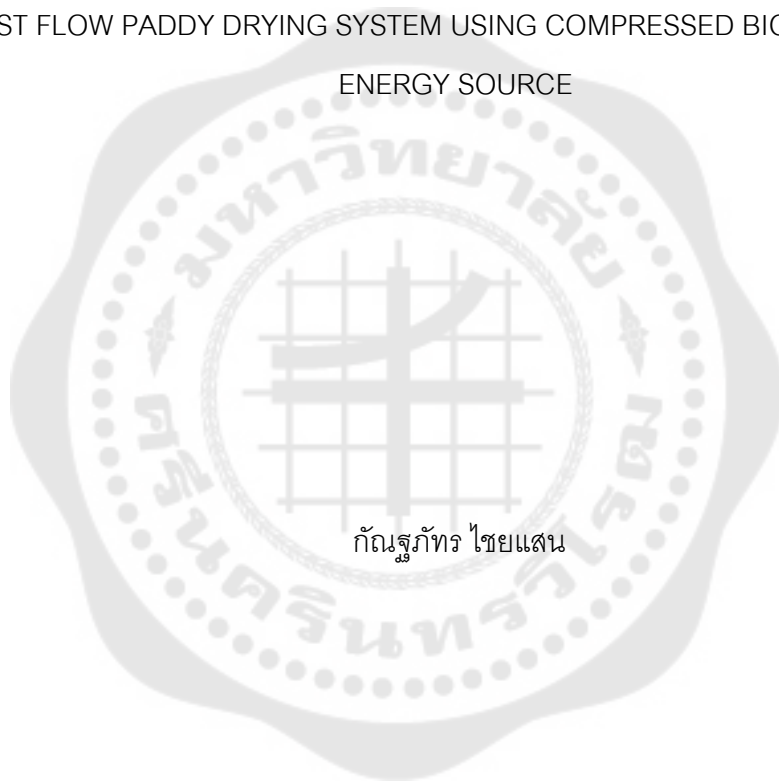




ระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทไฟลวที่ใช้ก๊าซไบโอมีเทนอัดเป็นแหล่งพลังงาน
MUST FLOW PADDY DRYING SYSTEM USING COMPRESSED BIOMETHANE AS
ENERGY SOURCE



กัณฐุภัทร ไชยแสน

ระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติฟิวลที่ใช้ก๊าซไบโอมีเทนอัดเป็นแหล่งพลังงาน



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

MUST FLOW PADDY DRYING SYSTEM USING COMPRESSED BIOMETHANE AS
ENERGY SOURCE



KANTHAPHAT CHAIYASAEN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF ENGINEERING
(Mechanical Engineering)

Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

2022

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง

ของ

กัณฐุภัทร ไชยแสน

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยวานิชกุล) (รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สงกรานต์ วิริยะศาสตร์)

| | |
|------------------|---|
| ชื่อเรื่อง | ระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติฟลูว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมีเทนอัดเป็นแหล่งพลังงาน |
| ผู้วิจัย | กัณฐภัทร ไชยแสน |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| ปีการศึกษา | 2565 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รองศาสตราจารย์ ดร. ประชา บุญยวานิชกุล |

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพารามิเตอร์ของเครื่องอบแห้งด้วยเครื่องแห้งแบบมัลติฟลูว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมีเทนอัดและก๊าซปิโตเลียมเหลวเป็นแหล่งพลังงาน ในการอบแห้งข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 80) และข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 6 (ข้าวเหนียว) โดยในการศึกษานี้เครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์จะถูกควบคุมความเร็วของอากาศร้อน อัตราการไหลของข้าวเปลือกและอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ว่ามีผลต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 21-23 % (w.b) อย่างไร ในการทดลองกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องแห้งแบบมัลติฟลูว์มีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานโดยกำหนดความเร็วรอบการหมุนของโรตารีวาล์ว 2.0, 4.0, และ 6.0 รอบต่อนาทีและกำหนดความเร็วของอากาศร้อนที่ไหลออกจากห้องอบแห้ง 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s โดยควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งที่ 130 °C และความเร็วรอบของการยกห้องอบแห้งที่ 110 rpm จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วรอบการหมุนของโรตารีวาล์ว 2.0 รอบต่อนาทีและความเร็วอากาศร้อนออกจากเครื่องอบแห้ง 2.0 m/s สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้นที่ 21-23 % (w.b) ได้ปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ 14 % (w.b) โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 10.16 MJ/kg water removed เมื่อใช้แหล่งพลังงานจากก๊าซไบโอมีเทนอัดในกระบวนการอบแห้งสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 1) โดยภายหลังการอบแห้งมีอัตราการกะเทาะเปลือกเป็น 93.33 % และผลการตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความขาวของข้าวสารภายหลังการอบแห้งที่ 30.6% และสำหรับการใช้พลังงานก๊าซปิโตเลียมเหลวในกระบวนการอบแห้งค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 14.72 MJ/kg water removed สำหรับข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 6 (ข้าวเหนียว) โดยภายหลังการอบแห้งมีอัตราการกะเทาะเปลือกเป็น 92.33 % และผลการตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความขาวของข้าวสารภายหลังการอบแห้งที่ 61.9%

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, ก๊าซไบโอมีเทน, เครื่องอบแบบมัลติฟลูว์, อบแห้งข้าวเปลือก

| | |
|----------------|--|
| Title | MUST FLOW PADDY DRYING SYSTEM USING COMPRESSED BIOMETHANE AS ENERGY SOURCE |
| Author | KANTHAPHAT CHAIYASAEN |
| Degree | MASTER OF ENGINEERING |
| Academic Year | 2022 |
| Thesis Advisor | Associate Professor Dr. Pracha Bunyawanichakul |

This research aimed to investigate the parameters of a dryer using a must flow type dryer that uses compressed biomethane gas and liquid petroleum gas as energy sources for drying paddy of GorKhor 31 (Pathum Thani 80) and GorKhor 6 (sticky rice) varieties. In this study, the must flow dryer was controlled for the speed of hot air, the flow rate of paddy, and the temperature inside the drying room, to observe their effects on reducing the moisture content of the paddy, which initially had about 21-23% moisture content (w.b). In the experiment, the drying process with the must flow dryer set the working conditions by determining the rotational speed of the rotary valve to be 2.0, 4.0, and 6.0 rotations per minute and setting the speed of the hot air flowing out of the drying room to 1.0, 1.5, and 2.0 m/s. The temperature in the drying room was controlled at 130°C and the rotation speed of the drying room lift was set at 110 rpm. After the experiment, it was found that at a rotary valve rotational speed of 2.0 rotations per minute and a hot air speed exiting the dryer of 2.0 m/s, the moisture content of the paddy could be reduced from an initial moisture content of 21-23% (w.b) to a final moisture content of 14% (w.b). This resulted in a specific energy consumption value of 10.16 MJ/kg water removed when using compressed biomethane gas as an energy source in the drying process for drying the paddy of the GorKhor 31 (Pathum Thani 1) variety. After drying, the husking rate was 93.33% and the measured percent whiteness of the milled rice after drying was 30.6%. For using liquid petroleum gas as an energy source in the drying process, the specific energy consumption value was 14.72 MJ/kg water removed for the GorKhor 6 (sticky rice) variety. After drying, the husking rate was 92.33%, and the measured percent whiteness of the milled rice after drying was 61.9%.

Keyword : Biogas Biomethane gas Must Flow dryer Paddy drying

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับมหาบัณฑิตในหัวข้อเรื่อง ระบบ
อบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทีโฟลวที่ใช้ก๊าซไบโอมีเทนอัดเป็นแหล่งพลังงาน

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการเข้าร่วมประชุมวิชาการและเสนอผลงานของนิสิต
บัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ ที่สนับสนุนให้ความ
ช่วยเหลือก๊าซไบโอมีเทนอัดทดลองงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกรมการข้าวศูนย์วิจัยปทุมธานี ที่สนับสนุนอำนวยความสะดวกให้
ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐาน

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยานิชกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา
ที่ช่วยให้คำแนะนำในด้านวิชาการ และรองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์ ซึ่งเป็นประธานใน
การสอบท่านได้ให้แนวทางที่เหมาะสมเพิ่มเติมในด้านวิชาการและแนวคิดในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่
เกิดขึ้นในการทำปริญญาานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการควบคุมปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา อัน
เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำนิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบุคลากรจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุก
ท่านที่อำนวยความสะดวกให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึง ญาติๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยสนับสนุนและ
เป็นกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จในการศึกษา

