฮ่องสอน ซึ่งในปี พ.ศ. 2552 คาดว่าจะมีผลผลิตลำไยสดออกสู่ตลาดไม่ต่ำกว่า 600,000 ตัน ซึ่งเมื่อลำไยมีผลผลิตมากจะทำให้ราคาผลผลิตลำไยตกต่ำ ซึ่งปัญหาดังกล่าวเคยเกิดวิกฤติมาแล้วในปี 2548 ซึ่งจะเห็นว่าลำไยเกรด AA เหลือเพียง กิโลกรัมละ 12 บาท และลำไยตกเกรดตั้งแต่ เกรด B ลงไปเหลือ เพียง 2.50 บาท และเกรด C เพียง 50 สตางค์เท่านั้น ซึ่งลำไยตกเกรด (เกรด C) เกษตรกรไม่นิยมนำไปขายเนื่องจากไม่คุ้มค่าในการรวบรวมและขนส่ง และพ่อค้าคนกลางไม่สามารถนำไปอบแห้งได้ ส่วนมากจึงทิ้งอยู่ภายในสวนของเกษตรกร นอกจากนั้นแล้วลำไยเกรด AA, A, B ที่ตกขณะขนส่ง ผู้รับซื้อ/เกษตรกร ก็จะทิ้งอยู่ที่จุดรับซื้อ หรือโรงอบ เป็นจำนวนมาก ดังนั้นถ้าได้มีการศึกษาวิจัยในการที่จะนำลำไยตกเกรดเหล่านี้มาพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนและหาแนวทางการเพิ่มมูลค่า ก็จะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มรายได้ของชาวสวนลำไยได้ ในกระบวนการผลิตเอทานอลโดยการหมักจะเกิดน้ำสำ ซึ่งเมื่อนำมากรองและนำน้ำสำที่ได้ไปกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอลแล้ว จะมีกากเหลือจากกระบวนการ ซึ่งจัดเป็นผลพลอยได้ที่สำคัญและเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นวัสดุธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการหมัก โดยมีการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ มีน้ำตาลและเซลลิวส์ผสมอยู่ ดังนั้นกากจึงอุดมไปด้วยโปรตีน เส้นใย รวมทั้งวิตามิน และเกลือแร่ที่เกิดจากกระบวนการทำงานของเอนไซม์และยีสต์ กากที่ได้เมื่อผ่านกระบวนการทำให้แห้งโดยใช้ความร้อน หรือการตากแดด จะมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลทองและมีกลิ่นหอม ซึ่งในต่างประเทศเรียกว่า Distiller's Dried Grains (DDG) จากการศึกษาวิจัย พบว่า อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลที่ใช้วัสดุธรรมชาติเป็นวัตถุดิบ ในหลายประเทศ มีการนำ DDG ที่ได้ไปแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ หรือปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยอินทรีย์ โดยการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมลงไป แล้วนำไปอัดเป็นเม็ด จะได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูง สำหรับตัวอย่างการผลิตปุ๋ยอัดเม็ด ในต่างประเทศพบว่าการใช้วัตถุดิบ 1 ตัน จะได้ DDG ถึง 750 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 1.3.1 สำหรับการผลิตเอทานอลโดยใช้มันสำปะหลังจะให้กากแห้งที่นำไปผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดได้ประมาณ 84-89 กก./มันเส้น 1 ตัน



ภาพที่ 1 กากมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตเอทานอล

ตารางที่ 1 สมดุลมวลของการผลิตและปริมาณผลิตภัณฑ์เมื่อใช้วัตถุดิบ 1 ตัน

ผลผลิต	ปริมาณ (กิโลกรัม)
แอลกอฮอล์	250
*กากและเส้นใย *ยีสแห้ง *น้ำกากส่า	750

* รวมเรียกว่า Distiller's Dried Grains Soluble (นิรนาม, 2553)

คุณลักษณะของปุ๋ยอัดเม็ด ประกอบด้วย

- ปลอดภัยต่อตัวผู้ใช้ และ สิ่งแวดล้อม
- การอัดเม็ดเมื่อผสมกับเกลบและขี้เลื่อยในอัตราส่วนต่าง ซึ่งจะสามารถช่วยลดกลิ่นและการสูญเสีย ไนโตรเจนในปุ๋ย ช่วยรักษาคูณค่าปุ๋ยและสิ่งแวดล้อม
- การอัดเม็ดสามารถผสมปุ๋ยเคมีจะ ช่วยลดภาระการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมาก และชะลอการปลดปล่อยปุ๋ยเคมี มิให้เกิดการสูญเสีย จึงช่วยลด ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ครึ่งหนึ่ง
- ช่วยให้สามารถเก็บปุ๋ยอินทรีย์ได้นานขึ้น เพราะเมื่อตากแห้งเหลือความชื้นประมาณ 10 - 15 เปอร์เซ็นต์จะไม่มีเชื้อราเกิดขึ้น ที่จะสาเหตุทำให้เกิด กลิ่นเหม็น
- เกษตรกรสามารถทำได้เองโดยใช้อุปกรณ์ที่ หาได้ง่าย เพราะมีจำหน่ายทั่วไป เป็นการส่งเสริมให้ เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากขึ้น
- การนำเอาวัสดุเหลือใช้มาอัดเม็ดแล้วใช้ ประโยชน์เป็นปุ๋ย เป็นการกำจัดปัญหามลภาวะ และเป็นวิธีการใช้ทรัพยากรที่เหมาะสมและคุ้มค่า

ดังนั้นจากการประเมินปริมาณปุ๋ยอินทรีย์จากกระบวนการผลิตเอทานอล และแก้สชีวภาพ โดยใช้ลำไยตกเกรดจำนวน 1 ตัน จะสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากกาก DDG ที่เหลือได้ 750 กิโลกรัม หรือประมาณ 1,950 บาท/ตัน ของลำไยตกเกรด (พิจารณาที่ราคาปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด 2,600 บาท/ตัน)

วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

- เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าลำไยตกเกรดด้วยการนำมาพัฒนาเป็นปุยอินทรีย์อัดเม็ด
- เพื่อประเมินศักยภาพและต้นทุนการผลิตปุยอินทรีย์อัดเม็ดจากกากที่เหลือจากกระบวนการผลิต เอทานอล และแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด โดยมีขอบเขตของโครงการวิจัย ดังนี้

ในกระบวนการทดลองการผลิตปุยอินทรีย์อัดเม็ดจากกากที่เหลือจากกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 การประเมินศักยภาพด้านวัตถุดิบ (DDG) ที่เหลือจากกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพ

- การประเมินศักยภาพด้านวัตถุดิบ (DDG) ที่เหลือจากกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพ ประกอบไปด้วย
 - ปริมาณ Distillers Dried Grain (DDG) ที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด

ส่วนที่ 2 ประเมินศักยภาพในการผลิตปุยอินทรีย์อัดเม็ด ประกอบไปด้วย

- ศึกษารูปแบบการเตรียม DDG เพื่อผลิตเป็นปุยอินทรีย์อัดเม็ด
- วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของ DDG อาทิ เช่น ลักษณะของ DDG สี ความร่วนซุย การจับตัวกันเป็นก้อน
- วิเคราะห์คุณสมบัติธาตุอาหารของปุยอินทรีย์อัดเม็ด

ส่วนที่ 3 การศึกษาการนำปุยอินทรีย์ DDG จากกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตกเกรด ไปใช้งานเปรียบเทียบกับปุยชนิดอื่น

ส่วนที่ 4 เสนอแนะแนวทางในการส่งเสริมการผลิตปุยอินทรีย์อัดเม็ดจากกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพ จากลำไยตกเกรด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบศักยภาพและต้นทุนการผลิตปุยอินทรีย์จากกากที่เหลือจากกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพ ของลำไยตกเกรด
- เกษตรกรมีช่องทางเลือกในการเพิ่มมูลค่าของลำไยตกเกรด
- ลดการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร โดยการใช้ปุยอินทรีย์ที่ผลิตจากลำไยตกเกรด
- สร้างองค์ความรู้ให้แก่เกษตรกร ในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรที่ด้อยคุณภาพ
- สามารถนำเสนอพบทความทางวิชาการระดับประเทศหรือนานาชาติ

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic Fertilizer) หรือ ปุ๋ยหมัก (อังกฤษ: Compost) คือ ปุ๋ยที่ได้จากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุทางชีวเคมีโดยจุลินทรีย์กลุ่มใช้ออกซิเจน (Aerobic Microorganisms) จนเป็นประโยชน์ต่อพืช

ข้อเด่นของปุ๋ยอินทรีย์ที่เหนือกว่าปุ๋ยเคมี คือ ปุ๋ยอินทรีย์มีอินทรีย์วัตถุ มีธาตุอาหารรอง และจุลินทรีย์ที่เป็นต่อจุลินทรีย์ดินและพืช ที่ปุ๋ยเคมีไม่มี นอกจากนี้ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ยังทำให้ดินมีสภาพเป็นกลาง ในขณะที่การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างยาวนานจะทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดซึ่งมีผลทำให้มีการละลายแร่ธาตุที่ไม่พึงประสงค์ออกมาให้แก่รากพืช เช่น อะลูมิเนียม ทำให้พืชมีลักษณะแคะแกร็นและเป็นโรคง่าย

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 กำหนดว่า ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้และจะจำหน่ายต้องมีอินทรีย์วัตถุมากกว่าร้อยละ 20 มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าไนโตรเจนไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 มีค่าฟอสฟอรัส (P_2O_5) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 และมีค่าโพแทสเซียม (K_2O) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 (นิรนาม, 2552)

ปุ๋ยอินทรีย์กับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดิน

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารของพืช เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ได้จากปุ๋ยอินทรีย์จะปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมาโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน เมื่ออินทรีย์วัตถุย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ แร่ธาตุอาหารพืชเหล่านั้นจะถูกปลดปล่อยออกมาสะสมอยู่ในดิน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูก แม้ว่าปริมาณธาตุอาหารพืชที่ได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์จะมีน้อยก็ตาม แต่พืชก็สามารถนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตได้อย่างต่อเนื่องโดยจะค่อย ๆ ปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาว ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกและอินทรีย์วัตถุเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กและเป็นจำนวนมาก เช่น Polyphenol groups, Simple organic acids และ Carboxylic groups เป็นต้น เมื่อเกิดกระบวนการการแตกตัวของประจุใดธาตุนิ่งขึ้น จะทำให้เกิดประจุลบขึ้นอย่างมากมายที่บริเวณพื้นที่ผิวอินทรีย์วัตถุ มีผลทำให้ธาตุอาหารพืชที่ไถลงไปในดินในรูปปุ๋ยวิทยาศาสตร์หรือธาตุอาหารพืชที่อยู่ในดินตามธรรมชาติที่มีประจุบวกถูกดูดซับไว้ไม่ให้สูญเสียไปโดยการชะล้าง ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชเป็นไปได้ดีขึ้น และเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ปุ๋ยอินทรีย์ยังช่วยลดความรุนแรงของความเค็มในดินเนื่องจากดินเค็มมีปริมาณเกลือละลายน้ำได้มากจนเป็นอันตรายต่อพืช โดยเฉพาะได้รับพิษจากธาตุ

ที่เป็นส่วนประกอบของเกลือที่ละลายออกมา เช่น ธาตุโซเดียมและคลอไรด์ นอกจากนี้ธาตุโซเดียมที่มีปริมาณมากจะมีผลทำให้โครงสร้างของดินไม่ดี อนุภาคของดินจะฟุ้งกระจาย และมีลักษณะดินแน่นในเวลาต่อมา รากพืชจะชอนไชหาอาหารได้ยาก และความเค็มยังมีผลทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารอื่นๆ เช่น โบรอน สังกะสี เป็นต้น แนวทางการจัดการดินเค็มจำเป็นต้องใช้หลายวิธี เช่น การล้างดิน การเลือกปลูกพืชที่เหมาะสม หรือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ตลอดจนการใช้อินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เช่น แกลบหรือฟางข้าว ดินเค็มที่ได้รับอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินดีขึ้น รวมทั้งปริมาณน้ำในดินมีมากขึ้นและปริมาณโซเดียมถูกดูดซับอยู่บริเวณพื้นที่ผิวอินทรีย์วัตถุ ช่วยลดระดับความเค็มลงพืชจึงสามารถเจริญเติบโตได้ (ยงยุทธ, 2536)