กัณฐุภัทร ไชยแสน

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูปภาพ | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย | 1 |
| วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 การลดความชื้นในการอบแห้ง | 4 |
| 2.2 ความชื้นในเมล็ดพืช..... | 5 |
| 2.3 การวัดปริมาณความชื้นในเมล็ด..... | 7 |
| 2.4 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบอากาศร้อนไหลตั้งฉาก | 8 |
| 2.5 การดำเนินการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง..... | 9 |
| 2.6 การถ่ายเทมวลความร้อน..... | 10 |
| 2.7 ทฤษฎีการถ่ายเทมวลสาร..... | 17 |
| 2.8 การหาค่าที่ใช้พลังงาน..... | 18 |
| 2.9 การประเมินประสิทธิภาพการอบแห้ง | 22 |

| | |
|---|----|
| 2.10 เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว..... | 24 |
| 2.11 ก๊าซชีวภาพ | 27 |
| 2.12 มาตรฐานคุณภาพของก๊าซคุณภาพชีวภาพอัด | 32 |
| 2.13 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ | 35 |
| 2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 37 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 45 |
| 3.1 ข้อมูลเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโพล์ที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงก๊าซไปโอมิเทนอัด | 45 |
| 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด | 47 |
| 3.3 ขั้นตอนการทดสอบการอบแห้ง | 56 |
| 3.4 การเตรียมข้าวเปลือกก่อนการทดสอบ..... | 57 |
| 3.5 การทดสอบการอบแห้งด้วยพลังงานเชื้อเพลิงก๊าซไปโอมิเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)..... | 57 |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย | 59 |
| 1.ผลการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพล์เพื่อเป็นต้นแบบในการใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด (CBG)..... | 59 |
| 2.ผลการทดสอบเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพล์การใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) | 59 |
| 3.ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพล์ที่ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด (CBG) เทียบกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ใช้ในกระบวนการอบแห้ง | 59 |
| 4.ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้ง . | 59 |
| 4.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพล์ที่ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG | 59 |
| 4.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพล์ที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG..... | 71 |

| | |
|---|-----|
| 4.3 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสทีโฟลวที่ ใช้แหล่งพลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด (CBG) เทียบกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ใช้ใน กระบวนการอบแห้ง..... | 83 |
| 4.4 ผลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ | 86 |
| 4.5 คุณภาพข้าวภายหลังการอบแห้ง | 92 |
| 4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ | 93 |
| บทที่ 5 สรุปผล..... | 100 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล | 100 |
| 5.2 อภิปรายผล | 100 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ | 102 |
| บรรณานุกรม | 103 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 123 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตาราง 1 การเปรียบเทียบค่าความร้อนเปรียบเท่ากับก๊าซชีวภาพ (60%CH) ปริมาตร 1 m | 28 |
| ตาราง 2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ..... | 29 |
| ตาราง 3 คุณสมบัติของก๊าซต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ..... | 30 |
| ตาราง 4 คุณสมบัติของก๊าซ CBG | 31 |
| ตาราง 5 ข้อกำหนดคุณภาพน้ำชีวภาพ ตามมาตรฐาน SS155438 ของประเทศสวีเดน..... | 33 |
| ตาราง 6 การทำงานและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ..... | 43 |
| ตาราง 7 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติฟิวลวโดยใช้ก๊าซไบโอมีเทนอัดเป็นแหล่งพลังงาน เชื้อเพลิง..... | 47 |
| ตาราง 8 ประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้แหล่ง พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG | 87 |
| ตาราง 9 ประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้แหล่ง พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG | 88 |
| ตาราง 10 ประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้แหล่ง พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG..... | 89 |
| ตาราง 11 ประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้แหล่ง พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG..... | 90 |
| ตาราง 12 ตารางการเปรียบเทียบเฉลี่ยการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้ง..... | 91 |
| ตาราง 13 วิเคราะห์งบลงทุนค่าใช้จ่ายรายปีและรายได้ปี (LPG)..... | 94 |
| ตาราง 14 ผลพิจารณาความเป็นไปได้ของโครงการ..... | 94 |
| ตาราง 15 ตารางวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ | 95 |
| ตาราง 16 วิเคราะห์งบลงทุน ค่าใช้จ่ายรายปีและรายได้รายปี (CBG) | 97 |
| ตาราง 17 วิเคราะห์งบลงทุน ค่าใช้จ่ายรายปีและรายได้รายปี (CBG) | 97 |

ตาราง 18 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์..... 98



สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| ภาพประกอบ 1 การหักลดน้ำหนักความชื้นข้าวเปลือก | 1 |
| ภาพประกอบ 2 เส้นความชื้นสมดุลของเมล็ดข้าวโพดที่อุณหภูมิ 22 °C | 4 |
| ภาพประกอบ 3 อัตราส่วนของน้ำหนักในเมล็ดพืช | 5 |
| ภาพประกอบ 4 เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบแท่งตะเกียบ | 7 |
| ภาพประกอบ 5 เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบบด | 8 |
| ภาพประกอบ 6 การเคลื่อนที่การไหลของอากาศร้อนและเมล็ดพืช | 9 |
| ภาพประกอบ 7 ชุดอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบมัสทิฟอล์ว | 10 |
| ภาพประกอบ 8 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ และแบบบังคับ | 12 |
| ภาพประกอบ 9 การแผ่รังสี | 13 |
| ภาพประกอบ 10 การนำความร้อนใน 1 มิติตามแกน | 15 |
| ภาพประกอบ 11 โรตารีวาล์ว | 18 |
| ภาพประกอบ 12 ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (ก) Propane (ข) N-butane (ค) Iso-butane | 25 |
| ภาพประกอบ 13 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทิฟอล์วโดยใช้ก๊าซไปโอมีเทนอัดเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง | 46 |
| ภาพประกอบ 14 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทิฟอล์ว | 46 |
| ภาพประกอบ 15 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ | 48 |
| ภาพประกอบ 16 ชุดโรตารีวาล์ว | 49 |
| ภาพประกอบ 17 ชุดยกห้องอบแห้ง | 49 |
| ภาพประกอบ 18 ชุดผลิตอากาศร้อนก๊าซไปโอมีเทนอัด (CBG) | 50 |
| ภาพประกอบ 19 ชุดผลิตอากาศร้อนก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) | 50 |
| ภาพประกอบ 20 ชุดควบคุมการทำงานเครื่องอบแห้ง | 51 |

| | |
|--|----|
| ภาพประกอบ 21 อุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิ | 51 |
| ภาพประกอบ 22 ชุดปรับตั้งการไหลลมร้อน (Hot air outlet set) | 52 |
| ภาพประกอบ 23 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชแบบมือถือ และ เครื่องวัดความชื้นข้าวแบบเกลียวบิด | 53 |
| ภาพประกอบ 24 เครื่องชั่งดิจิตอล | 53 |
| ภาพประกอบ 25 การปรับอัตราการป้อนเมล็ดพืช | 54 |
| ภาพประกอบ 26 การปรับอัตราการป้อนเมล็ดพืชแบบแปรผันตามอุณหภูมิห้องอากาศร้อน | 54 |
| ภาพประกอบ 27 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ Biogas Measurement..... | 55 |
| ภาพประกอบ 28 เครื่องกะเทาะเปลือกข้าวและเครื่องวัดสี วัดความโปร่งใสสีเมล็ดข้าว | 55 |
| ภาพประกอบ 29 การเตรียมข้าวเปลือก | 57 |
| ภาพประกอบ 30 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง | 60 |
| ภาพประกอบ 31 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก | 61 |
| ภาพประกอบ 32 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง | 62 |
| ภาพประกอบ 33 กแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก | 63 |
| ภาพประกอบ 34 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง | 64 |
| ภาพประกอบ 35 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก | 65 |
| ภาพประกอบ 36 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง | 66 |

ภาพประกอบ 50 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง 80

ภาพประกอบ 51 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก..... 81

ภาพประกอบ 52 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง 82

ภาพประกอบ 53 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก 83

ภาพประกอบ 54 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเปลือกที่ความเร็วมอเตอร์ 92

ภาพประกอบ 55 เปรียบเทียบค่าร้อยละการกะเทาะเปลือกที่ความเร็วมอเตอร์..... 93



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ข้าว ถือเป็นอาหารหลักของคนไทย โดยปกติ การปลูกข้าว เมื่อถึงระยะเวลาที่ต้องเก็บเกี่ยวข้าวเปลือก (paddy) ข้าวเปลือกจะมีความชื้นค่อนข้างสูง อยู่ที่ประมาณ 22 ถึง 25% (ความชื้นฐานเปียก) ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและฤดูกาล จึงทำให้ต้องมีกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวข้าวเปลือก โดยการลดปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก (paddy dehydration) สำหรับลดการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพของข้าวเปลือก โดยความชื้นที่เหมาะสม สำหรับข้าวเปลือกอยู่ที่ประมาณ 13 ถึง 14% (ความชื้นฐานเปียก) ซึ่งสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน 2-3 เดือน หากนำไปจำหน่ายให้กับโรงสี การลดความชื้นไม่เกิน 15 %wb สามารถขายข้าวเปลือกได้ราคาดีกว่า เนื่องจากไม่มีการนำเอาปริมาณน้ำออก ซึ่งจำนวนของปริมาณน้ำหนักข้าวเปลือกทั้งหมด ที่เป็นไปตามกรมการค้าภายในกำหนด ดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบ 1 การหักลดน้ำหนักความชื้นข้าวเปลือก

ที่มา: การหักลดน้ำหนักความชื้นข้าวเปลือก (สุรชัย,2562)

โดยการนำข้าวเปลือกที่มีจำนวนปริมาณความชื้นมากเกินไปจำหน่ายให้กับโรงสีทำให้คุณภาพข้าวเปลือกต่ำและราคาจำหน่ายที่ต่ำกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำซึ่งในกระบวนการลด

ความชื้นส่วนมากจะมีการดำเนินการด้วยเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ โดยการใช้อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเปลือกของเมล็ดพืชเป็นการเกิดวิธีการถ่ายเทมวลความร้อนและมวลความร้อนขึ้น (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540) การกระจายความร้อนของลมร้อนจะถ่ายเทไปที่เมล็ดพืช ภายหลังจากการลดความชื้นที่สามารถแบ่งตามชนิดของเครื่องอบแห้งได้ 2 ประเภทหลัก ๆ คือ เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ และเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลหรือเคลื่อนที่ เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชเคลื่อนที่ซึ่งสามารถแยกประเภทตามการไหลของอากาศร้อนและการไหลของเมล็ดพืช คือ แบบอากาศร้อนไหลขนานกับเมล็ดพืช (parallel flow) และแบบอากาศร้อนไหลตั้งฉากกับเมล็ดพืช (cross flow) การไหลของอากาศร้อนจากผู้จ่ายได้เรียนรู้การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง อาทิ เช่น เครื่องอบแห้งแบบหล่นอิสระ, เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม, เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด , ระบบอบแห้งแบบมัลติโฟลว์ ซึ่งในงานนี้วิจัยได้มีการนำเทคโนโลยีการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลว์ ลดความชื้น โดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) แทนก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เนื่องจากเชื้อเพลิงก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) เป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียน ที่สามารถผลิตได้ในประเทศ และให้พลังงานความร้อนเทียบเท่ากับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ด้วยเหตุนี้ โดยการจะพัฒนาระบบควบคุมการไหลของอากาศร้อนที่ใช้พลังงานก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เพื่อลดปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลว์
2. ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นแหล่งพลังงาน
3. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG)