ปุ๋ยอินทรีย์กับการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของดิน

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน และเนื่องจากการแปรสภาพของธาตุอาหารพืชในดินส่วนใหญ่เป็นผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ที่ต้องการใช้พลังงานและธาตุอาหารจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ รวมทั้งการเปลี่ยนรูปของสารอนินทรีย์ในดินจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในกรณีของสารอินทรีย์ที่ผสมคลุกเคล้าอยู่ในดิน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ซึ่งผลที่ได้จากการย่อยสลายคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ต่าง ๆ สารประกอบที่เป็นเมือก (Slimy materiak) ธาตุอาหารต่าง ๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น เมื่อรวมกับน้ำในดินจะเกิดกรดคาร์บอนิกทั้งกรดคาร์บอนิกและกรดอินทรีย์จะช่วยละลายธาตุพืชบางชนิดในดินให้เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก และแมงกานีส เป็นต้น (รัชนิพรและธัญวรรณ, 2549) ทั้งนี้ปุ๋ยอินทรีย์ยังสามารถช่วยควบคุมโรคพืชในดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุที่ใส่ลงไปในดินในรูปของปุ๋ยหมักจะมีผลช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในดิน และเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นเหล่านี้จะมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมปริมาณและกิจกรรมของเชื้อรา ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคพืชที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินจะสามารถลดความรุนแรงของเชื้อ *Macrophomina phaseolina* ซึ่งเป็นสาเหตุโรค *Charcoal rot* และเชื้อ *Rhizoctonia solani* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเน่าคอดินในถั่ว

ปุ๋ยอินทรีย์ยังช่วยในการแปรรูปธาตุอาหารพืชในดินให้มีประโยชน์มากขึ้น เมื่อจุลินทรีย์ในดิน ได้รับธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้นก็จะสามารถดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ (รัชนิพรและธัญวรรณ, 2549) ดังนี้ คือ

กระบวนการ Nitrification เป็นการแปรสภาพของสารอินทรีย์ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดในดิน เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปอนุมูลแอมโมเนียม (NH_4) ซึ่งเป็นรูปที่พืช

นำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก ให้อยู่ในรูปของไนไตรตและไนเตรต ซึ่งพืชนำไปใช้ได้ง่ายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ Nitrifying bacteria เช่น *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobacter* sp.

กระบวนการทำลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์บางชนิดจะผลิตกรดละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ กรด Lactic, Citric, Succinic และ Glycolic ซึ่งสามารถละลายหินฟอสเฟตให้อยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ จุลินทรีย์พวกนี้ ได้แก่ *Pseudomonas* sp., *Arthrobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Bacillus* sp., *Micrococcus* sp., *Streptomyces* sp., และ *Sclerotium* sp.

กระบวนการตรึงไนโตรเจนในอากาศ จุลินทรีย์ดินบางชนิดมีความสามารถพิเศษในการตรึงก๊าซไนโตรเจนให้มีประโยชน์แก่พืช เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ พืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรง จุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจน ได้มีทั้งประเภทพึ่งอาหารกับสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น แบคทีเรียพวก *Rhizobium* sp., *Azospirillum*, *Beijernkia* sp., *Clostrifidium* sp. และประเภทที่ตรึงไนโตรเจนโดยอิสระ เช่น *Azotobacter* sp., และ *Clostridium* sp., รวมทั้งพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue-green algae) ก็สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้

ปุ๋ยอินทรีย์ในรูปของฮิวมัสกับการพัฒนาและการเจริญเติบโตของพืช

การดูดใช้ในโตเจนของพืชจากการใช้สารสกัดกรดฮิวมิกและการใช้กรดฟูลวิก มีผลทำให้พืชสามารถดูดไนโตรเจนได้มากขึ้น การดูดใช้ประจุของธาตุอาหารของพืชได้แก่ ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และทองแดง สารฮิวมัสสามารถกระตุ้นและยับยั้งการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร น้ำหนักโมเลกุล และ Functional groups ในสารฮิวมัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัดส่วนของ Carboxyl และ OH group ซึ่งอิทธิพลดังกล่าวจะมีผลในระยะต้นกล้ามากกว่าระยะอื่นของการพัฒนาการเจริญเติบโตของพืช สารฮิวมัสสามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ ช่วยป้องกันการเกิดคลอโรซิส (ใบเหลือง) ในพืชอันเป็นผลต่อเนื่องจากการที่รากถูกกระตุ้นให้ดูดซับธาตุเหล็ก แล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนของใบมีผลต่อการลำเลียงอาหารในเซลล์ของพืช โดยพบว่าการใช้สารฮิวมัสช่วยส่งเสริมการพัฒนาของระบบท่อลำเลียง (Vascular system) ในมะเขือเทศ และ Sugar beet ซึ่งทำให้ธาตุอาหารพืชเคลื่อนย้ายได้มากขึ้น

นอกจากอินทรีย์วัตถุจะมีผลต่อสมบัติของดินดังกล่าวแล้ว อินทรีย์วัตถุยังมีบทบาทหน้าที่สำคัญต่อพืช กล่าวคือสารอินทรีย์บางชนิดมีผลโดยตรงต่อการเจริญและการให้ผลผลิตของพืชตลอดจนช่วยส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารบางชนิดของพืช การยกระดับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด เป็นต้น การใช้

ปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวเหล่านี้ควรใช้ร่วมกับปุ๋ยวิทยาศาสตร์เพื่อปรับปรุงบำรุงดินและเพื่อการเพิ่มผลผลิตของพืชในระยะยาว (รัชนิพร, 2544)

ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์

ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการเกษตรปัจจุบัน ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหาร มีจุดเด่นและจุดด้อยที่แตกต่างกันไป ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2 ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการเกษตรปัจจุบัน (ศักดิ์สิทธิ์, 2547)

ชนิดของปุ๋ยหมัก	เปอร์เซ็นต์ธาตุอาหารพืช		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
ปุ๋ยหมักจากหญ้าแห้ง	1.23	1.26	0.76
ปุ๋ยหมักจากใบจามจุรี	1.45	0.19	0.49
ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว	0.85	0.11	0.76
ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา+มูลสุกร	1.85	4.81	0.79

จากตารางที่ 2 ปุ๋ยหมักจากหญ้าแห้ง จะมีเปอร์เซ็นต์ธาตุอาหารพืช N P₂O₅ K₂O เท่ากับ 1.23, 1.26 และ 0.76 % ในส่วนของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา+มูลสุกร มีเปอร์เซ็นต์ธาตุอาหารพืช N P₂O₅ K₂O เท่ากับ 1.85, 4.81 และ 0.79 %

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์จากแหล่งต่างๆ (ศักดิ์สิทธิ์, 2547)

องค์ประกอบทางเคมี	มูลโค	มูลไก่	กากตะกอนอ้อย
pH (1:2.5)	9.06	8.96	8.37
OM (%)	46.59	69.29	26.41
Total N (%)	1.96	1.99	1.01
Available P (%)	0.68	0.49	0.58
Total K(%)	4.03	2.76	1.21
Exchangeable K (%)	2.17	1.8	0.27
Exchangeable Na (%)	1.07	0.25	0.01
Exchangeable Ca (%)	0.09	0.13	0.41
Exchangeable Mg (%)	0.19	0.17	0.15
CEC (cmolkg ⁻¹)	46.22	62.49	36.91
Total Fe (%)	0.218	0.143	1.173
Total Mn (%)	0.041	0.034	0.108
Total Cu (%)	0.003	0.003	0.003
Total Zn (%)	0.016	0.025	0.011
Total bacteria (cell/1g dry)	1.87x10 ⁷	3.11x10 ⁷	1.17x10 ⁷
Total fungi (cell/1g dry)	3.0x10 ⁵	3.91x10 ⁵	9.1x10 ⁵
Total actinomycete(cell/1g dry)	2.42x10 ⁷	4.84x10 ⁷	2.49x10 ⁷

ลักษณะของปุ๋ยอัดเม็ดที่ดี (กรณัทมา, 2549)

ปัญหาหลักของผลิตภัณฑ์ปุ๋ยในปัจจุบัน ส่วนมากเป็นเรื่องของสมบัติทางกายภาพ เช่น จับตัวกันเป็นก้อน (Caking) มีฝุ่นฟุ้ง(Dustiness) ลื่นไหลไม่คล่อง (Poor flowability) เม็ดปุ๋ยแยกตัว (Segregation) และปุ๋ยขึ้นง่าย เป็นต้น โดย ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของปุ๋ยผสมแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกันมีดังนี้

มาตรฐานของตะแกรง

ตะแกรงที่ใช้ในแต่ละประเทศมีระบบแตกต่างกัน เช่น มาตรฐานสหรัฐ (U.S. standard) ไทเลอร์ (Tyler) ,คานาดา อังกฤษ ฝรั่งเศส เยอรมัน และอิตาลี ตารางที่1 แสดงการเปรียบเทียบเบอร์ตะแกรง (Sieve number) กับขนาดช่องเปิด (Opening, มิลลิเมตร) ของชุดตะแกรงมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (U.S. standard series) แลชุดตะแกรงไทเลอร์ (Tyler series)

ในการเลือกตะแกรงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์นั้น ควรเลือกชุดที่มีจำนวนตะแกรงมากพอ เพื่อให้ครอบคลุมขนาดเม็ดปุ๋ยที่มีอยู่ในตัวอย่าง ด้วยที่ตะแกรงเบอร์ใดเบอร์หนึ่งไม่มีตัวอย่างค้างอยู่มากเกินไป ดังนั้นในการวิเคราะห์ขนาดของเม็ดปุ๋ย ถ้าใช้มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ก็ควรใช้ชุดซึ่งประกอบด้วยตะแกรงขนาด 4, 6, 8 ,10, 14, 18, และ 30 เมช หากใช้

ระบบอื่นก็ให้ครอบคลุมขนาดที่ใกล้เคียงกันนี้ ในกรณีของการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อใช้ในการผสมแบบคลุกเคล้าต้องมีตะแกรงขนาด 8 เมช (2.38 มม.) ไว้ด้วยเสมอ เพื่อใช้เปรียบเทียบการเข้ากันของขนาดเม็ดปฏ (degree of size matching) ชนิดหนึ่งกับเม็ดปฏชนิดอื่นที่นำมาผสมกัน

ความแข็งของเม็ดปฏ (Granule hardness)

เม็ดปฏควรมีความแข็งเพียงพอที่จะรับแรงซึ่งการทำในขณะโยกย้าย ถ่ายเท คลุกเคล้าหรือกดทับโดยเม็ดปฏไม่แตกหรือสึกกร่อนเป็นผง ความทนทานของเม็ดปฏต่อแรงที่มากระทบจำแนกได้เป็น 3 แบบคือ 1) ความแกร่งของเม็ดปฏ (Granule crushing strength) 2) ความทนทานต่อความสึกกร่อนเมื่อขัดถู (Resistance to abrasion หรือ Sloughing) และ 3) ความทนทานต่อการกระแทก (Impact resistance) หากเม็ดปฏมีความแข็งของเม็ดต่ำเกินไป เมื่อมีการโยกย้าย ถ่ายเท คลุกเคล้าหรือกดทับ จะทำให้เม็ดปฏแตกหรือกร่อน ขนาดของเม็ดปฏจึงเล็กขนาดเดิมที่ได้หลังการผลิต การเปลี่ยนแปลงของเม็ดเม็ดปฏดังกล่าว จะมีผลต่อกระทบต่อคุณภาพของปฏผสมที่ได้จากเม็ดปฏเหล่านั้น

ความแกร่งของเม็ดปฏ(Crushing strength) (ประกาศและคณะ, 2545)

วิธีการที่ง่ายที่สุดในการทดสอบความแกร่งของเม็ดปฏ ก็คือ การวัดความทนต่อแรงกดของแต่ละเม็ด ซึ่งทำได้หลายลักษณะนับจากวิธีง่าย ๆ เช่น ใช้นิ้วมือกด จนถึงวิธีที่วัดโดยละเอียดด้วยใช้เครื่องมือที่พัฒนาเพื่อการนี้ โดยเฉพาะ

- วิธีกดด้วยนิ้วมือ การทดสอบโดยใช้นิ้วมือกดนั้นให้ถือหลักเกณฑ์ดังนี้ ถ้าบีบให้แตกได้ด้วยหัวแม่มือและนิ้วชี้ แสดงว่าอ่อน (Soft) ถ้ากดด้วยนิ้วชี้จนพื้นแข็งให้แตกได้ แสดงว่าแข็งปานกลาง (Medium hardness) และถ้ากดตามวิธีในข้อ (2) แล้วไม่แตกแสดงว่าแข็ง (Hard)