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ใช้ข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 31 (ปทุมธานี 80) และข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 6 (ข้าวเหนียว)
2. จำนวนข้าวเปลือกในการทดลองที่ 7 kg
3. ใช้ความชื้นเริ่มต้นในการอบแห้งข้าวเปลือกของข้าวเปลือก (initial moisture content, IMC) ที่ได้ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว เช่น ช่วง 21-23 %wb (ความชื้นฐานเปียก)
4. ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) เป็นแหล่งพลังงาน

5. พิจารณาอัตราการดำเนินการอบแห้งช่วงอัตราคงที่
6. คุณหมุมิภายในห้องอบแห้งในระดับ 130 องศาเซลเซียส
7. ความเร็วของชุดเขย่าห้องอบแห้ง (eccentric set) ที่ 110 rpm
8. ความเร็วการไหลของอากาศร้อนออกจากเครื่องอบแห้ง ที่ 1, 1.5 และ 2 m/s
9. ควบคุมด้วยการหมุนชุดโรตารีวาล์ว (rotary valve) ความเร็วรอบ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ 2, 4 และ 6 rpm (หรืออัตราการไหลของเมล็ดพืชเข้าห้องอบแห้ง 49, 75 และ 130 kg/hr)

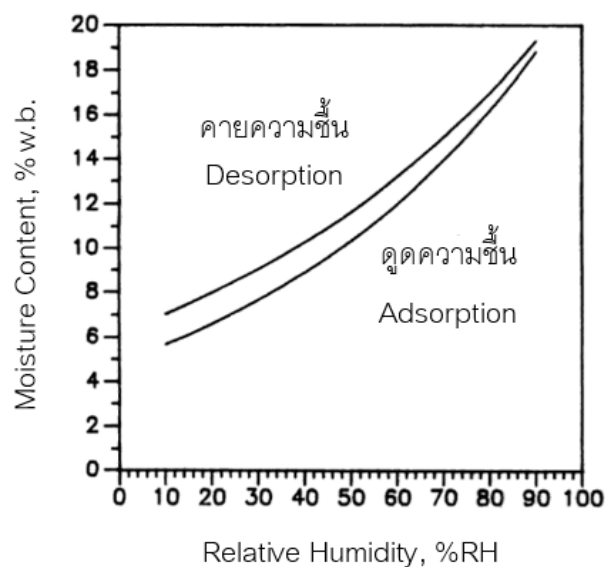
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอิทธิพลของตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้งด้วยก๊าซไบโอมิเทนอัด
2. ทราบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและประสิทธิภาพการอบแห้งข้าวเปลือกก๊าซไบโอมิเทนอัด
3. ได้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่เป็นต้นแบบในกระบวนการอบแห้งที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัดเป็นแหล่งพลังงาน
4. เพื่อส่งเสริมให้กลุ่มผู้ปลูกข้าวดำเนินการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงในระดับที่เหมาะสมก่อนนำไปจำหน่าย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การลดความชื้นในการอบแห้ง

การอบแห้งคือขั้นตอนการลดชื้นของเมล็ดพืชเป็นการทำให้ความชื้นในเมล็ดระเหยออก วิธีการลดปริมาณน้ำที่อยู่ภายในเมล็ดพืชโดยให้น้ำในเมล็ดพืชเคลื่อนตัวสู่ภายนอกโดยกระแหะเหยเป็นไอ ซึ่งเมล็ดพืชมีสารอาหารต่างๆ เช่น สารอาหารพวกแป้งและโปรตีนเป็นส่วนประกอบ โดยสามารถดูปริมาณน้ำและคายปริมาณน้ำได้ดี ดังภาพประกอบที่ 2 เส้นความชื้นสมดุลของเมล็ดข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 22 °C



ภาพประกอบ 2 เส้นความชื้นสมดุลของเมล็ดข้าวโพดที่อุณหภูมิ 22 °C

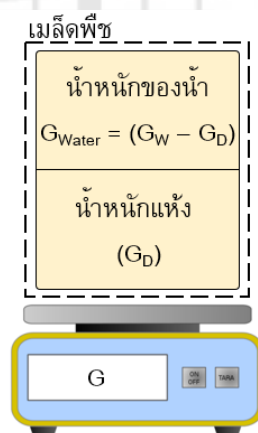
ที่มา: (Brooker et al., 1992)

การลดปริมาณความชื้นจะนิยมใช้ในกระบวนการถ่ายเทมวลความชื้นและถ่ายเทมวลความร้อนไปสู่เมล็ดพืชเกิดการนำความชื้นภายในเมล็ดพืชออกในรูปแบบความร้อนแฝง เมล็ดพืชที่ได้รับความร้อนจะเกิดกระแหะเหยความชื้นออกมาประโยชน์ของการแห้งคือ

1. เพื่อเป็นการยืดอายุการเก็บรักษา เมล็ดพืชที่แห้งสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานกว่า โดยที่ไม่เสื่อมเสียและลดคุณภาพลง เนื่องจากเมล็ดที่แห้งจะมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดน้อยลง
2. เพื่อลดน้ำหนักของเมล็ดพืช เมล็ดที่มีปริมาตรหรือน้ำหนักน้อยที่จะลดประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการเก็บรักษา
3. เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งก่อนนำไปสีเพื่อแปรรูปและยังช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การออกสูง เมล็ดพืชที่ผ่านการอบสามารถเก็บไว้ได้นานเกษตรกรสามารถเลือกเวลาการนำไปจำหน่ายตอนที่มีราคาขึ้นได้

2.2 ความชื้นในเมล็ดพืช

ความชื้นในเมล็ดพืช คือน้ำที่มีอยู่ในเมล็ดพืชความชื้นในเมล็ดพืชสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน ในส่วนที่หนึ่ง คือมวลของเมล็ดพืชแห้งและในส่วนที่สอง คือปริมาณน้ำหนักของน้ำภายในเมล็ดพืช (Khanali et al.) คือมวลของปริมาณน้ำเปรียบเทียบกับมวลน้ำหนักของเมล็ดพืช ดังภาพประกอบที่ 3 อัตราส่วนของน้ำหนักในเมล็ดพืช



ภาพประกอบ 3 อัตราส่วนของน้ำหนักในเมล็ดพืช

ที่มา: อัตราส่วนของน้ำหนักในเมล็ดพืช (สุรชัย,2562)

การที่เอาเมล็ดพืชที่มีปริมาณความชื้นมาชั่งน้ำหนัก จะแบ่งได้ 2 ส่วน 1 คือมวลเมล็ดพืชแห้ง (GD) 2 คือปริมาณของน้ำภายในเมล็ดพืช (GWater) การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นทำได้โดย

การลดความชื้นภายในเมล็ดพืชแห้ง และมวลของเมล็ดที่หายไป คือ มวลของความชื้นภายในเมล็ด โดยได้แบ่งการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดพืชเป็น 2 ประเภท คือ

1. ปริมาณความชื้นฐานเปียก (wet-basis moisture content, MC_w)
2. ปริมาณความชื้นฐานแห้ง (dry-basis moisture content, MC_D)

ความชื้นฐานเปียก เป็นความชื้นที่ใช้ในการค้าข้าวเช่น วงการโรงสีนิยมใช้เป็นเกณฑ์กำหนดราคาซื้อขายข้าว โดยความชื้นฐานเปียกสามารถหาได้จากสมการ 1 ที่อ้างอิงในรูปของร้อยละ

$$MC_w = \left(\frac{G_w - G_D}{G_w} \right) \times 100 \% \quad (1)$$

ความชื้นฐานแห้ง เป็นความชื้นที่ใช้ในวงการวิเคราะห์ กระบวนการอบแห้ง คำนวณเพราะปริมาณของเมล็ดพืชที่แห้งจะมีค่าคงตัว เนื่องจากระหว่างกระบวนการอบแห้ง ขณะที่มีการเผาผลาญสารอาหารมวลของเมล็ดพืชทำให้เมล็ดมีขนาดที่เล็กลง โดยความชื้นฐานแห้งหาได้จากสมการที่ 2

$$MC_D = \left(\frac{G_w - G_D}{G_D} \right) \times 100 \% \quad (2)$$

| | | |
|-------|-----------------|---------------------------------------|
| เมื่อ | MC _w | คือ ความชื้นฐานเปียก, ร้อยละ หรือ %wb |
| | MC _D | คือ ความชื้นฐานแห้ง, ร้อยละ หรือ %wb |
| | G _w | คือ มวลของเมล็ดพืชทั้งหมด, kg |
| | G _D | คือ มวลของเมล็ดพืชแห้ง, kg |

การลดความชื้นเมล็ดพืช คือข้าวเปลือกด้วยการอบแห้งเพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้นประมาณ 15 %wb ที่เหมาะสมการนำไปค้าขายจากกรมการค้าภายใน หรือมีความชื้นปริมาณ 14 %wb สามารถยืดอายุการเก็บรักษาถ้าความชื้นของข้าวเปลือกต่ำกว่านี้ น้ำหนักของข้าวเปลือกมีน้ำหนักที่ลดลง ซึ่งมวลที่ลดลงหาได้จากสมการ 3

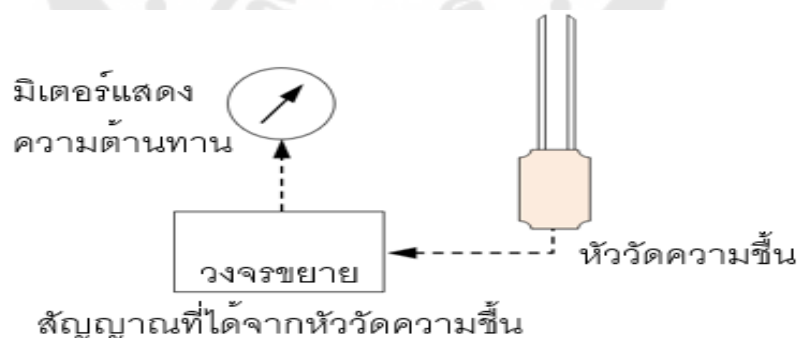
$$m_2 = \frac{(100 - \text{IMC})}{(100 - \text{FMC})} \times m_1 \quad (3)$$

| | | |
|-------|-------|--|
| เมื่อ | m_1 | คือ มวลข้าวเปลือกก่อนลดความชื้น, kg |
| | m_2 | คือ มวลข้าวเปลือกหลังจากลดความชื้น, kg |
| | IMC | คือ ความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น, % |
| | FMC | คือ ความชื้นข้าวเปลือกสุดท้าย, % |

2.3 การวัดปริมาณความชื้นในเมล็ด

การวัดปริมาณค่าความชื้นในเมล็ดพืชสามารถแบ่งได้ 2 วิธีคือ แบบโดยตรง และแบบโดยอ้อม ที่การเก็บรักษาตัวอย่างควรเก็บไว้ในภาชนะที่ป้องกันการเกิดการถ่ายเทความชื้น

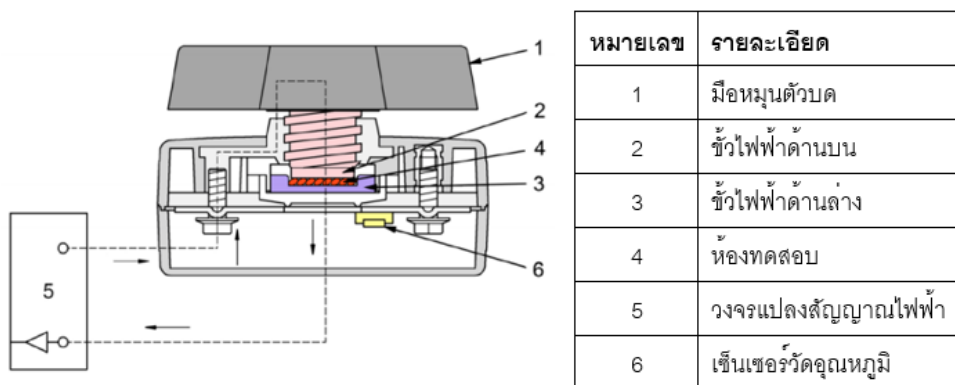
1. การวัดค่ากระแสความต้านทาน (electrical resistance method) คือการนำไฟฟ้าอยู่ที่ค่าความชื้นภายในเมล็ดพืช เมื่อทราบค่าความต้านทานของเมล็ดพืช ก็สามารถนำมาเปรียบเทียบผลลัพธ์ความชื้นได้ โดยการวัดค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้าแบ่งได้ 2 วิธีคือ แบบถูกบีบอัดเมล็ดพืชและแบบไม่ถูกบีบอัดเมล็ดพืชเป็นแท่งกลมยาวหัววัดค่าประมวลผลความชื้น ดังภาพประกอบที่ 4 เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบแท่งตะเกียบ



ภาพประกอบ 4 เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบแท่งตะเกียบ

2. การวัดความชื้นมีลักษณะเป็นแท่งยาว 2 แท่ง (แบบเส้นยาว) เป็นหัววัดความชื้นขั้นตอนการวัดโดยการเสียบแท่งยาววัดลงไป ซึ่งการวัดแบบนี้จะเป็นการตรวจสอบที่ไม่ค่อยละเอียดแบบบดเมล็ดพืชจะบดด้วยเกรียวและภายในเป็นโลหะจะทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าที่เข้าวงจร

ส่งสัญญาณให้แปรผลในระดับความชื้นต่อไป ดังภาพประกอบที่ 5 และมีงานวิจัยเพิ่มเติมที่ประยุกต์ใช้หลักการนี้ในรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามความชื้นอีกด้วย

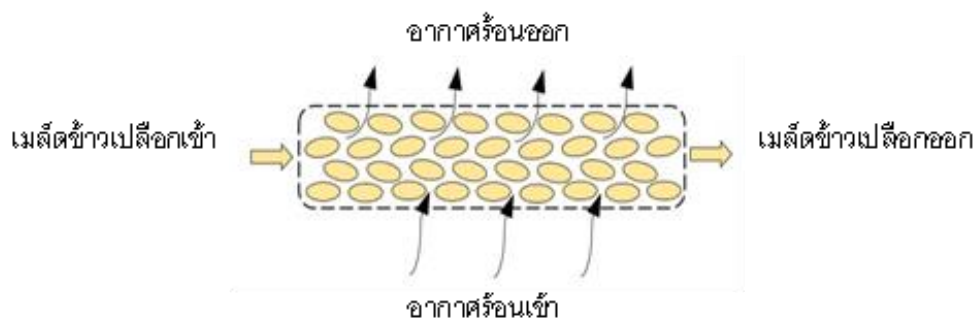


ภาพประกอบ 5 เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบบด

ที่มา: อัตราส่วนของน้ำหนักในเมล็ดพืช (สุรชัย, 2562)

2.4 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบอากาศร้อนไหลตั้งฉาก

เครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นให้กับเมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นจากการเก็บเกี่ยวตามฤดูกาล โดยการใช้อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นของเมล็ดพืชมีการถ่ายเทมวลความชื้นและมวลความร้อนเกิดขึ้นพร้อมกัน ความร้อนมีการถ่ายเทไปที่เมล็ดพืช โดยเครื่องอบแห้งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชอยู่กับที่ และเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชไหลหรือเคลื่อนที่ (Brooker et al., 1992) เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชเคลื่อนที่ที่สามารถแบ่งตามการเคลื่อนที่การไหลอากาศร้อนและการไหลเมล็ดพืช คือ แบบอากาศร้อนไหลขนาน (parallel flow) และแบบอากาศร้อนไหลตั้งฉาก (cross flow) ดังภาพประกอบที่ 6 การเคลื่อนที่การไหลอากาศร้อนและเมล็ดพืช



ภาพประกอบ 6 การเคลื่อนที่การไหลของอากาศร้อนและเมล็ดพืช

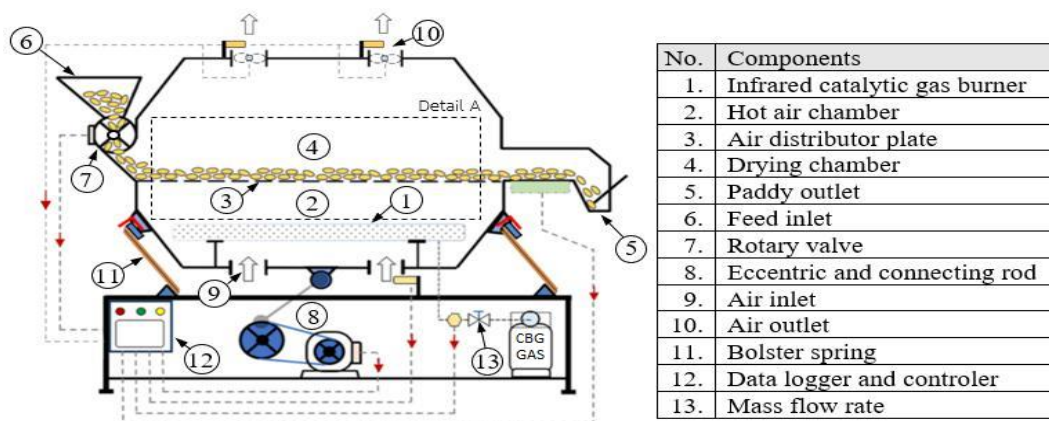
ที่มา: (Brooker et al., 1992)

2.5 การดำเนินการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง

การศึกษาการทำงานของเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนอุปกรณ์และการควบคุม แบ่งได้ 2 ขั้นตอนคือ

1. การอบแห้งบรรจุเมล็ดพืชที่ต้องการอบลงไปยังหมายเลข 6 (feed inlet) เมล็ดพืชจะนำเข้าสู่อุปกรณ์ป้อนเมล็ดพืช หมายเลข 7 (rotary valve feeder) เมล็ดพืชจะเคลื่อนที่อยู่บนแผ่นกระจายความร้อน หมายเลข 3 (air distributor plate) การเคลื่อนที่ของเมล็ดพืชจะเกิดการเขย่าตัวของชุดควบคุมระยะยก หมายเลข 8 (eccentric set) และส่งกำลังไปที่ก้านข้อต่อห้องอบแห้งจะใช้สปริงในการรับน้ำหนัก หมายเลข 11 (leaf spring) ผู้ควบคุมเครื่องอบแห้งจะต้องปรับตั้งพารามิเตอร์ หมายเลข 7, 8 และเริ่มการทำงานของพัดลมดูดอากาศร้อน หมายเลข 10 (air outlet) อากาศไหลผ่านรูทางเข้าของเครื่อง หมายเลข 9 (air inlet) เข้าสู่ห้องสร้างอากาศร้อน หมายเลข 2 (hot air chamber) เข้าสู่แผ่นเหล็กกระจายความร้อน ความร้อนไหลผ่านชั้นเมล็ดข้าวเปลือกเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง หมายเลข 4 (drying chamber) และอุปกรณ์ทำงานเพื่อลดอุณหภูมิร้อน ออกเป็นบรรยากาศแวดล้อม ในกระบวนการเปิดชุดการไหลของก๊าซโบโอมิเทนอัด (liquefied petroleum gas: CBG) หมายเลข 13 (mass flow rate) ก๊าซการไหลต่อก่อนนำเข้าสู่เตาอินฟราเรด หมายเลข 1 (infrared catalytic gas burner) ระบบจุดไฟก๊าซจะเริ่มทำงานโดยอากาศร้อนที่ไหลผ่านห้องสร้างลมร้อนไปยังห้องอบและทำให้ความร้อนคงที่ตามเงื่อนไขการศึกษาทดสอบ ดังภาพประกอบที่ 7 ชุดอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์ 2 ขั้นตอน