- มีพิกัดไม่น้อยกว่า 7 กก. นำเม็ดปฏที่จะทดสอบมาวางบนกึ่งกลางของจานแล้วใช้แท่งโลหะปลายเรียบกดลงบนเม็ดปฏ ค่อย ๆ เพิ่มแรงกดจนกระทั่งเม็ดแตกแล้วบันทึกน้ำหนักที่ใช้กด

- ใช้ Compression tester โดยนำเม็ดปฏไปวางบนแป้นแล้วโยกคันบังคับ เพื่อกดแท่งโลหะลงไปในเม็ดปฏนั้น ค่อย ๆ เพิ่มแรงกดจนกระทั่งเม็ดแตกแล้วบันทึกน้ำหนักที่ใช้กด

ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ความหนาแน่นรวมของปุ๋ย หมายถึงน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของปุ๋ยซึ่งเรียงตัวตามปกติ (Bulk fertilizer) ข้อมูลนี้มีความจำเป็นสำหรับการออกแบบกระสอบบรรจุปุ๋ยและโรงเก็บ ประเมินจำนวนเที่ยวของการขนส่งด้วยรถบรรทุก การปรับอัตราการปล่อยปุ๋ยออกจากเครื่องหว่าน ตลอดจนผลต่อการแยกตัวของปุ๋ยเคมีผสมแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ความหนาแน่นของปุ๋ยมี 2 ค่า คือ ความหนาแน่นเมื่อเทปุ๋ยลงตามปกติ ซึ่งเม็ดปุ๋ยจะเรียงตัวไปตรงตามธรรมชาติ (Packed density หรือ Tappen density)

ความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติ (Critical relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติ ของปุ๋ยคือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศค่าหนึ่ง ซึ่งสูงกว่านี้ปุ๋ยนั้นจะดูดความชื้นจากอากาศ แต่ถ้าต่ำกว่านี้ปุ๋ยจะไม่ดูดความชื้นจากอากาศบริเวณนั้น ที่อุณหภูมิซึ่งกำหนดให้ (เช่น 30 องศาเซลเซียส) ปุ๋ยชนิดใดมีความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติสูงถือว่าดี เพราะนั้นสามารถเก็บ โยกย้าย ถ่ายเทหรือเปิดใช้ในสภาพที่อากาศชื้นได้ โดยปุ๋ยไม่ดูดความชื้นจนหนืดหรือจับตัวกันเป็นก้อน

การทบทวนวรรณกรรม / สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ประภาส ช่างเหล็ก (2545) ได้ทำการทดลองใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตร 9 ผลผลิตหัวมันสด ปริมาณแป้งและน้ำหนักต้นและใบสดเฉลี่ยของมันสำปะหลังทั้ง 2 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าพันธุ์กับดาร์บีทดลองที่มีการใช้ปุ๋ยนั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร 9 ในมันสำปะหลังทั้งสองพันธุ์ พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ดาร์บีทดลองที่ 7 ใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร 9 อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15 -15 -15 อัตรา 50 กก.ต่อไร่ ทำให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยสูงสุด 6,182 กก.ต่อไร่ เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 (Control) ให้ผลผลิตต่ำสุดเพียง 3,327 กก.ต่อไร่ ส่วนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตร 9 ไม่ทำให้ปริมาณแป้งในหัวสดของมันสำปะหลังทั้ง 2 พันธุ์แตกต่างกัน โดยพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีแนวโน้มให้ปริมาณแป้งในหัวสดเฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์หัวยวง 60 (25.4% และ 25.2%) ส่วนน้ำหนักต้นและใบสดเฉลี่ยพันธุ์หัวยวง 60 มีแนวโน้มให้น้ำหนักต้นและใบสดเฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (3,644 และ 3,526 กก.ต่อไร่ตามลำดับ)

รัชนิพรและธีรารักษ์ (2550) ได้ทำการทดลองผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่า วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ส่วนใหญ่มีปริมาณไนโตรเจนสูง เช่น เปลือกถั่วลิสง รำละเอียด มูลสุกร มูลไก่ และมูลค่างควา และเมื่อจะทำการอัดเม็ดยังนั้นจะต้องบดให้ละเอียดและคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยมีส่วนผสม ดังนี้ มูลสุกรและมูลไก่ 20% มูลค่างควา 4% เปลือกถั่วลิสงบด 18% รำละเอียด 32% แกลบดำ 6% และใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานในการ

อัดเม็ด โดยมีปริมาณไนโตรเจน 1.75% ฟอสฟอรัส 1.66% โพแทสเซียม 1.01% ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 6.3 และค่าการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 3.4 dS/m

ศักดิ์สิทธิ์ (2547) ได้ศึกษาการปล่อยแก๊สมีเทนจากข้าวนาปีที่มีการจัดการน้ำ มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดร่วมกับปุ๋ยเคมี เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างปริมาณแก๊สมีเทนกับหน่วยผลผลิตข้าว ผลการทดลองพบว่า การจัดการน้ำทั้ง 2 แบบ มีปริมาณการปล่อยแก๊สมีเทนตลอดฤดูทั้งหมด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ มี Total Methane Emission เท่ากับ 16.47 – 24.95 กรัมมีเทนต่อตารางเมตร ส่วนปุ๋ยทั้ง 4 ชนิด มีการปล่อยแก๊สมีเทนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

รัชนิพร (2544) ได้ศึกษาการพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเพื่อการปลูกผัก โดยศึกษาการใช้ประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยทดลองปลูกคะน้าในกระถาง ทำการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 การทดลอง 5 ซ้ำ พบว่าวัสดุที่มีศักยภาพ ได้แก่ มูลค่างคาว, รวงไซ, จี๋เหล็ก, จามจุรี และเปลือกถั่วเขียว ส่วนสารเชื่อมที่มีความเหมาะสมต่อการอัดเม็ด พบว่ากากน้ำตาล, วานหางจระเข้, แป้งมัน, และอ้อย เป็นวัสดุที่สามารถใช้เป็นสารเชื่อมได้ และส่วนสุดท้าย คือ การผสมสูตรและการอัดเม็ด พบว่า สูตรปุ๋ยที่ได้จากวัสดุสูตรผสมสารเชื่อมแต่ละตัว ในอัตรา 30 % ของน้ำหนักวัสดุผสม สูตรที่ 16 (จามจุรี + มูลค่างคาว + กากน้ำตาล) ให้ความแข็งแรงในวัสดุผสมมากที่สุด ซึ่งการนำปุ๋ยพืชสดประเภทไม้ยืนต้นสามารถที่จะนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดแทนปุ๋ยเคมีได้ และมีผลทำให้คุณสมบัติด้านเคมีและกายภาพของดิน ได้รับการปรับปรุงไปด้วยอีกทางหนึ่ง

อุไรวรรณ (2545) ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์กากตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลสำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดิน พบว่าเมื่อทดลองปลูกข้าวโพดหวานที่ปลูกในสิ่งทดลองที่ผสมกากตะกอนเสีย 1 % มีการเจริญเติบโตดีกว่าข้าวโพดหวานที่ปลูกในสิ่งทดลองที่ผสมกากตะกอนเสีย 4 %

ถาวร (2550) ได้ศึกษาการจัดการดินเปรี้ยวจัดเพื่อปลูกข้าว โดยใช้วัสดุปูน ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ในชุดดินระแงะ พบว่า ข้าวมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด คือ 487 กก. ต่อไร่ เพิ่มขึ้น 222.60 เปอร์เซ็นต์ โดยคุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลอง พบว่าเปลี่ยนแปลงไปโดยแตกต่างกันชัดเจน โดยค่าพีเอชก่อนการทดลองอยู่ที่ 4.5 ภายหลังการทดลองอยู่ที่ 4.8 – 5.7 ค่าแคลเซียมเพิ่มขึ้นถึง 5 %

ทวิช (2548) ได้ศึกษาผลกระทบของปุ๋ยอินทรีย์ – เคมี ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวโพด พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตรา 0 1 2 และ 4 กิโลกรัมต่อต้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารพืช ความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ย ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และในส่วนของ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์

ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า ปุ๋ยหมักทั้ง 3 ชนิดส่งเสริมให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

กรณีศึกษา (2549) ได้ทำการทดลองใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และการจัดการเศษพืชสดเพื่อการผลิตข้าวโพดหวาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลตกค้างของปุ๋ยอินทรีย์และเศษเหลือพืช พบว่า ดินที่ทำการทดลองมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากผลผลิตฝักปอกเปลือก เปรียบเทียบภายในแปลงปลูกเดียวกันระหว่างรอบการปลูกและภายในรอบการปลูกเดียวกันระหว่างแปลงปลูก แสดงแนวโน้มว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมีและเศษเหลือพืชไว้ในแปลงทำให้น้ำหนักฝักปอกเปลือกสูงกว่าและมีผลตกค้างในรอบการปลูกต่อมา

อุปกรณ์และวิธีการ

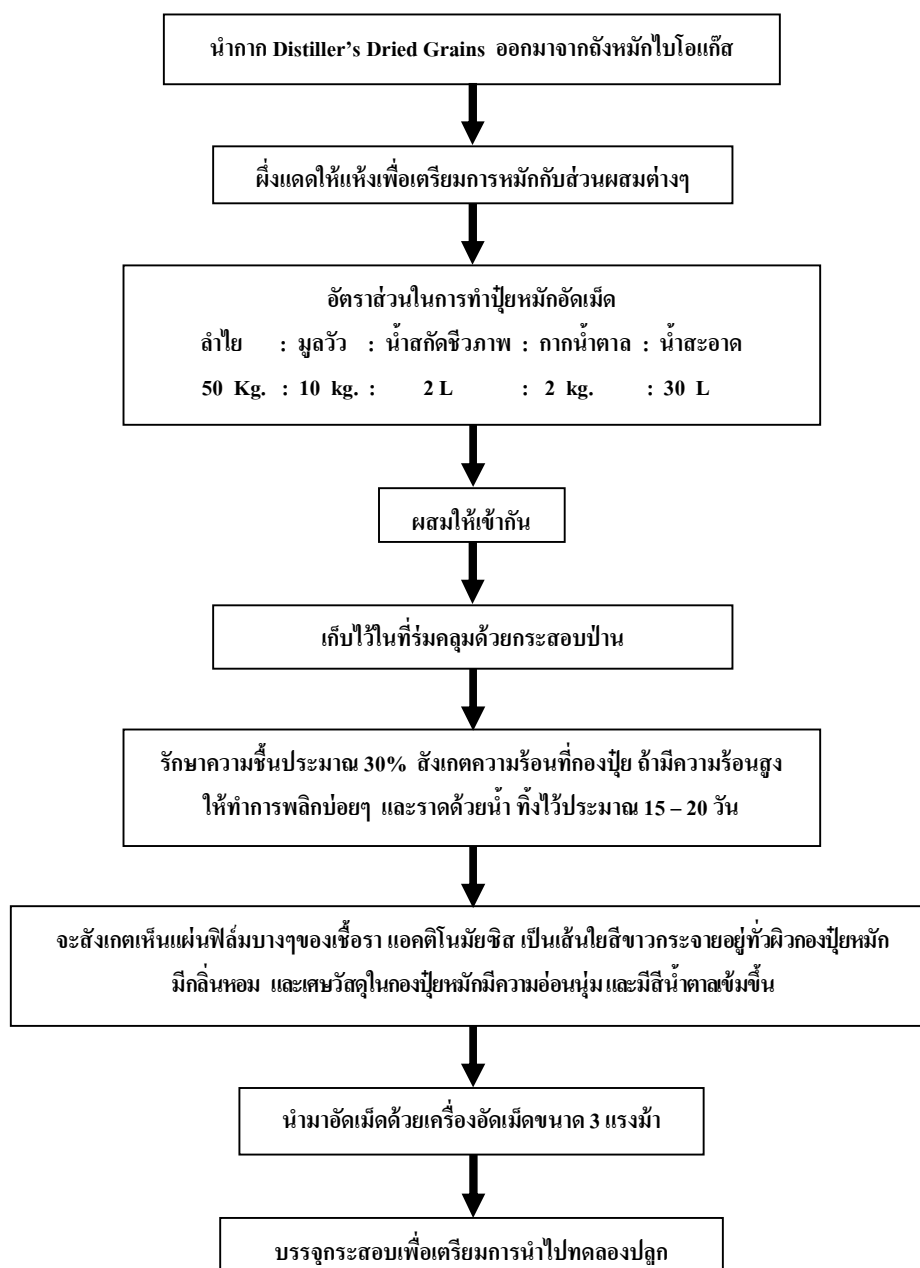
อุปกรณ์ในกระบวนการทดลอง

- เครื่องผสมปุ๋ยขนาด 3 แรงม้า จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องอัดเม็ดปุ๋ยขนาด 3 แรงม้า จำนวน 1 เครื่อง
- กากน้ำตาล
- น้ำสกัดชีวภาพ
- กระสอบป่าน