ก่อนอบแห้ง (drying operation) โดยปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ หมายเลข 7, 8, 11 ระดับอุณหภูมิของลมร้อน หมายเลข 13 ก๊าซไหลผ่านนำเข้าสู่เตาอินฟราเรด



ภาพประกอบ 7 ชุดอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพลาร์

2.6 การถ่ายเทมวลความร้อน

การนำความร้อน (Conduction) เมื่อนำความร้อนใส่แก้วที่เป็นโลหะ (Cengel, 2020) แล้วนำไปวางในแก้วอีกใบที่ใหญ่มีน้ำเย็นอยู่ ผ่านไปน้ำในแก้วทั้ง 2 ใบ จะมีอุณหภูมิเท่ากัน หรือ ต้มน้ำในกาหาคือของไปสัมผัสกับก้นน้ำ ทำให้เรารู้สึกถึงร้อนจากก้นน้ำ ทำให้ความร้อน เป็นการถ่ายโอนความร้อนในรูปแบบของการนำความร้อน ดังภาพที่ 8 โดยมีสมการดังนี้

$$Q_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (4)$$

$$Q_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \Big|_{\Delta x \rightarrow 0} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (5)$$

เมื่อ Q_{cond} คือ อัตราการส่งผ่านความร้อน

k คือ สัมประสิทธิ์ที่นำความร้อนของวัสดุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ

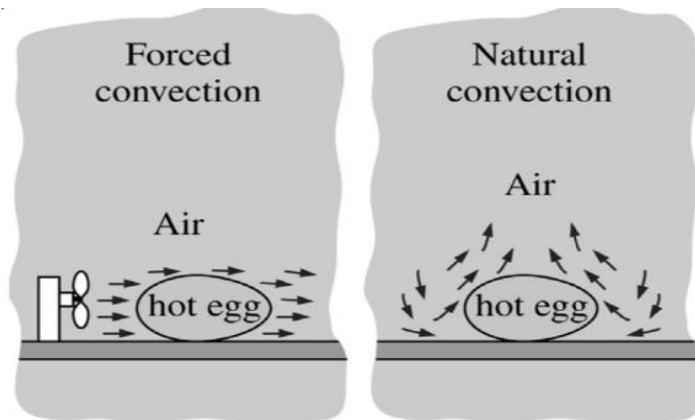
ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ

Δx คือ ความยาวของแท่งวัตถุ

1. การนำความร้อน (Conduction) ร้อนเกิดขึ้นโดยมีวัตถุที่เป็นของแข็งเป็นตัวกลาง จากการสั่นของอนุภาคที่เรียงตัวกันอยู่อย่างหนาแน่นในวัตถุที่เป็นของแข็งนั้น ส่งพลังงานอย่างใดโดยโมเลกุลไม่มีการเคลื่อนที่ มีแค่พลังงานเท่านั้นที่ถ่ายโอนเข้าไป เช่น น้ำร้อนไปยังน้ำเย็นหรือกาต้มน้ำ วัตถุที่นำความร้อนได้ดี เราเรียกว่า "ตัวนำความร้อน (Conductor)" ได้แก่ โลหะ เช่น เงิน ทองแดง เหล็ก ส่วนวัตถุที่นำความร้อนได้ไม่ดีเราเรียกว่า "ฉนวนความร้อน (Insulators)" ได้แก่ อโลหะ และก๊าซ เช่น ไม้ พลาสติก อากาศ

2. การพาความร้อน (Convection) การพาความร้อนคือ การถ่ายโอนความร้อนไปยังน้ำต้มอยู่ในหม้อ ขณะที่น้ำเดือดจะเห็นการเคลื่อนที่ของน้ำในหม้อคือ การถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนที่มีน้ำเป็นตัวกลาง เนื่องจากของเหลวและก๊าซถือว่าเป็นของไหล อนุภาคในของไหลสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งได้ ดังนั้น เมื่ออนุภาคของของเหลวหรือก๊าซได้รับพลังงานความร้อน มันจึงเคลื่อนที่ไปสู่ที่มีพลังงานความร้อนน้อยกว่า เป็นการถ่ายโอนความร้อนในลักษณะของการพาความร้อนด้วยตัวกลางอย่างของเหลวและก๊าซนั่นเอง ทั้งนี้เราสามารถนำความรู้เกี่ยวกับการพาความร้อนมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างการสร้างช่องระบายอากาศภายในบ้าน เป็นต้น

การพาความร้อนตามธรรมชาติเป็นการไหลประเภทหนึ่ง การเคลื่อนที่ของของเหลว เช่น น้ำหรือก๊าซ เช่น อากาศ ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลไม่ได้เกิดจากแหล่งภายนอกใดๆ (เช่น บัม พัดลม อุปกรณ์ดูด ฯลฯ) แต่เกิดจาก บางส่วนของของเหลวจะหนักกว่าส่วนอื่นๆ ในกรณีส่วนใหญ่ สิ่งนี้นำไปสู่การไหลเวียนตามธรรมชาติความสามารถของของเหลวในระบบหมุนเวียนอย่างต่อเนื่องด้วยแรงโน้มถ่วงและการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ในพลังงานความร้อน แรงขับเคลื่อนสำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติคือแรงโน้มถ่วง การพาความร้อน เนื่องจากอาศัยแรงโน้มถ่วง จึงไม่มีการพาความร้อนจากการตกอย่างอิสระ (เฉื่อย) สภาพแวดล้อม เช่น สภาพแวดล้อมของสถานีอวกาศนานาชาติที่โคจรอยู่ การพาความร้อนตามธรรมชาติอาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีบริเวณที่ร้อนและเย็นของอากาศ (Datta, 2002) ดังภาพประกอบที่ 8 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ และแบบบังคับ



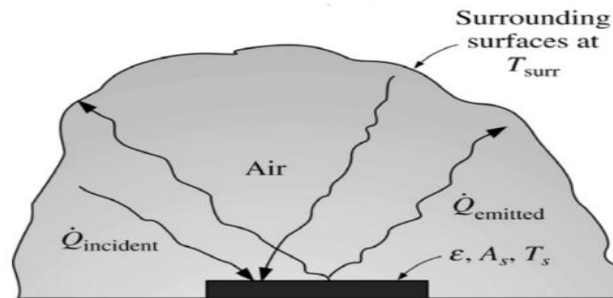
ภาพประกอบ 8 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ และแบบบังคับ

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_\infty) \quad (6)$$

| | |
|------------------|--|
| เมื่อ Q_{conv} | คือ อัตราการส่งผ่านความร้อนด้วยการพาความร้อน |
| A_s | คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ |
| T_s | คือ อุณหภูมิของวัตถุ |
| T_∞ | คือ อุณหภูมิอากาศโดยรอบ |
| h | คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของวัตถุ |

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) วัตถุทุกชนิดมีการแผ่และดูดซับรังสีความร้อนหรือที่เรียกว่า "รังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation, IR)" (มนตรี, 2530) โดยรังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งซึ่งสามารถเคลื่อนที่โดยไม่ต้องผ่านตัวกลาง ซึ่งแตกต่างจากการนำความร้อนและการพาความร้อน โดยต้องอาศัยอนุภาคของตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อน การแผ่รังสีความร้อนจะมีลักษณะการแผ่รังสีออกไปในทุกทิศทุกทางรอบจุดกำเนิดหรือวัตถุ โดยวัตถุที่มีความร้อนมากกว่าแผ่รังสีได้มากกว่า เช่น ดวงอาทิตย์แผ่รังสีความร้อนได้มากกว่ากาแผ่รังสีในแก้ว ส่วนความสามารถในการดูดซับความร้อนก็จะแตกต่างกันออกไปขึ้นกับลักษณะและสมบัติของวัตถุนั้น ๆ เช่น วัตถุสีเข้ม ดำน จะสามารถแผ่และดูดซับความร้อนได้ดีกว่าวัตถุที่มีสีอ่อนและมันวาว หรือหากวัตถุสองชิ้นทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน ปริมาณเท่ากัน วัตถุที่มีลักษณะแบนและ

บาง จะสามารถแผ่รังสีความร้อนได้เร็วกว่าวัตถุที่อุณหภูมิห้องที่ 9 การแผ่รังสี โดยมีสมการดังนี้



ภาพประกอบ 9 การแผ่รังสี

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad (7)$$

เมื่อ Q_{rad}

คือ อัตราการแผ่รังสี

A_s

คือ พื้นที่ผิวของวัตถุ

T_{surr}

คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

T_s

คือ อุณหภูมิของวัตถุ

ϵ

คือ สภาพการเปล่งรังสี

σ

คือ Stefan-Boltzmann constant มีค่า $5.67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 - \text{K}^4$

พลังงานความร้อน ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่เปลี่ยนมาจากพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล (พลังงานศักย์ และพลังงานจลน์) พลังงานเคมี พลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น พลังงานความร้อนมีหน่วยเป็นจูล (Joule, J) ในระบบเอสไอ (SI) แต่บางครั้งอาจบอกเป็นหน่วยอื่นได้ เช่น แคลอรี (cal) และบีทียู (BTU) ความร้อนสัมผัส (sensible heat) คือ ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่ทำให้สารหนึ่งๆมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง โดยไม่ทำให้สถานะของสารนั้นเปลี่ยนแปลง

$$Q = mc\Delta T \quad (8)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้

m คือ มวลของสสาร

c คือ ค่าความร้อนจำเพาะ

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้าย

ความร้อนแฝง (latent heat) คือ ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่ทำให้สสารนั้นเปลี่ยนแปลงสถานะภายใต้อุณหภูมิตั้งที่มีสมการดังนี้

$$Q = mL \quad (9)$$

เมื่อ Q คือ ความร้อนแฝงหรือปริมาณความร้อนที่วัตถุได้รับหรือคายออก

m คือ มวลของวัตถุ

L คือ ความร้อนแฝงจำเพาะของวัตถุ

ความร้อนแฝงจำเพาะ (Specific Latent Heat) คือ ปริมาณความร้อนที่สารมวล 1 หน่วย ได้รับหรือคายออก เพื่อใช้เปลี่ยนสถานะ โดยที่อุณหภูมิตั้งที่มีหน่วยเป็นหน่วยปริมาณความร้อนต่อหน่วยมวล เช่น กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม หรือจูลต่อกิโลกรัม

ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) คือ ปริมาณของความร้อนที่ทำให้สสาร ที่มีน้ำหนัก 1 kg มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ปริมาณความร้อนเรียกว่า ปริมาณความจุความร้อน (Calorific capacity or Heat capacity, C) โดยปริมาณความร้อน และค่าความร้อนจำเพาะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$C = mc \quad (10)$$

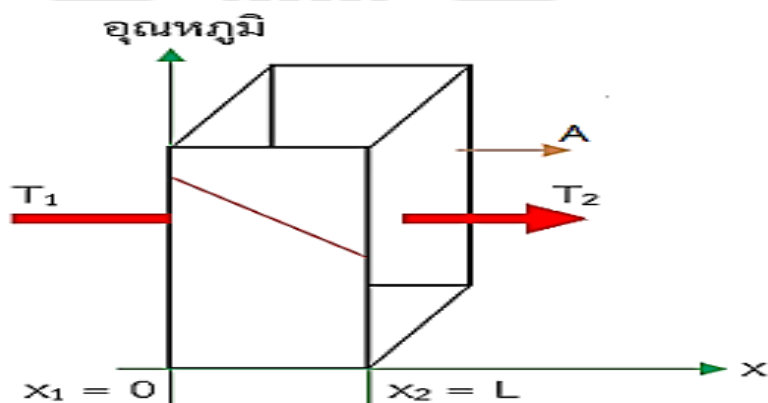
เมื่อ C คือ ปริมาณความร้อน

m คือ มวลของสสาร

c คือ ค่าความร้อนจำเพาะ

เมื่อเพิ่มความร้อนหรือ ความเย็นเมื่อทราบค่าความของความร้อนจำเพาะ สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เพิ่มในระบบ หรือความร้อนที่ออกจากระบบ ค่าความร้อนจำเพาะเปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิ และความดัน สำหรับสสารของแข็ง ของเหลว ค่าความร้อนจำเพาะเปลี่ยนแปลงไม่มาก แต่สำหรับค่าความร้อนจำเพาะแก๊สจะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไข ความร้อน หรือความเย็นอย่างชัดเจนก่อน โดยปกติจะถูกกำหนดภายใต้เงื่อนไขที่ความดันคงที่ จะเรียกว่า ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ และความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่

4. การถ่ายเทความร้อนพื้นผิว ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของไหลที่บริเวณขอบเขตนั้นมีผิวของอุณหภูมิสูงกว่าผิวของเมล็ดพีซของแข็ง ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากบริเวณขอบเขตสู่บริเวณผิวของเมล็ดพีซของแข็ง การถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวของแข็งเป็นการนำความร้อน โดยเป็นไปตามกฎของ (fourier) ดังแสดงใน ภาพที่ 10 การนำความร้อนใน 1 มิติตามแกน



ภาพประกอบ 10 การนำความร้อนใน 1 มิติตามแกน

$$Q_{con} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (11)$$

$$Q_{con} = -kA \frac{[T_1 - T_2]}{[X_2 - X_1]} \quad (12)$$

เมื่อ Q_{con} คือ ปริมาณการถ่ายเทความร้อน, (W/m²)

A คือ พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน, (m²)

k คือ การนำความร้อน, (W/m°C)

ΔX คือ อุณหภูมิของของไหล, (°C)

ΔT คือ ระยะที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน, (m)

5. การถ่ายเทแบบบังคับ การถ่ายเทความร้อนที่เป็นการถ่ายเทแบบบังคับระหว่างขอบเขตจำกัดกระแสการไหลระบบความร้อนจากของแข็งไปสู่กระแสไหลได้สมการดังนี้

$$Q = hA(T_{\infty} - T_s) \quad (13)$$

เมื่อ Q คือ การถ่ายเทความร้อน, (W/m²)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, (W/m²°C)

T_{∞} คือ อุณหภูมิกระแสของไหล, (°C)

T_s คือ อุณหภูมิของแข็ง, (°C)

A คือ พื้นที่ของพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน, (m²)

2.7 ทฤษฎีการถ่ายเทมวลสาร

การถ่ายเทไอน้ำมวลสารความต่างศักย์ของความเข้มข้นที่มีมวลการถ่ายเทเพิ่มมากขึ้นก็จะเกิดการกระจายตัวโมเลกุลไปยังที่ความเข้มข้นมากกว่าโดยที่กฎของการอนุรักษ์มวลสารเขียนเป็นสมการได้

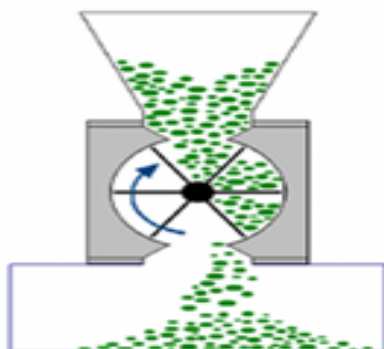
$$\dot{m}_p = \frac{dM}{dL} = \dot{m}_f \frac{d(RH)}{dL} \quad (14)$$

| | | |
|-------|-------------|--|
| เมื่อ | \dot{m}_f | คือ อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของอากาศชื้น, (kg/s) |
| | \dot{m}_p | คือ อัตราการไหลของมวลต่อพื้นที่ของข้าวเปลือก, (kg/s) |
| | M | คือ ความชื้น, (%) |
| | RH | คือ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ, (%) |
| | L | คือ ระยะห้องอบแห้ง, (m) |

1. การหาค่าความเร็วของโรตารีวาล์ว ω หาได้จากความเร็วรอบมอเตอร์ในหน่วย รอบต่อนาที แปลงหน่วยให้เป็นสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$V = r\omega \quad (15)$$

| | | |
|-------|----------|----------------------------------|
| เมื่อ | V | คือ ความเร็วของโรตารีวาล์ว (m/s) |
| | r | คือ รัศมี, (m) |
| | ω | คือ ความเร็วเชิงมุม, (rad/s) |



ภาพประกอบ 11 โรตารีวาล์ว

2. อัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate) ซึ่งมวลของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ตัดขวางหนึ่งในของ flow tube ในหนึ่งหน่วยเวลา เราสามารถคำนวณได้โดยคูณ ด้วยความหนาแน่นของของไหล การหาอัตราการไหลเชิงมวลสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$\dot{m}_{fed} = \rho \dot{v} \quad (16)$$

เมื่อ \dot{m}_{fed} คือ การไหลเชิงมวล, (kg/hr)

ρ คือ ความหนาแน่นเชิงมวล, (kg/m³)

\dot{v} คือ อัตราการไหล, (m³/hr)

2.8 การหาค่าที่ใช้พลังงาน

การวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน (Thermal Energy) ในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งจะทำการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยมิเตอร์วัดไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ซึ่งเมื่อนำมารวมกับปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจะไม่สามารถรวมกันได้ต้องมีตัวประกอบเพื่อแปลงหน่วยให้อยู่ในรูปพลังงานเดียวกันด้วยการคูณด้วย ตัวคูณแปลงค่าพลังงานให้อยู่ในหน่วย MJ และในส่วนของการใช้พลังงานความร้อนสามารถหาได้ด้วยสมการดังนี้

$$E_{thermal} = [m_{LPG} \times HHV] \quad (17)$$

เมื่อ m_{LPG} คือ ปริมาณก๊าซที่ใช้อบแห้ง, (kg)

HHV คือ ค่าความร้อนสูง ของเชื้อเพลิงมวล, (MJ/kg)

ทั้งนี้แหล่งความร้อนของเครื่องอบแห้งได้มาจากการสันดาปเชื้อเพลิงก๊าซ LPG กับอากาศได้เป็นอากาศร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งต่อไป โดยมีค่าความร้อนสูง (HHV) ประมาณ 50.152 MJ/kg

$$E_{thermal} = [m_{CBG} \times HHV] \quad (18)$$

เมื่อ m_{CBG} คือ ปริมาณก๊าซที่ใช้อบแห้ง, (kg)

HHV คือ ค่าความร้อนสูง ของเชื้อเพลิงมวล, (MJ/kg)

ทั้งนี้แหล่งความร้อนของเครื่องอบแห้งได้มาจากการสันดาปเชื้อเพลิงก๊าซ CBG กับอากาศได้เป็นอากาศร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งต่อไป โดยมีค่าความร้อนสูง (HHV) ประมาณ 43.9-47.3 MJ/m