กระบวนการดำเนินการทดลอง

เนื่องจากกระบวนการหมักในถังไบโอแก๊สมีการหมักย่อยที่ไม่ค่อยจะสมบูรณ์ ดังนั้นในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็คนั้น จะใช้น้ำหมักชีวภาพและกากน้ำตาลเข้าร่วม เพื่อกระตุ้นจุลินทรีย์ให้เกิดกระบวนการย่อยที่สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลดีต่อกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเป็นอย่างมาก โดยในกระบวนการอัดเม็ดยังต้องการความเหนียวในการจับตัวกันของเม็ดปุ๋ย จึงต้องมีการเติมกากน้ำตาลเข้าร่วมด้วย โดยจากข้อจำกัดของกระบวนการย่อยนั้น จึงต้องมีการเพิ่มระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มขึ้นประมาณ 15 – 20 วัน โดยมีการออกแบบการทดลองดังภาพที่ 3.1

แผนการทดลอง



ภาพที่ 2 แผนการดำเนินการทดลองการผลิตปุ๋ยอัดเม็ดจากลำไยตกเกรด

การประเมินปริมาณ Distiller's Dried Grains (DDG)



ภาพที่ 3 ปริมาณของ Distiller's Dried Grains (DDG) จากลำไยตกเกรด

จากภาพที่ 3 พบว่าลำไย 1 ตัน จะให้ปริมาณ DDG ประมาณ 800 กก.น้ำหนักแห้ง โดยพบว่า DDG ที่ได้นั้นจะมีลักษณะเป็นกากหยาบ มีสีน้ำตาลปนเหลืองเล็กน้อย และมีกลิ่นเหม็นอมเปรี้ยวปานกลาง

การศึกษารูปแบบการเตรียม DDG เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

ในการเตรียม DDG นั้นจะนำมูลสัตว์แห้ง ได้แก่ มูลของโคจำนวน 3 ส่วนผสมกับแกลบดำ (เผา) หรือขี้เถ้าแกลบแห้ง ตามด้วยรำละเอียดแห้ง อย่างละ 1 ส่วน จากนั้นนำอินทรีย์วัตถุอื่นๆ ได้แก่ แกลบดิบ เศษใบไม้ มาผสมรวมกันจำนวน 3 ส่วน เติมน้ำสกัดชีวภาพจำนวน 2 ลิตร ตามด้วยกากน้ำตาลจำนวน 2 กิโลกรัม และน้ำสะอาดจำนวน 200 ลิตร โดยราดรดลงส่วนผสมกับมูลสัตว์ แกลบดำ รำละเอียด และอินทรีย์วัตถุ คลุกเคล้าส่วนผสมเข้าด้วยกันให้ทั่ว รักษาความชื้นพอเหมาะประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ จับเป็นก้อนได้แต่ไม่ชื้นและจนมีน้ำหยด กองปุ๋ยสูงประมาณ 30 เซนติเมตร เก็บไว้ในที่ร่มไม่ถูกแสงแดดและฝน คลุมกองปุ๋ยหมักด้วยกระสอบป่าน หรือผ้าพลาสติก ทิ้งไว้ 4-5 วัน ถ้ามีความร้อนสูงและเริ่มแห้งให้กลับกองปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อระบายความร้อน จากนั้นรดน้ำให้มีความชื้นพอเหมาะ

คลุมด้วยกระสอบป่านหรือผ้าพลาสติกไว้ตามเดิม ประมาณ 15-20 วัน ระหว่างนี้ จะมีความร้อนสูง ซึ่งจะช่วยให้เชื้อโรคและวัชพืชได้ อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักชีวภาพจะค่อยๆ เย็นลง และไม่มีกลิ่นเหม็น แต่จะมีฟิล์มบางๆ สีขาวหรือสีเทาของเชื้อรา แอคติโนมัยซิส เป็นเส้นใยสีขาว กระจายอยู่ทั่วผิวกองปุ๋ยหมักและมีกลิ่นหอม เศษวัสดุในกองปุ๋ยหมักมีความอ่อนนุ่ม และมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สภาพของ Distiller's Dried Grains (DDG) ที่ทำการหมักก่อนการอัดเม็ด

ต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยอินทรีย์



ภาพที่ 5 ต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยอินทรีย์จากลำไยตกเกรด

ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอัดเม็ดยังนั้น จะต้องมีการผสมองค์ประกอบต่างๆให้เข้ากัน ในการทดลองจึงได้ สร้างต้นแบบเครื่องผสมปุ๋ยอินทรีย์ ดังรูปที่ 5 ซึ่งมีคุณลักษณะดังนี้

ขนาดตัวถัง เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ซม. และมีความลึก 25 ซม.

น้ำหนักเครื่องต้นแบบ 150 กก. โดยประมาณ

ความจุถังป้อน 50 – 100 กก.

กำลังขับเคลื่อน มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า 220 หรือ 380 V.

เวลาในการผสม 10 – 30 นาที

ต้นแบบเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์



ภาพที่ 6 ต้นแบบเครื่องอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์จากลำไยตกเกรด

จากนั้นเมื่อได้ปุ๋ยที่ผ่านการผสมกันเป็นอย่างดีแล้ว ก็จะนำไปอัดเม็ดโดยเครื่องต้นแบบอัดเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ดังรูปที่ 6 มีคุณลักษณะดังนี้

ระบบ	ตัวอัด 1 ตัว ตัวบด 1 ตัว
ขนาด	60 x 122 x 130 ซม.
น้ำหนัก	150 กก. โดยประมาณ
กำลังการผลิต	100 - 200 kg / h
ความกว้างท่ออัด	เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว
ความจุถาดป้อน	60 –100 กก.
กำลังขับเคลื่อน	มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า 220 หรือ 380 V.

การวิเคราะห์คุณสมบัติธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

โดยส่งวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

การศึกษาการนำปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดที่ผลิตจาก DDG ไปใช้งาน โดยนำไปทดลองปลูกกับข้าวโพด
พันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 โดยมีวิธีการวางแผนการทดลองดังนี้

ใช้วิธีการทดลองแบบ RCBD

มี 3 สิ่งทดลอง (Treatments) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ

แปลงที่ 1 การทดลองที่ 1	แปลงที่ 2 การทดลองที่ 1	แปลงที่ 3 การทดลองที่ 1
แปลงที่ 1 การทดลองที่ 2	แปลงที่ 2 การทดลองที่ 2	แปลงที่ 3 การทดลองที่ 2
แปลงที่ 1 การทดลองที่ 3	แปลงที่ 2 การทดลองที่ 3	แปลงที่ 3 การทดลองที่ 3
แปลงที่ 1 การทดลองที่ 4	แปลงที่ 2 การทดลองที่ 4	แปลงที่ 3 การทดลองที่ 4

โดย แปลงที่ 1 คือ Control (ไม่ได้อะไรเลย)
แปลงที่ 2 คือ ใส่ปุ๋ยคอกอัดเม็ด
แปลงที่ 3 คือ ใส่ปุ๋ยเคมี 46-0-0 และ 15-15-15

วิธีดำเนินการ

- เตรียมพื้นที่ในการปลูก
 - ไถคราดเพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก ดังภาพที่ 3.7
 - ยกร่องให้ได้ตามขนาดแปลงปลูก โดยแปลงจะมีขนาด 3x4 เมตร ระยะห่างระหว่างแปลง 0.5 เมตร ระยะห่างระหว่างซ้ำ 1 เมตร



ภาพที่ 7 การไถคราดเพื่อเตรียมแปลงเพาะปลูกข้าวโพด

2. ปลูกข้าวโพด โดยมีระยะห่างระหว่างแถว 50 ซม. และระยะห่างระหว่างต้น 30 ซม. โดยหยอดเมล็ดหลุมละ 3 เม็ด
3. หลังข้าวโพดงอก 7 – 10 วัน ทำการถอนแยกต้นข้าวโพด และกำจัดวัชพืช ดังรูปที่ 8



ภาพที่ 8 จำนวนข้าวโพดที่จะต้องทำการถอนแยก

4. หลังข้าวโพดงอก 14 วัน ใส่ปุ๋ยครั้งแรก
5. หลังข้าวโพดงอก 28 – 30 วัน กำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ดังรูปที่
6. ก่อนข้าวโพดเริ่มงอกเกษตรกรตัวผู้ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3



ภาพที่ 9 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวโพดในช่วง 28 – 30 วัน

7. รอเก็บเกี่ยวผลผลิต และในระหว่างที่รอเก็บเกี่ยวผลผลิต จะทำการเก็บข้อมูลดังนี้
 - วัดความสูงของต้นหลังออก 7 วัน, 14 วัน, 30 วัน และหลังการงอกเกสรตัวผู้
 - ความสูงของฝัก
 - วัดเกสรตัวผู้บาน 50 %
 - วันออกไหม 50 %
 - น้ำหนักฝักทั้งเปลือก
 - น้ำหนักฝักปอกเปลือก

3.4 การประเมินประสิทธิภาพและต้นทุนการผลิตปุยอินทรีย์อัดเม็ด

ทำการประเมินโดยการส่งตรวจคุณภาพปุยทางห้องปฏิบัติการ รวมถึงคุณภาพของสภาพดินที่ใช้ปลูก และทำการวิเคราะห์ต้นทุนทั้งหมด ภายใต้ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดำเนินการทดลอง อาทิเช่น ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักร เครื่องมือชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง กำลังคน ค่าแรงต่างๆ และระยะเวลาในการผลิต

ผลการวิจัย

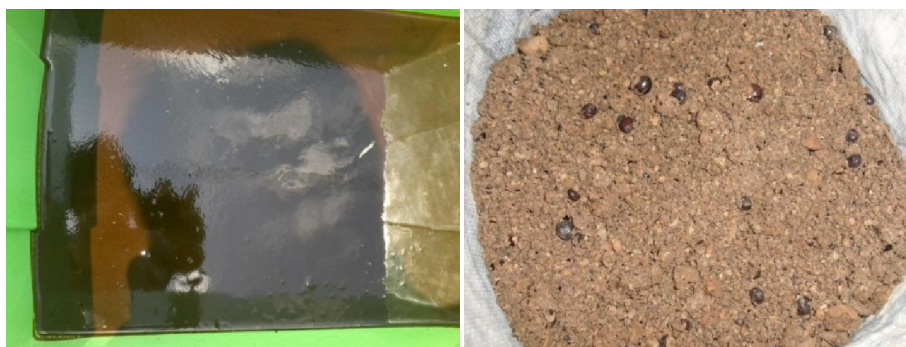
การประเมินศักยภาพด้านวัตถุดิบ

การประเมินศักยภาพด้านวัตถุดิบ (DDG) ที่เหลือจากกระบวนการผลิตเอทานอล และแก๊สชีวภาพ โดยพบว่า จากอัตราส่วนการหมัก มูลโค 5 กก. : กากลำไย 20 กก. : น้ำ 15 ลิตร (1:4:3) หมักในถัง 500 ลิตร ได้ปริมาณ มูลโค 62.5 กก. : กากลำไย 250 กก. : น้ำ 187.5 ลิตร แต่เมื่อนำมาหาน้ำหนักแห้ง พบว่า เหลืออยู่ที่ 220.74 กก. ซึ่งจะเป็นปริมาณ DDG ทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพ

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ DDG ที่ผ่านกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพ

การตรวจสอบ	วิธีตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ
ความชื้น	In house method AOAC (2005)	13.55 % โดยน้ำหนัก
สารระเหย	ASTM D 3175	76.98 % โดยน้ำหนัก
เถ้า	In house method AOAC (2005)	3.93 % โดยน้ำหนัก
คาร์บอนคงที่	ASTM D 3175	5.54 % โดยน้ำหนัก
N	In house method AOAC (2005)	1.17 % โดยน้ำหนัก
S	In house method AOAC (2005)	0.04 % โดยน้ำหนัก
TS	AOAC (2005), 920.151	845.3 mg/L
TVS	In house method modified from	608.7 mg/L
TSS	AOAC (2005), 922.10 And APHA –	161.1 mg/L
TVSS	AWWA (2005)	161.0 mg/L
สี, ลักษณะปรากฏ	ตาเปล่า	สีน้ำตาลออกเหลือง เหลวปนหยาบ
กลิ่น	ประสาทสัมผัส	มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวออกจุนเล็กน้อย
น้ำหนักแห้งที่ได้	เครื่องชั่ง	220.74 Kg.

จากตารางที่ 4 พบว่า DDG ที่ได้จะมีลักษณะค่อนข้างเหลวปนหยาบเมื่อยังไม่ทำการระเหยเอาน้ำออก ดังรูปที่ 4.4.1 แต่เมื่อนำ DDG ไประเหยเอาน้ำออก ดังภาพที่ 10 กลับพบว่า DDG ที่ได้จะมีลักษณะหยาบไม่เป็นผงและมีสีน้ำตาลอ่อน โดยเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 13.55% โดยน้ำหนัก มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1.17% โดยน้ำหนัก ปริมาณซัลเฟอร์เท่ากับ 0.04% โดยน้ำหนัก ปริมาณ Fixed Carbon เท่ากับ 5.54% โดยน้ำหนัก และในส่วนของสารระเหยต่างๆ จะเท่ากับ 76.98% โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 10 ลักษณะของ DDG ก่อนระเหยไ้ความชื้นและหลังไ้ความชื้น

จากตารางที่ 5 พบว่า ปุ๋ยลำไยตกเกรดมีค่าการย่อยสลายที่แสดงออกทางผลของค่า Organic Matter เท่ากับ 48.54% โดยน้ำหนัก ซึ่งค่ามาตรฐานระบุไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 20% โดยน้ำหนัก แสดงว่าระบบการหมักนั้นสามารถที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดีในระดับหนึ่ง ค่าพีเอช เท่ากับ 3.94 ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานในช่วง 5.5 – 8.5 อาจเป็นเพราะกระบวนการย่อยสลายยังไม่สมบูรณ์ดี ถ้าใช้ระยะเวลาในการหมักนานขึ้นค่าพีเอชที่ได้อาจจะอยู่ในระดับความเป็นกลาง คือในช่วงของ 7.0 -7.5 อัตราส่วนของ C/N เท่ากับ 6:1 โดยมาตรฐานระบุไว้ที่ไม่เกิน 20:1 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และธาตุอาหารหลัก N P K ที่ตรวจพบมีค่าเท่ากับ 4.84, 0.52 และ 1.50% โดยน้ำหนัก ซึ่งอยู่ในระดับเดียวกับมาตรฐาน ในส่วนของ สารหนู แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และปรอท ตรวจไม่พบ และขนาดของเม็ดปุ๋ยที่ได้เท่ากับ 0.7 x 0.5 มม. โดยอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยมาตรฐานกับปุ๋ยจากลำไยตกเกรด (นิรนาม, 2553)

รายการตรวจสอบ	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	ปุ๋ยลำไยตกเกรด
Organic Matter (OM)	ไม่ต่ำกว่า 20% โดยน้ำหนัก	48.54% โดยน้ำหนัก
pH	5.5 – 8.5	3.94*
C/N	ไม่เกิน 20:1	6:1
EC	ไม่เกิน 10 ds/m	3.95 ds/m
N	ไม่น้อยกว่า 1% โดยน้ำหนัก	4.84% โดยน้ำหนัก
P	ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก	0.52% โดยน้ำหนัก
K	ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก	1.50% โดยน้ำหนัก
NaCl	ไม่เกิน 1%	0.03% โดยน้ำหนัก
Moisture	ไม่เกิน 30%	28.6%
สารหนู	ไม่เกิน 50 mg/kg	ตรวจไม่พบ
แคดเมียม	ไม่เกิน 5 mg/kg	ตรวจไม่พบ
ทองแดง	ไม่เกิน 500 mg/kg	ตรวจไม่พบ
ตะกั่ว	ไม่เกิน 500 mg/kg	ตรวจไม่พบ
ปรอท	ไม่เกิน 2 mg/kg	ตรวจไม่พบ
ขนาดของเม็ดปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มม.	0.7 x 0.5 มม.

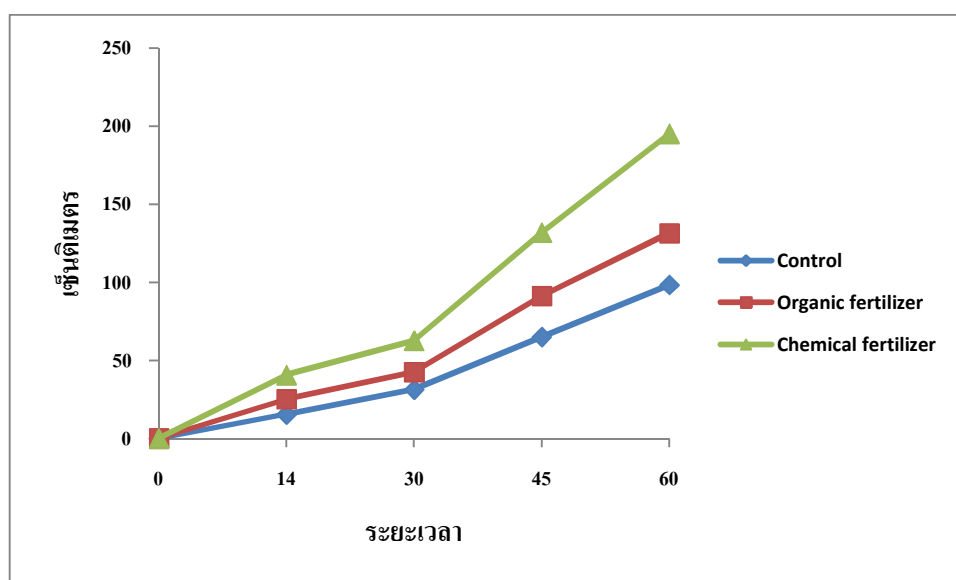
จากตารางที่ 6 ตัวอย่างดินที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวโพดนั้นได้มาจากพื้นที่ของหมู่บ้านวังป่อง ต.เหมืองแก้ว อ.แมริม จ. เชียงใหม่ โดยนำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในดินพบว่า ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 6.13 ปริมาณ Organic matter เท่ากับ 1.53 % ปริมาณไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 0.076, 56 และ 139% ตามลำดับ ส่วนธาตุอาหารรองได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสี แมงกานีส เหล็ก และทองแดง มีค่าเท่ากับ 2,040, 228, 23, 34, และ 6 ppm ตามลำดับ ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปดินจะช่วยทำให้โครงสร้างของดินดี ชุ่มน้ำและระบายน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ ผลผลิตสูง และเปอร์เซ็นต์ฝักมาตรฐาน สูง (รัชนิพร, 2554)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองปลูกข้าวโพดพันธุ์ หวานแม่โจ้ 84 F1

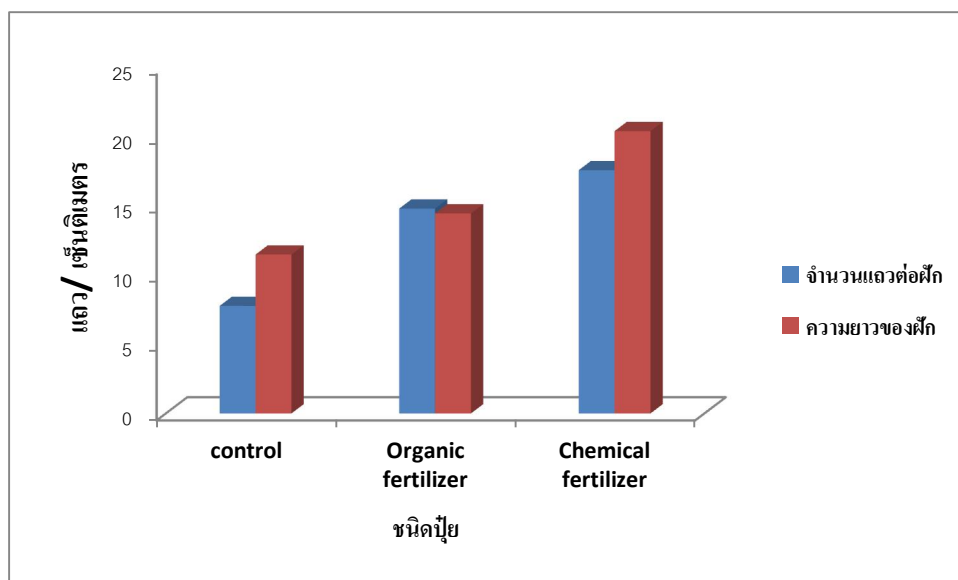
ดิน	pH	%OM	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	%Zn	%Mn	%Fe	%Cu
มาตรฐาน ดิน	กรด เล็กน้อย	ปาน กลาง	ต่ำ	สูงมาก (ppm)	สูงมาก (ppm)	สูง(ppm)	ปานกลาง (ppm)	สูง (ppm)	สูง (ppm)	สูง (ppm)	สูง (ppm)
	6.1- 6.5	1.5 - 2.5	0.02 -0.08	> 45	> 120	2,000 - 4,000	120 - 360	> 1.0	> 2.5	> 4.5	> 1.0
ผลการ ทดลอง	6.13	1.53	0.076	56	139	2,040	228	2	23	34	6

การนำปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจาก DDG ในกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพไปใช้งานโดยนำไปทดลองปลูกข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1

โดยมีการวางแผนการทดลองดังนี้ ใช้การทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) มี 3 สิ่งทดลอง(Treatment) คือ แปลงควบคุม (Control) ไม่ใส่ปุ๋ยชนิดใดเลย, แปลงปุ๋ยอินทรีย์จากลำไย และแปลงปุ๋ยเคมี ทำการทดลองอย่างละ 4 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตในช่วงระยะเวลา 60 วัน แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด รองลงมา คือแปลงที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากลำไยตกเกรด และลำดับสุดท้าย คือแปลงควบคุม คือไม่ได้ใส่ปุ๋ยชนิดใดเลย ดังแสดงในภาพที่ 11

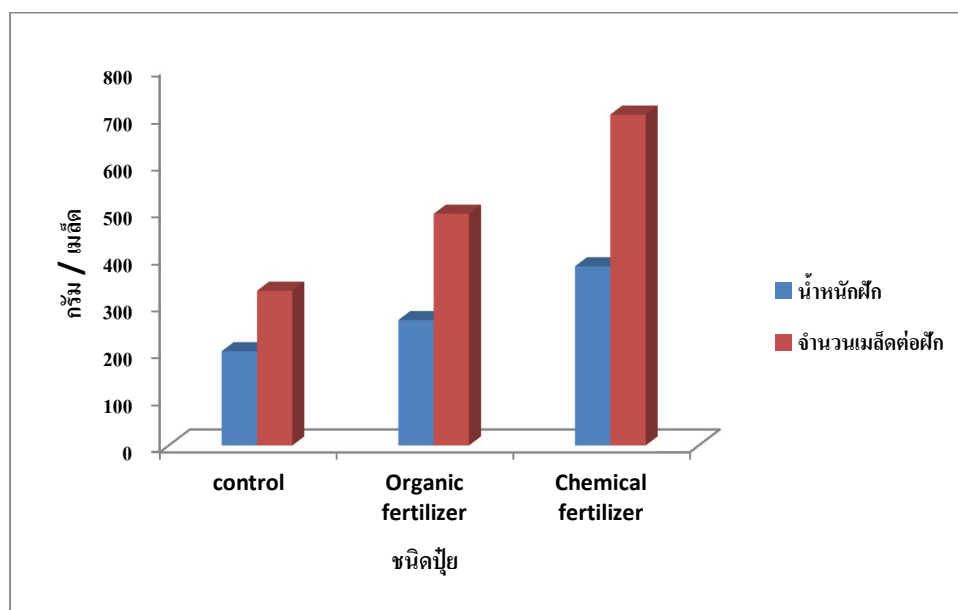


ภาพที่ 11 การเจริญเติบโตของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ในระยะเวลา 60 วัน



ภาพที่ 12 จำนวนแถวต่อฝักและความยาวของฝักของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1

จากภาพที่ 12 พบว่า แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีในกระบวนการเพาะปลูกจะมีปริมาณของจำนวนแถวต่อฝักและความยาวของฝักสูงที่สุด รองลงมา คือแปลงที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากลำไยตกเกรด และลำดับสุดท้าย คือ แปลงควบคุม



ภาพที่ 13 น้ำหนักฝักและจำนวนเมล็ดต่อฝักของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1

จากภาพที่ 13 พบว่า แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีในกระบวนการเพาะปลูกจะมีปริมาณของจำนวนเมล็ดและน้ำหนักฝักสูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากลำไยตกเกรด และลำดับสุดท้ายคือแปลงควบคุม จากภาพที่ 14 ซึ่งจากลักษณะทางกายภาพพบว่าเปลือกจะมีสีเขียวอ่อน หนา และฝักใหญ่ ซึ่งโดยรวมแล้วผลผลิตอยู่ในลักษณะที่สมบูรณ์ ไม่มีปัญหาของโรคและแมลงมารบกวน