1. หาค่าพลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy: $E_{electrical}$) พลังงานไฟฟ้า คือ กำลังไฟฟ้าที่นำไปใช้ในระยะเวลาหนึ่ง พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง หรือยูพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้าน 1,000 วัตต์-ชั่วโมง = 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง = 1 ยูนิต สมการของพลังงานไฟฟ้า โดยแสดงดังสมการที่ 19

$$E_{electrical} = P \times t \times 3.6 \quad (19)$$

เมื่อ $E_{electrical}$ คือ พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง, (MJ)

P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์, (kW)

t คือ เวลา มีหน่วยเป็นชั่วโมง, (hr)

2. ค่าพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) เป็นดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของกระบวนการ ซึ่งในที่นี้เป็นกระบวนการอบแห้ง ค่านี้มีประโยชน์ที่จะช่วยบอกว่าการอบแห้งชนิดนี้ใช้พลังงานเฉลี่ยเท่าใดในกระบวนการอบแห้ง 1 หน่วย โดยแสดงดังสมการที่ 20

$$SEC = \frac{E_{thermal} + (3.6 \times E_{electrical})}{m_{water\ removed}} \quad (20)$$

| | | |
|-------|----------------------|--|
| เมื่อ | SEC | คือ พลังงานจำเพาะ, (MJ/kg _{water removed}) |
| | $E_{thermal}$ | คือ พลังงานความร้อน, (MJ) |
| | $E_{electrical}$ | คือ พลังงานไฟฟ้า, (kWh) |
| | $m_{water\ removed}$ | คือ มวลของน้ำที่ระเหยออก, (kg _{water removed}) |

ในการดำเนินกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งจะทำการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยมิเตอร์วัดไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ซึ่งเมื่อนำมารวมกับปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจะไม่สามารถรวมกันได้ต้องมีตัวประกอบเพื่อแปลงหน่วยให้อยู่ในรูปพลังงานเดียวกันด้วยการคูณด้วย 3.6 ตัวคูณแปลงค่าพลังงานให้อยู่ในหน่วย MJ และในส่วนของการใช้พลังงานความร้อนสามารถหาได้ด้วยสมการที่ 21

$$E_{thermal} = [m_{LPG} \times HHV \times eff] \quad (21)$$

| | | |
|-------|-----------|--|
| เมื่อ | m_{LPG} | คือ มวลของก๊าซในการอบแห้ง, (kg) |
| | HHV | คือ ค่าความร้อนสูง ของเชื้อเพลิงมวล, (MJ/kg) |
| | eff | คือ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (0.45), (ทศนิยม) |

$$E_{thermal} = [m_{CBG} \times HHV \times eff] \quad (22)$$

| | | |
|-------|-----------|--|
| เมื่อ | m_{CBG} | คือ มวลของก๊าซที่ใช้ในการอบแห้ง, (kg) |
| | HHV | คือ ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงมวล, (MJ/kg) |
| | eff | คือ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (0.23), (ทศนิยม) |

3. การวัดพลังงานไฟฟ้าและความร้อนในขั้นตอนการอบแห้ง เครื่องอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัยใช้พลังงานหลัก ๆ ด้วยกัน 2 ส่วน ซึ่งในส่วนแรกเป็นพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ต้นกำลังของอุปกรณ์ส่วนควบหลักของเครื่องอบแห้ง เช่น มอเตอร์ของชุดเขย่าห้องอบแห้ง มอเตอร์พัดลมดูดอากาศร้อนออกจากเครื่องอบแห้ง รวมถึงพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเลี้ยงวงจรควบคุมการทำงาน และส่วนที่สองเป็นพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศด้วยเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum gas: LPG) และสันดาปด้วยเตาอินฟาเรดแรงดันต่ำ โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้ พลังงานไฟฟ้า (electrical energy, $E_{elec.}$) สามารถหาได้ด้วยสมการที่ 23

$$E_{elec.} = (VI \times \cos\theta) \times t \quad (23)$$

| | | | |
|-------|--------------|-----|--|
| เมื่อ | $E_{elec.}$ | คือ | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด, kW-h |
| | V | คือ | แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส, voltage: V |
| | I | คือ | กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส, ampere: A |
| | $\cos\theta$ | คือ | เพาเวอร์แฟคเตอร์ |
| | t | คือ | เวลาในการอบแห้ง, hr |

พลังงานความร้อน (thermal energy, E_{th}) ของเชื้อเพลิงจากการเผาไหม้ สามารถหาได้ด้วยสมการที่ 24

$$E_{th.} = m_{LPG} \times LHV \quad (24)$$

| | | | |
|-------|-----------|-----|----------------------------------|
| เมื่อ | $E_{th.}$ | คือ | พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง, MJ |
|-------|-----------|-----|----------------------------------|

m_{LPG} คือ มวลเชื้อเพลิง LPG ที่ป้อน, kg

LHV คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ, MJ/kg

2.9 การประเมินประสิทธิภาพการอบแห้ง

เพื่อแสดงให้เห็นทราบถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนการอบแห้ง ในงานวิจัยนี้ที่ตัวแปรค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption: SEC) การหาค่าประสิทธิภาพการอบแห้ง (drying efficiency: DE) และอัตราการอบแห้ง (drying rate: DR) ดังสมการที่ 25

$$SEC = \frac{\sum (3.6E_{elec.} + E_{th.})}{m_w} \quad (25)$$

เมื่อ SEC คือ การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

m_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg

การหาประสิทธิภาพการอบแห้งของเครื่องอบแห้ง สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากเมล็ดพืชต่อพลังงานตัวกระบวนการอบแห้ง คำนวณได้ดังสมการที่ 26

$$DE = \frac{E_{dryer}}{E_{heater}} \quad (26)$$

เมื่อ DE คือ ประสิทธิภาพการอบแห้ง, %

E_{dryer} คือ ความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำออก, MJ

E_{heater} คือ ความร้อนที่ให้กับอากาศ, MJ

โดยที่พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออก (E_{dryer}) เป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำในสถานะของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นไอโดยใช้ความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอ (latent heat of evaporation, L) เท่ากับ 2.26 MJ/kg สามารถคำนวณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ ดังสมการที่ 11 และความร้อนที่ให้กับอากาศด้วยการสันดาปเชื้อเพลิงก๊าซกับอากาศ สามารถคำนวณความร้อนที่ใช้ ดังสมการที่ 27

$$E_{\text{dryer}} = \frac{QL(w_d - w_o)}{v_o} \quad (27)$$

| | | | |
|-------|-------|-----|--|
| เมื่อ | Q | คือ | อัตราการไหลของอากาศร้อนผ่านห้องอบแห้ง, m^3/min |
| | L | คือ | ความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอ, MJ/kg |
| | w_d | คือ | ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศร้อนที่ทางออก, $\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg air}$ |
| | w_o | คือ | ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศ, $\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg air}$ |
| | v_o | คือ | ปริมาตรจำเพาะของอากาศที่ทางเข้า, m^3/kg |

$$E_{\text{heater}} = \frac{Q(h_a - h_o)}{v_o} \quad (28)$$

| | | | |
|-------|-------|-----|------------------------------------|
| เมื่อ | h_a | คือ | เอนทาลปีของอากาศร้อน, MJ/kg |
| | h_o | คือ | เอนทาลปีของอากาศสิ่งแวดล้อม, MJ/kg |

ด้านคุณภาพของเมล็ดข้าวเปลือกความชื้นล่าสุดท้ายภายหลังจากอบแห้งค่าเปอร์เซ็นต์การระเหยเปลือก สามารถคำนวณความร้อนที่ใช้ ดังสมการที่ 29

$$\text{เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว} = \left(\frac{\text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าว}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกทั้งหมด}} \right) \times 100\% \quad (29)$$

2.10 เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว

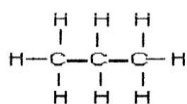
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลว ซึ่งมีองค์ประกอบของ ก๊าซโพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) เป็นส่วนใหญ่ จึงเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศ โดยตัว LPG เองไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติ แต่เนื่องจากเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศ ประมาณ 2 เท่า จึงมีการผสมและลูกใหม่ได้ง่าย ดังนั้นจึงมีข้อกำหนดให้เติมสารมีกลิ่นเพื่อเป็นการเตือนภัยหากมีการรั่วไหล ส่วนใหญ่ LPG จะใช้ในครัวเรือนและกิจการอุตสาหกรรม โดยบรรจุ เป็นของเหลวใส่ถังที่ความดันเพื่อให้ขนถ่ายง่าย นอกจากนี้ยังนิยมใช้น้ำมันเบนซินในรถยนต์ เนื่องจากราคาถูกกว่าและมีค่าออกเทน สูงถึง 105 RON