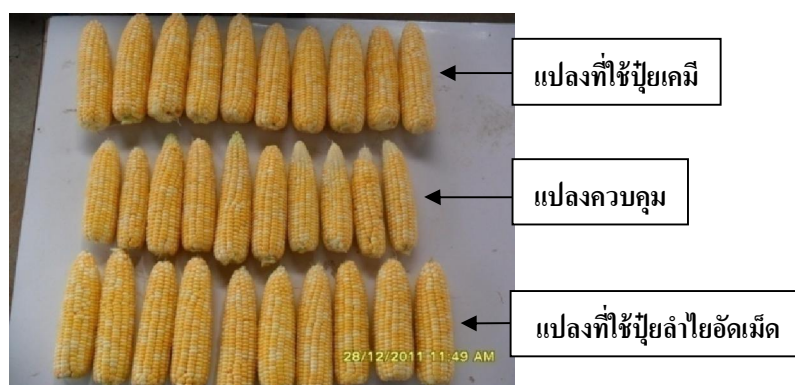


ภาพที่ 14 ลักษณะของฝักข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ที่ยังไม่แกะเปลือก

จากตารางที่ 7 พบว่า ข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 จากแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกนั้นจะมีน้ำหนักของฝักสูงที่สุด รองลงมาคือแปลงที่ใช้ปุ๋ยลำไยอัดเม็ด และลำดับสุดท้ายคือ แปลงควบคุม โดยมีน้ำหนักโดยเฉลี่ยเท่ากับ 366.5, 276.5 และ 171.5 kg. ตามลำดับ และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักโดยเฉลี่ยเท่ากับ 44.90 %, 33.90 % และ 20.99 % ตามลำดับ

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบน้ำหนักจากการสุ่มโดยเฉลี่ยของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1

	น้ำหนักฝัก+เปลือก	จำนวนเมล็ด	น้ำหนักฝัก	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมี	458.9 kg.	328.35	366.5 kg.	44.90%
แปลงที่ใช้ปุ๋ยลำไยอัดเม็ด	316.5 kg.	491.6	276.5 kg.	33.90%
แปลงที่ไม่ใช้ปุ๋ยชนิดใด	204 kg.	702.25	171.5 kg.	20.99%



ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบขนาดของข้าวโพดที่ใช้ปุ๋ยเคมี, ปุ๋ยล่ายอดเม็ด และไม่ใช้ปุ๋ยชนิดใด

จากภาพที่ 15 พบว่า ขนาดโดยรวมของฝักข้าวโพดที่ปลูกเปลือกที่ใช้ปุ๋ยเคมีกับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากถั่วเขียวเกรดนั้น มีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ส่วนแปลงควบคุมเมื่อเทียบกับด้วยตาเปล่าแล้วพบว่าจะมีขนาดเล็กกว่าข้าวโพดที่มาจากแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด



[1]

[2]



[3]

ภาพที่ 16 ลักษณะของการเรียงตัวของเม็ดข้าวโพดหวานสองสีพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1

จากภาพที่ 16 พบว่าลักษณะการเรียงตัวและขนาดของเมล็ดข้าวโพดหวานสองสีพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ที่ใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยล้าไยอัดเม็คนั้น มีลักษณะการเรียงตัวที่สวยงามขนาดเมล็ดมีขนาดใหญ่สองสี โดยมีสีทองและสีขาว และในส่วนของแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยชนิดใดเลยนั้นจะมีลักษณะการเรียงตัวของเมล็ดที่ไม่ค่อยจะสม่ำเสมอ โดยขนาดของเมล็ดจะมีลักษณะแคระแกร็นไม่สมบูรณ์เพราะขาดธาตุอาหารจำพวก P (ทวิช, 2548) โดยเฉลี่ยแล้ว พบว่าจำนวนเมล็ดต่อฝักของข้าวโพดหวานสองสีพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 จากแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยล้าไยอัดเม็ด และแปลงไม่ใส่ปุ๋ยชนิดใดเลยเท่ากับ 560, 480 และ 420 เม็ด ตามลำดับ

ตารางที่ 8 เปอร์เซนต์ ความหวาน (Brix) ของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1

	แปลงปุ๋ยเคมี	แปลงปุ๋ยล้าไยอัดเม็ด	แปลงควบคุม(ไม่ใส่ปุ๋ย)
% ความหวาน(Brix)	10 brix	9.3 brix	7 brix

จากตารางที่ 8 พบว่าคุณสมบัติทางเคมีที่ใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของข้าวโพดที่จะเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค นั่นก็คือความหวาน ซึ่งจะถูกวัดออกมาเป็นค่าของ % Brix โดยจะพบว่าแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีและแปลงที่ใช้ปุ๋ยล้าไยอัดเม็คนั้นมีค่าความหวานเท่ากัน คือ 10 และ 9.3 % Brix และแปลงควบคุม(ไม่ใส่ปุ๋ย) จะมีค่าความหวานเท่ากับ 7 % Brix ซึ่งต่ำกว่าแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีและล้าไยอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงว่าข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 นั้นต้องการธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีและปุ๋ยล้าไยในการที่จะสร้างสารอาหารซึ่งก็คือคาร์โบไฮเดรตและวิตามินต่างๆ ที่จะทำให้อาหารเกิดความหวาน ถ้าพบว่าข้าวโพดหวานฝักสดมีรสชาติไม่หวานแสดงว่าดินในแปลงที่ปลูกข้าวโพดขาดธาตุโปแตสเซียม (K) ซึ่งธาตุโปแตสเซียมจะช่วยให้การสะสมน้ำตาลในเมล็ดดีขึ้น (กรณัฏฐา, 2549)

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ที่ได้จากการทดลอง

การวิเคราะห์	แปลงควบคุม		แปลงใช้ปุ๋ยอินทรีย์		แปลงใช้ปุ๋ยเคมี	
	ดิบ	สุก	ดิบ	สุก	ดิบ	สุก
โปรตีน	1.96 %	2.1 %	2.8 %	3 %	3.4 %	4.3 %
ไขมัน	0.69 %	1.7 %	0.98 %	2.31 %	1.4 %	3.3 %
คาร์โบไฮเดรต	9.99 %	7.8 %	14.28 %	11 %	20.4 %	16.1 %
แคลเซียม	4.9 %	5.5 %	7%	7.7 %	10 %	11 %

จากตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 พบว่า แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีจะมีปริมาณของ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และแคลเซียม สูงกว่าแปลง

แปลงที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์และแปลงควบคุม โดยทำการตรวจวิเคราะห์ในสถานะที่สุกพบว่าปริมาณโปรตีน ไนמן คาร์โบไฮเดรต และแคลเซียม เท่ากับ 4.3, 3.3, 16.1 และ 11 % ตามลำดับ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

โดยใช้โปรแกรม Excel 2007 ในการวิเคราะห์ข้อมูล และวิเคราะห์ผลด้วย Two-way Analysis of Variance (ANOVA) การใช้แบบการทดลองลักษณะนี้เป็นการแยกผลของความแตกต่างของสภาพแวดล้อมออกจากผลของการทดลองที่ต้องการทดสอบ แต่ละบล็อกอาจมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันไป เช่น แสงอุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น ทำให้เกิดความแตกต่างกันของข้อมูลซึ่งจะไปรบกวนผลของการทดลอง ที่ต้องการศึกษา อย่างไรก็ตามเนื่องจากทุกบล็อกมีทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองอยู่ด้วยกัน ดังนั้นทุกชุดจึงได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมือนกัน ซึ่งทำให้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากปัจจัยสภาพแวดล้อมเป็นแบบเดียวกัน และผลการทดลองที่ต้องการทดสอบสามารถแยกออกจากกันได้ด้วยการใช้ Two - way ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล RCBD (Random Complete Block Design) เป็นการออกแบบการทดลองที่ประกอบไปด้วยบล็อกที่ซ้ำ ๆ กัน โดยในแต่ละบล็อกจะประกอบด้วย ชุดควบคุม 1 ชุด และชุดทดลองต่าง ๆ อีกอย่างละ 1 ชุด ทั้งนี้จำนวนประชากรในแต่ละชุดการทดลองและชุดควบคุมในบล็อกจะต้องเท่ากัน (เช่นเมล็ดจำนวนต้นกล้า ฯลฯ) ในแต่ละบล็อกชุดการทดลองและชุดควบคุมจะถูกจัดวางในตำแหน่งต่าง ๆ โดยแบบสุ่มแต่ละบล็อก จะถูกกระจายไว้แบบสุ่มในแปลงทดลองหรือเรือนเพาะชำ

Two-way ANOVA Without Replication เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลองแบบ RCBD (นิรนาม, 2520) ซึ่งคำว่า Without replication ในทางสถิติหมายถึง ข้อมูลของแต่ละชุดการทดลองในแต่ละบล็อกหรือแถวมีเพียงค่าเดียว เช่น ข้อมูลสำหรับการทดลองเรื่องการงอก ซึ่งมีเพียงค่าของจำนวนเมล็ดที่งอกในถาด

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างน้ำหนักต่อฝักของข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง

	Control	Organic fertilizer	Chemical fertilizer
R1	211.3	282.45	403.5
R2	204.25	272.65	389.5
R3	187.55	232.75	332.5
R4	196.9	276.85	395.5

หมายเหตุ Column = ชุดการทดลอง และ R1 – R4 เป็นจำนวนแถวหรือบล็อกในการทดลอง

ตารางที่ 11 ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Two-way ANOVA without replication ของน้ำหนักต่อฝักข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง ($\alpha = 0.05$)

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	4089.60	3	1363.20	9.11	0.01185597	4.757
Columns	66509.73	2	33254.87	222.32	0.00000236	5.143
Error	897.50	6	149.58			
Total	71496.83	11				

จากตารางที่ 10 และ 11 สมมุติฐานหลัก (H₀) คือ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักต่อฝักไม่มีความแตกต่าง และสมมุติฐานรอง (H_A) คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ในกรณีนี้โอกาสที่จะไม่มีความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง (Columns) มีค่าเท่ากับ 0.000234 % ซึ่งแสดงว่ามีโอกาสของความแตกต่างสูงมากที่อย่างน้อยชุดการทดลอง 1 ชุด มีผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และในส่วนของชุดการทดลอง (Rows) โอกาสที่จะไม่มีความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 1.18 % ซึ่งแสดงว่ามีโอกาสของความแตกต่างสูงมากที่อย่างน้อยชุดการทดลอง 1 ชุด มีผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นกัน

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง

	Control	Organic fertilizer	Chemical fertilizer
R1	98	130.76	186.8
R2	103.75	141.71	197.8
R3	99.62	140.54	196.7
R4	92.25	139.72	199.6

ตารางที่ 13 ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Two-way ANOVA without replication ของการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ใช้ในการทดลอง ($\alpha = 0.05$)

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	140.2417	3	46.7472	2.7434	0.135353	4.757063
Columns	18946.94	2	9473.4725	555.9681	1.546E-07	5.143253
Error	102.2376	6	17.0396			
Total	19189.42	11				

จากตารางที่ 12 และ 13 สมมุติฐานหลัก (H₀) คือ ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่าง และสมมุติฐานรอง (H_A) คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ในกรณีนี้โอกาสที่จะไม่มีความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง (Columns) มีค่าเท่ากับ 0.0000154 % ซึ่งแสดงว่ามีโอกาสของความแตกต่างสูงมากที่อย่างน้อยชุดการทดลอง 1 ชุด มีผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และในส่วนของชุดการทดลอง (Rows) โอกาสที่จะไม่มีความแตกต่างระหว่างชุดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 1.35 % ซึ่งแสดงว่ามีโอกาสของความแตกต่างสูงมากที่อย่างน้อยชุดการทดลอง 1 ชุด มีผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นกัน

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากตารางที่ 14 ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตกเกรดนั้น มีต้นทุนคงที่เท่ากับ 160,000 บาทต่อปี และต้นทุนผันแปรเท่ากับ 61,265.64 บาทต่อปี

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในส่วน of ต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร

ลำดับที่	ต้นทุนคงที่	ต้นทุนผันแปร
1	เครื่องผสมและอัดเม็ดปุ๋ย 2 ชุด ราคา 120,000 บาท	ค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้า 1,055.47 บาท/ เดือน
2	ราคาในการตรวจสอบปุ๋ย 3,000 บาท	ค่าเชื้อเพลิง 1,000 บาท
3	ชุดถังหมักขนาด 500 ลิตร 10 ถัง ราคา 30,000 บาท	ค่าแรงในการผลิตเป็นปุ๋ยอัดเม็ด 5 วัน 1,700 บาท
4	ค่าบำรุงรักษา 2,000 บาท	EM + กากน้ำตาล ราคา 1,000 บาท
5	กะบะใส่ปุ๋ยขนาด 100 กก. 10 ใบ ราคา 5,000 บาท	ค่ากระสอบใบละ 7 บาท 50 ใบ ราคา 350 บาท
รวม / เดือน	-	5,105.47 บาท/เดือน
รวม / ปี	160,000 บาท	61,265.64 บาท / ปี

จากการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ดังตารางที่ 15 พบว่า กากลำไยที่เหลือจากกระบวนการผลิตเอทานอลทั้งหมดเท่ากับ 2,400 กิโลกรัม จะได้ปุ๋ยทั้งหมด 76 กระสอบ บรรจุกระสอบละ 50 กิโลกรัม ราคาขายกระสอบละ 340 บาท (ขายกิโลกรัมละ 6.8 บาท) โดยมีต้นทุนเท่ากับ 1.34 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งจะผลิตได้ 45,600 กิโลกรัมต่อปี

ตารางที่ 15 การคิดต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

น้ำหนักวัตถุดิบ (กก.)	ปริมาณปุ๋ยที่ได้ (กระสอบ) / (เดือน)	ต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/กก.)	ราคาขายต่อหน่วย (บาท/กก.)	การผลิตได้ต่อปี (กก.)
2,400	76	1.34	6.8	45,600

จุดคุ้มทุนในการผลิตเท่ากับ 199,396.85 บาทต่อปี จุดคุ้มทุน(กก.) ในการผลิตเท่ากับ 29,323.07 กิโลกรัมต่อปี โดยมีกำไรในแต่ละปีเท่ากับ 110,683.148 บาท และระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 1.44 ปี

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

จุดคุ้มทุนในการผลิต (บาท / ปี)	จุดคุ้มทุนในการผลิต (กก. / ปี)	กำไร/ปี (บาท)	คืนทุนจริง (ปี)
199,396.85	29,323.07	110,683.148	1.44

จากการสำรวจตามท้องตลาดพบว่าราคาดูปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจะอยู่ที่ 200 – 260 บาทต่อกระสอบ แต่ราคาดูปุ๋ยที่ได้จากการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์พบว่าราคาจะอยู่ที่ 340 บาทต่อกระสอบ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพกับปุ๋ยเคมีแล้วจะมีคุณภาพที่ใกล้เคียงกัน แต่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตกเกรดนั้นคุณภาพอาจจะดีกว่า แต่ก็ถือได้ว่าสามารถที่จะทดแทนและประหยัดต้นทุนลงไปได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งจากการทำการทดลองที่ผ่านมาสามารถที่จะใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตกเกรดเป็นปุ๋ยหลักในแปลงเกษตรได้ โดยใช้ปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยรองในกรณีที่ต้องการเสริมแร่ธาตุต่างๆที่ปุ๋ยหลักอาจจะมีน้อย โดยในอนาคตคาดว่าประชาชนจะหันมาให้ความสนใจในปุ๋ยลำไยอัดเม็ดไม่มากนัก

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตกเกรด พบว่า คุณภาพปุ๋ยที่ได้อยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งเมื่อนำไปใช้งาน โดยนำไปปลูกข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 โดยใช้การทดลองในแปลงปลูกแบบ RCBD เปรียบเทียบกับแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมี และแปลงที่ไม่ใช้ปุ๋ยชนิดใดเลย พบว่า คุณภาพของข้าวโพดที่ได้ในส่วนขนาน้ำหนัก แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีจะสูงกว่าแปลงที่ใช้ปุ๋ยลำไยอัดเม็ด และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยชนิดใดเลย โดยจะอยู่ที่ระดับ 44.90, 33.90 และ 20.90% ตามลำดับ ในส่วนของความหวานที่วัดออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ Brix แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีจะสูงกว่าแปลงที่ใช้ปุ๋ยลำไยอัดเม็ด และแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยชนิดใดเลย โดยจะอยู่ที่ระดับ 10, 9.3 และ 7% Brix ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพดินที่เหมาะสมด้วย โดยที่หมู่บ้านวังป้อมมีสภาพของดิน คือมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.13 ค่า Organic Matter เท่ากับ 1.53 % และแร่ธาตุที่จำเป็น N P K ที่ระดับ 0.076 %, 56 ppm และ 139 ppm ตามลำดับ จากปัจจัยที่กล่าวมานั้น ถือว่าปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตกเกรดที่ผ่านกระบวนการหมักในระบบของไบโอแก๊สนั้น มีคุณภาพในระดับที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ แก๊ซเพิ่มเติม โดยพระราชบัญญัติปุ๋ยฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550 โดยเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้แผนการทดลอง Random Complete Block Design (RCBD) และใช้โปรแกรม Excel 2007 ในการวิเคราะห์ และใช้แผนการวิเคราะห์ คือ Two-way ANOVA Without Replication พบว่า ในส่วนของน้ำหนักต่อฝักข้าวโพดในแต่ละแปลงทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และในส่วนของกรเจริญเติบโตของข้าวโพดในแต่ละแปลงทดลอง พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นกัน

จากตารางที่ 4.2 เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของปุ๋ยลำไยตกเกรดกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ค่า Organic Matter มีค่าเท่ากับ 48.54 % โดยน้ำหนัก ค่าพีเอชเท่ากับ 3.94 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เท่ากับ 6:1 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 3.95 ds/m และค่าแร่ธาตุอาหารที่สำคัญ N P K เท่ากับ 4.84, 0.52 และ 1.50 % โดยน้ำหนัก ซึ่งทุกอย่างที่กล่าวมาแล้วนั้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ยกเว้นค่าพีเอชที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (5.5-8.5) คือ 3.94 ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการการย่อยสลายที่ยังไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ในการทดลองปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ 84 F1 จากการแบ่งแปลงปลูกทดลอง พบว่า การที่แปลงควบคุมได้รับเพียงแร่ธาตุอาหารจากดินในแปลงปลูกนั้น ไม่เพียงพอที่จะช่วยในการเสริมสร้างการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดทำให้ได้ต้นข้าวโพดที่มีลักษณะแกระแกร็น ผลผลิตน้อย และไม่สมบูรณ์ ในส่วนของแปลงที่ใช้ปุ๋ยจากลำไยตกเกรด พบว่า การเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดนั้นสูงกว่าในแปลงควบคุม ผลผลิตมีปริมาณสูง และสมบูรณ์กว่าแปลงควบคุม อาจเป็นผลมาจากแร่ธาตุอาหารที่ได้รับจากดินและธาตุอาหารจากปุ๋ยลำไยตกเกรดด้วย และในส่วนของแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีนั้นมีการเจริญเติบโตสูงสุด ให้

ผลผลิตที่สูงและมีความสมบูรณ์กว่าปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด ซึ่งในความเป็นจริงแล้วปุ๋ยเคมีนั้นมีประสิทธิภาพสูงช่วยเร่งการเจริญเติบโตให้กับพืชทุกชนิดได้ โดยในการทดลองนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะช่วยเกษตรกรในเรื่องของการลดต้นทุนในการทำการเกษตร โดยหันมาใช้ปุ๋ยจากลำไยเป็นหลักควบคู่ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในปริมาณที่น้อยลง ซึ่งในอนาคตอาจจะมีการต่อยอดองค์ความรู้ในเรื่องนี้ต่อไป

ในส่วนการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ ได้แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะคำนวณการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เชิงต้นทุนทั้งแบบคงที่และผันแปรพบว่ามีค่า 160,000 บาทต่อปีและ 61,265.64 บาทต่อปี ตามลำดับ ส่วนที่สองเป็นการคำนวณต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดพบว่ามีการจุกู้มทุนที่ 1.44 ปี ซึ่งสภาวะการณ์จริงในปัจจุบันนั้นการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตกเกรดมีความเป็นไปได้สูง ที่จะทำให้เกษตรกรสามารถใช้ประโยชน์จากลำไยตกเกรดให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด ตามแนวทฤษฎีเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- นิรนาม. 2553. Distillers Grain By – products. <http://www.ddgs.umn.edu>. (14 ธันวาคม 2554)
- นิรนาม. 2552. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร. สืบค้นจาก. <http://th.wikipedia.org/wiki>. (10 พฤศจิกายน 2554)
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2536. ปุ๋ยเคมีการผลิตและการประเมินคุณภาพ. เอกสารเผยแพร่. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.
- รัชนิพร สุทธิภาศิลป์และธัญวรรณ ศรีเดชะกุล. 2549. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. เอกสารผลงานทางวิชาการ. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. จังหวัดเชียงใหม่.
- รัชนิพร สุทธิภาศิลป์. 2544. การพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเพื่อการปลูกผัก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์การเกษตร. มหาวิทยาลัยนเรศวร : จังหวัดพิษณุโลก.
- ศักดิ์สิทธิ์ จรรยากรณ์. 2547. การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากข้าวนาปีที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ อัดเม็ดและปุ๋ยเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทรัพยากรการเกษตร. มหาวิทยาลัยขอนแก่น : จังหวัดขอนแก่น.
- กรณ์ทิมา จุทอง. 2549. ผลของการจัดการปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีร่วมกับการจัดการเศษเหลือพืชที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของข้าวโพดหวาน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพมหานคร.
- ประกาศ ช่างเหล็ก, โอฟาร ดันทวิรุพห์, สุดประสงค์ สุวรรณเลิศ, บุญร่วม จันทร์ชื่น และชงชัย มาลา. 2545. ผลของปุ๋ยอินทรีย์สูตร 9 ที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานผงชูรสที่มีต่อผลผลิตหัวสดและปริมาณแป้งในมันสำปะหลัง 2 พันธุ์ (ปลายฤดูฝน). เอกสารผลงานทางวิชาการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพฯ.
- อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ. 2545. การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลสำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : จังหวัดสงขลา.
- ถาวร มีชัย. 2550. การจัดการดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกข้าวโดยใช้วัสดุปุ๋ย ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : จังหวัดสงขลา.
- ทวิช ทำน้าเมือง. 2548. ผลกระทบของปุ๋ยอินทรีย์ – เคมี ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินและการเจริญเติบโตของข้าวโพด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาปฐพีศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพมหานคร.

นิรนาม. 2553. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ แก๊สโซเพิ่มเติ่มโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2550.

www.agriinfo.doae.go.th/year52/knowledge/km_13-01-52.doc. (20 ตุลาคม 2554)

นิรนาม. 2550. เอกสารอ้างอิงการออกแบบการทดลองแบบ RCBD. หน่วยวิจัยพื้นฟูป่า

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. www.forru.org/PDF_Files/rfrtfpdfth/rfrtfappendixth.pdf.

(17 ตุลาคม 2554)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางภาคผนวกที่.1 น้ำหนักฝักรวมเปลือกและน้ำหนักฝักของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ที่ได้จากการสุ่มตรวจ

จำนวน	แปลงที่ใช้ปลูกลำไย		แปลงที่ใช้ปลูกเคมี		แปลงควบคุม	
	น้ำหนักฝัก + เปลือก	น้ำหนัก ฝัก	น้ำหนักฝัก + เปลือก	น้ำหนัก ฝัก	น้ำหนักฝัก + เปลือก	น้ำหนักฝัก
1	320	280	500	380	250	190
2	300	260	450	360	210	180
3	310	275	430	370	200	150
4	320	270	460	370	140	160
5	340	290	480	360	210	170
6	310	275	450	380	200	160
7	300	270	460	370	210	180
8	325	280	440	350	220	175
9	330	280	469	365	200	180
10	310	285	450	360	200	170
เฉลี่ย	316.5	276.5	458.9	366.5	204	171.5

ตารางภาคผนวกที่ 2 การเจริญเติบโตของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ที่ได้จากการสุ่มตรวจ

ลำดับ	ความสูง 14 วัน				ความสูง 30 วัน				ความสูง 45 วัน			
	แปลงควบคุม (Control)				แปลงควบคุม (Control)				แปลงควบคุม (Control)			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	8	15	14.5	19	35.1	36	29.5	30.5	70.6	74	62.5	68
2	9.6	14.5	29	16	32	37	34	32	64	70	68	65.3
3	13	9	24	17	34	29	27	33.3	67	64	67	64.4
4	5	30	23	25	33	31.6	25	29.4	66	62.8	69.1	63.1
5	10	14	14	23	30	27	32	34	64	64	72.2	64
6	11	25	9	15	31	33	34	36	62.6	70.5	61	65
7	19	27	18	9	29.4	32.5	29	31.5	62.8	60.4	60	71
8	10	8	19	7	27	31.4	33.5	38	70	63.6	60	61.4
9	9	11	33	11	25	24	28	35	60	61	71	59
10	11	10	14	7.5	31.5	29	35	27	63.3	59.5	69	58.5
x	10	16.35	19.7	14.9	30.8	31.05	30.7	32.67	65.0	64.9	65.98	63.97
ลำดับ	ความสูง 14 วัน				ความสูง 30 วัน				ความสูง 45 วัน			
	แปลงใช้ปุ๋ยอินทรีย์				แปลงใช้ปุ๋ยอินทรีย์				แปลงใช้ปุ๋ยอินทรีย์			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	10	15	30.5	18	47	45	43	41	94	95.2	82.8	100
2	15	19	29	29.5	43.3	43.3	42.5	39	86.6	90.1	91	99
3	20	32.5	18	31	45.5	42	41	38	90	91	93.5	98.3
4	17	23.5	16	17	43	44	42	41	84.6	94	95	101
5	19	27	23	16	42	46.5	42	42	84.5	92	98	98
6	25	29	41.5	21	41	43	42.5	39	84	89	93.1	93.5
7	30	18	31	22	42	40	41	42	84.5	91	89	91.1
8	41	26	31	25	46.6	38	45	42.5	93.6	87	87	93.5
9	31	39	28	19.5	40.6	42	43	43	84.8	94	94	87.5
10	30	27	30.5	31.4	42.3	46	46	41	81.3	89.5	95	91.3
x	23	25.6	27.8	23.0	43.33	42.98	42.8	40.85	86.7	91.2	91.84	95.32

ลำดับ	ความสูง 14 วัน				ความสูง 30 วัน				ความสูง 45 วัน			
	แปลงใช้ปุ๋ยเคมี				แปลงใช้ปุ๋ยเคมี				แปลงใช้ปุ๋ยเคมี			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	30	38	45	38	67.3	65	61.4	62	134	138	135.6	130.1
2	35	34	43	54	66.4	66.4	63.6	65.4	124	135	138.6	130
3	29	32.5	39	56.5	64.3	64	60	59.5	128	129	131	134.3
4	41	29.5	42.5	42	62	61	64.7	58	124	136	130.4	136.8
5	39	40	35.5	49	62	63	65	64	121	133	134	132.6
6	28	43	38	49	60	65.3	60.3	67.4	146	129	136.2	131.4
7	29	50	41	43.5	59	61.4	61.5	66	120	136	129.4	129.8
8	28	41	55	54.4	67	68.1	60	63	134	135	134	131
9	32	39	43	49	58	62	60	61.4	116	134	139.5	134
10	33	36	49	51.5	61	60	59	60.8	121	134	134.2	130.5
x	32	38.3	43.1	48.6	62.7	63.62	61.55	62.75	127	134	134.2	132.05
ลำดับ	ความสูง 60 วัน				ความสูง 60 วัน				ความสูง 60 วัน			
	แปลงควบคุม (Control)				แปลงใช้ปุ๋ยอินทรีย์				แปลงใช้ปุ๋ยเคมี			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	106	111	123	87	141.4	148.4	165	140	202	212	195	200
2	98	123	104	98	130.9	176	149.1	144.2	187	206	213	206
3	101	105	101	92	135.1	141	126.7	155.4	193	201	181	222
4	99	103	91.7	75	130.2	141	145.6	142.8	186	201	208	204
5	96	102	96	89.5	127.4	147	131.6	82.6	182	210	188	118
6	94	101	86.8	92	125.3	138	137.2	155.4	179	197	196	222
7	94.5	104	98.7	100	126.7	139.3	124.6	142.1	181	199	178	203
8	105	102	97	98	140.7	137	141.4	150.5	201	196	202	215
9	91.5	91.5	98	94	122.5	122	139.3	149.8	175	174	199	214
10	95	95	100	97	127.4	127.4	144.9	134.4	182	182	207	192
x	98	103.75	99.62	92.25	103.76	141.71	140.54	139.72	186.8	197.8	196.7	199.6

ตารางภาคผนวกที่ 3 น้ำหนักฝักของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84 F1 ที่ได้จากการสุ่มตรวจ

ลำดับ	น้ำหนักฝัก				น้ำหนักฝัก				น้ำหนักฝัก			
	แปลงควบคุม (Control)				แปลงใช้ปุ๋ยอินทรีย์				แปลงใช้ปุ๋ยเคมี			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	234	199	194	198	315	266	252	287	450	380	360	410
2	220	204.5	215	205	294	273	238	287	420	390	340	410
3	215	220	147	210	287	294	196	259	410	420	280	370
4	178	191	178	197	238	255.5	238	294	340	365	340	420
5	220	204	183.5	184	294	273	245	280	420	390	350	400
6	215	210	183	198	287	280	245	280	410	400	350	400
7	217	215.5	192	210	290.5	287	255.5	273	415	410	365	390
8	194	204.5	178	173	259	273	238	276.5	370	390	340	395
9	204	194.5	210	194	273	259	217	287	390	370	310	410
10	215	199.5	195	199	287	266	203	245	410	380	290	350
x	211	204.25	187.55	196.9	282.45	272.65	232.75	276.85	403.5	389.5	332.5	395.5
ลำดับ	จำนวนแถวต่อฝัก				จำนวนแถวต่อฝัก				จำนวนแถวต่อฝัก			
	แปลงควบคุม (Control)				แปลงใช้ปุ๋ยอินทรีย์				แปลงใช้ปุ๋ยเคมี			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	8	9	7	7	11	13	11	14	16	18	16	20
2	9	7	9	6	12	11	11	14	17	16	16	20
3	7	7	8	8	11	14	13	12	16	20	18	18
4	8	8	9	7	10	12	14	13	15	17	19	18
5	7	9	7	9	13	13	14	13	18	18	20	18
6	9	6	8	9	12	11	13	12	17	15	19	18
7	10	7	8	9	13	113	13	12	18	18	18	18
8	8	7	7	6	11	11	13	12	19	16	18	18
9	7	9	8	7	11	10	14	13	16	14	20	18
10	7	8	7	8	13	12	13	11	18	17	18	16
x	8	7.7	7.8	7.6	11.7	22	12.9	12.6	17	16.9	18.2	18.2

ตารางภาคผนวกที่ 4 จำนวนเมล็ดต่อฝักของข้าวโพดพันธุ์หวานแม่โจ้ 84F1 ที่ได้จากการสุ่มตรวจ

ลำดับ	จำนวนเมล็ดต่อฝัก				จำนวนเมล็ดต่อฝัก				จำนวนเมล็ดต่อฝัก			
	แปลงควบคุม (Control)				แปลงใช้ปุ๋ยอินทรีย์				แปลงใช้ปุ๋ยเคมี			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	280	351	292	372	373	469	418	594	533	670	598	849
2	371	259	352	336	495	518	503	575	707	740	718	821
3	337	337	336	316	449	482	497	525	642	688	710	750
4	315	340	381	383	420	487	518	536	600	695	740	766
5	382	324	316	345	510	463	489	490	729	661	699	700
6	343	298	259	324	490	427	526	477	700	610	752	681
7	362	326	280	299	518	466	443	482	740	665	632	689
8	324	329	324	325	463	470	508	530	662	672	725	757
9	345	323	297	298	494	462	571	548	706	660	816	783
10	350	340	315	348	500	487	504	487	714	695	720	695
x	340.9	322.7	315.2	334.6	471.2	473.1	497.7	524.4	673.3	675.6	711	749.1
ลำดับ	ความยาวของฝัก				ความยาวของฝัก				ความยาวของฝัก			
	แปลงควบคุม (Control)				แปลงใช้ปุ๋ยอินทรีย์				แปลงใช้ปุ๋ยเคมี			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	10.5	11	9	10	15	14	15	14	21.5	20	21.5	20
2	10	9.5	8	11	15	14	15	14	21.5	20	19.5	20
3	11	8	8	9.5	16	15	14.2	14.3	21.5	21	20	20.5
4	9.8	9	7	8.4	14	15	13.3	14.3	20	20	21.5	20.5
5	10	9.5	7.5	9.5	15	13.2	14	13.3	22	18	21	19
6	11.5	10	8	10	16.4	14	15	14	21	19.5	21	19
7	10	11	9.5	8	14.6	12	14.7	14	20	17	22	20
8	90	9.5	11	8	15	14.5	15	14.7	22	20	20	21
9	11	9	9	8	14.3	14	15.4	15.5	21	21	20	21.5
10	9.5	10	11	9	14	15	14	14.5	20	21	20	20
x	18.33	9.65	8.8	9.14	14.93	14.07	14.56	14.26	21.05	19.75	20.65	20.15

การคิดค่าไฟฟ้าโครงการการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

เครื่องผสม	2	เครื่อง (220 V, 18.5 A)	กำลังไฟฟ้าเท่ากับ	8,140 W
อัดเม็ดปุ๋ย	2	เครื่อง (220 V, 18.5 A)	กำลังไฟฟ้าเท่ากับ	8,140 W

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ชนิดนั้นๆ x จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า ÷ 1000 x จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 วัน = จำนวนหน่วยหรือยูนิิต (<http://www.student.chula.ac.th/~49718863/elec.htm>) [1]

จาก [1] จะได้ว่า $[(8,140 + 8,140) / 1,000] \times 6 = 97.68$ หน่วยหรือยูนิิต
ใช้เวลาอัดเม็ดประมาณ 5 วัน (โดยคิดจากกำลังการผลิตของเครื่องผสมและเครื่องอัดเม็ด)
จะได้ว่า

กำลังไฟในการผลิตเท่ากับ 488.4 หน่วยหรือยูนิิต Ans.

ตารางภาคผนวกที่ 5 วิธีคิด

หน่วยหรือยูนิิต	คิดราคา	เท่ากับ (บาท)
35	-	85.21
115 หน่วยต่อไป	115×1.1236	129.21
250 หน่วยต่อไป	250×2.1329	533.22
ส่วนที่เกินกว่า 400 หน่วย	$(488.4 - 400) \times 2.4226$	214.15
รวมเป็นเงิน	-	961.79

ตารางภาคผนวกที่ 6 การคำนวณค่า FT (ประมาณการ 5.45 สตางค์/เดือน)

หน่วยหรือยูนิิต	คิดราคา	เท่ากับ (บาท)
488.4	488.4×0.05045	24.639
รวมเงิน	$961.79 + 24.639$	986.42
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	$986.42 \times (7/100)$	69.050
รวมเป็นเงินค่าไฟที่เรียกเก็บ	-	1,055.47

การเผยแพร่องค์ความรู้

ในการเผยแพร่องค์ความรู้ในส่วนของการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดนั้น ผู้เข้าร่วมรับฟังการบรรยายส่วนใหญ่มีความต้องการที่จะผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตกเกรดอยู่แล้ว แต่ขาดในเรื่องของการลงทุน อาทิเช่น เครื่องผสมและเครื่องอัดเม็ด โดยแต่ละหมู่บ้านในเขตตำบลป่าสักนั้นนิยมที่จะผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุเหลือทิ้ง เช่นเศษใบไม้กิ่งไม้ต่างๆ โดยนับว่าการบรรยายในวันนี้สามารถที่จะกระตุ้นให้ชาวบ้านที่มารับฟังการบรรยาย เกิดแนวความคิดในกระบวนการที่จะผลิตปุ๋ยจากกระบวนการหมักใบไผ่แก๊ส ซึ่งจะได้ประโยชน์กันทั้ง 2 ทาง



ภาพผนวกที่ 1 บรรยายการเข้าร่วมรับฟังการบรรยายการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากลำไยตกเกรด

จากการเข้าร่วมรับฟังการบรรยาย ชาวบ้านส่วนใหญ่จะนำเอาองค์ความรู้ที่ได้ในครั้งนี้ ไปต่อยอด เพื่อที่จะช่วยในเรื่องของการลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของการใช้ปุ๋ยเคมี โดยจะนำปุ๋ยอินทรีย์จากลำไยตกเกรดมาใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีในท้องตลาด โดยชาวบ้านในพื้นที่หวังเป็นอย่างยิ่งว่าทางศูนย์วิจัยพลังงานจะนำเอาองค์ความรู้ที่มีความสำคัญและเหมาะสมต่อชุมชนมาทำการเผยแพร่ให้ชาวบ้านได้รับทราบในอนาคตต่อไป