1. แหล่งที่มาของก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งจะได้ก๊าซโพรเพนและบิวเทนประมาณ 1-2% แต่ก่อนที่จะนำ น้ำมันดิบเข้ากลั่น ต้องแยกน้ำและเกลือแร่ที่ปนอยู่ออกเสียก่อน หลังจากนั้นนำน้ำมันดิบมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ ประมาณ 340-400°C จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่หอกกลั่น ซึ่งภายในประกอบด้วยถาด (tray) เป็นชั้น ๆ หลายสิบชั้น ไอร้อนที่ลอยขึ้นไป เมื่ออุณหภูมิลดลงจะกลั่นตัวเป็น ของเหลวบนถาดตามชั้นต่าง ๆ และจะอยู่ชั้นใดชั้นอยู่กับช่วงจุดเดือดต่ำจะลอยขึ้นสู่เบื้องบนของหอกกลั่นคือไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซ (LPG รวมอยู่ในส่วนนี้ด้วย) ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือดปานกลางและสูงก๊าซ จะแยกตัวออกมาทางตอนกลางและตอนล่างของหอกกลั่น ซึ่งได้แก่ แนพทา (naphtha) น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาตามลำดับ ไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซที่ออกจากด้านบนของ หอกกลั่นรวมเรียกว่า “ก๊าซปิโตรเลียม” ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มี คาร์บอน 1 อะตอม ถึง 4 อะตอมและมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนโตรเจน (N_2) ไฮโดรเจน (H_2) และอื่น ๆ ผสมอยู่จำเป็นต้องกำจัดแยกออกโดยนำก๊าซปิโตรเลียม ผ่านเข้าหน่วยแยกก๊าซแอลพีจี (gas recovery unit) เพื่อแยกเอาโพรเพนและบิวเทน (หรือแอลพี จี) ออกมา จากนั้นแอลพีจีจะถูกส่งเข้าหน่วยฟอก ซึ่งใช้โซดาไฟ (caustic soda) เพื่อแยกเอากรด (acid gas) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออก หลังจากนั้นแอลพีจีจะ ถูกส่งไปเก็บในถังเก็บและมีสภาพเป็นของเหลวภายใต้ความดัน

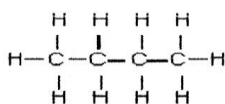
2. ได้จากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ ซึ่งจะมีก๊าซโพรเพนและบิวเทนในก๊าซธรรมชาติ ประมาณ 6-10% ก๊าซธรรมชาติ ที่นำขึ้นมาจะส่งเข้าสู่โรงแยกก๊าซ (gas separation plant) เพื่อ ทำการแยกเอาสารไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในก๊าซธรรมชาติ ออกเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ คือ มีเทน (methane) อีเทน (ethane) โพรเพน (propane) บิวเทน (butane) แอลพีจี (liquefied petroleum gas) และก๊าซโซลีนธรรมชาติ (natural gasoline , NGL) กระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ เริ่มต้น

ด้วยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำที่เจือปน อยู่ในก๊าซธรรมชาติออก ก่อน โดยกระบวนการ Benfield ซึ่งใช้โปตัสเซียมคาร์บอเนต (K₂CO₃) เป็นตัวจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกระบวนการดูดซับ (absorption process) โดยใช้สารจำพวก molecular sieve ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน ทำหน้าที่ดูดซับน้ำ ก๊าซธรรมชาติที่แห้งจากหน่วยนี้จะผ่านเข้าไปใน turbo-expander เพื่อลดอุณหภูมิจาก 250°C เป็น 170°C และลดความดันลง จาก 43 บาร์ เป็น 16 บาร์ก่อนแล้วจึงเข้าสู่หอแยกมีเทน (de-methanizer) มีเทนจะถูกกลั่นแยกออกไป และส่วนที่เหลือคือส่วนผสมของก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป (ethane plus stream) ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวและจะออกทางส่วนล่างของหอ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหอดังกล่าวจะถูกนำเข้าสู่หอแยกอีเทน (de-ethanizer) และหอแยกโพรเพน (de-propanizer) เพื่อแยกอีเทนและโพรเพนออกตามลำดับต่อไป ในหอแยกโพรเพนนี้ โพรเพนจะถูกแยกออกทางด้านบนของหอ ส่วนแอฟีจี ซึ่งเป็นส่วนผสมของโพรเพนและบิวเทนจะถูกแยกออกมาจากส่วนกลางของหอ และส่วนผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหอทางด้านล่างคือ ก๊าซโซลีนธรรมชาติ (natural gasoline)(มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์ & กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

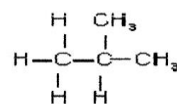
3. คุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) 3 อะตอม และคาร์บอน (C) 4 อะตอม ใน 1 โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ประกอบด้วยโพรเพน (Propane; C₃H₈) โพรพิลีน (Propylene; C₃H₆) บิวเทน (Butane; C₄H₁₀) และบิวทิลีน (Butylene; C₄H₈) ในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลวซึ่งอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ พวงไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) และไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon) กลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว ได้แก่ โพรเพน (Propane) นอร์มบิวเทน (N-butane) และไอโซบิวเทน (Iso-butane) แสดงดังภาพที่ 12 ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว



(ก) Propane



(ข) N-butane



(ค) Iso-butane

ภาพประกอบ 12 ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (ก) Propane (ข) N-butane (ค) Iso-butane

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ได้มาจากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วยโพรเพน (Propane) เป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของ C_3 และ C_4 จะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของก๊าซธรรมชาติหากได้ จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบจะประกอบไปด้วยบิวเทน (Butane) เป็นส่วนใหญ่และอาจมีการ ผสม C_3 และ C_4 ในรูปของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Un-Saturated Hydrocarbon) ซึ่งมัก ประกอบด้วย โพรปีลีน (Propylene) นอร์มัลบิวทิลีน (N-butylene) ไอโซบิวทิลีน (Iso-butylene) และ Butylene-2

4. คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซ LPG จุดเดือดและสภาวะวิกฤติ เนื่องจากแอลพีจีมีจุดเดือดต่ำ มาก คือ โพรเพน มีจุดเดือด เท่ากับ - 42 องศาเซลเซียส นอร์มัลบิวเทนเท่ากับ - 0.5 องศาเซลเซียส ไอโซบิวเทน เท่ากับ - 11.7 องศาเซลเซียส ดังนั้น แอลพีจี มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติและความดัน บรรยากาศวันเสียแต่จะถูกอัดให้เป็นของเหลวอยู่ในถังภายใต้ ความดันหรือ นำถังไปแช่เย็นเอาไว้ ค่า ความดันที่ทำให้แอลพีจีเป็นของเหลว คือ ค่าความดันไอ(vapor pressure) เช่น ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดันไอของโพรเพนเท่ากับ 7.3 บรรยากาศ และที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความดันไอก็จะสูงขึ้นด้วย โพรเพนที่อุณหภูมิ 96.67 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้อัดเท่ากับ 41.94 บรรยากาศ เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้โพรเพนจะไม่เป็นของเหลว แม้ว่าจะอัดด้วยความดันมากกว่า 41.94 บรรยากาศก็ตาม อุณหภูมิ 96.67 องศาเซลเซียส และความดัน 41.94 บรรยากาศ ก็คือ สภาวะวิกฤติสำหรับโพรเพน

ความสามารถในการอัดตัวของก๊าซ LPG (Compressibility factor) ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ณ ความดันบรรยากาศโพรเพน,นอร์มัล,บิวเทน และไอโซบิวเทน มีค่า Z เท่ากับ 0.984 , 0.969 และ 0.971 ตามลำดับอัตราการขยายตัวของก๊าซ จากของเหลวเป็นไอ น้ำก๊าซ 1 ลิตร เมื่อกลายเป็นไอขยายตัวได้ถึง 250 ลิตร เมื่อน้ำก๊าซรั่วจึงมีอันตรายมากกว่าไอก๊าซรั่ว

ช่วงการลุกไหม้ (Flammability Limits in Air) ก๊าซ LPG จะสามารถลุกไหม้หรือติดไฟได้ ก็ต่อเมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในอากาศร้อยละ 2 - 9 คือ ถ้ามีก๊าซ LPG ต่ำกว่า 2 ส่วน หรือมากกว่า 9 ส่วน ในส่วนผสมของก๊าซกับอากาศ 100 ส่วน ส่วนผสมนั้นก็ยังไม่ติดไฟ

อุณหภูมิของจุดติดไฟ ก๊าซ LPG จะสามารถลุกไหม้หรือติดไฟได้ก็ต่อเมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในอากาศร้อยละ 2 - 9

อุณหภูมิของเปลวไฟ (Flame temperature) อุณหภูมิของเปลวไฟในอากาศ 1,930 องศาเซลเซียส และบิวเทน 1,900 องศาเซลเซียส

ค่าออกเทน (Octance Number) LPG ในสถานะก๊าซที่ใช้สำหรับยานพาหนะนั้นจะมีค่าออกเทน Octane No.) สูงประมาณ 95-110 ซึ่งสูงกว่าค่าออกเทนของน้ำมันเบนซินจึงเหมาะ

กับการใช้เป็นเชื้อเพลิง ของรถยนต์มาก แต่จะมีปัญหาในเรื่องอุณหภูมิของเปลวไฟของ LPG เมื่อมีการระเบิดในกระบอกสูบซึ่งจะมี อุณหภูมิสูงกว่าน้ำมันเบนซินทำให้เครื่องร้อนมาก

อัตราส่วนปริมาตรของเหลว/ก๊าซ (Liquid/Vapor Volume Ratio) ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีส่วนผสมอยู่ในอากาศร้อยละ 21 โดยปริมาตรกรณีที่ก๊าซ LPG เผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งหมดก็จะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและการเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังต่อไปนี้ โพรเพน $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$ และบิวเทน $C_4H_{10} + 6.5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$ ดังจะเห็นได้จากสมการเหล่านี้ ปริมาณของออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเป็น 5 เท่าในกรณีของ โพรเพน และ 6.5 เท่าในกรณีของบิวเทน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณร้อยละ 21 ฉะนั้นในการเผาไหม้โพรเพนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้อากาศ 24 ลูกบาศก์เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้อากาศ 31 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement) ส่วนผสมของก๊าซกับอากาศ ที่ทำให้ติดไฟ อัตราส่วนของก๊าซในอากาศที่ทำให้ติดไฟคือ 1.5 - 9 ส่วนใน 100 ส่วน ของส่วนผสมจะเห็นได้ว่าถ้ามีก๊าซไม่เท่ากับสัดส่วนดังกล่าวก๊าซจะไม่ติดไฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซติดไฟได้ยาก

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat of Combustion) ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจี หมายถึงค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำเอาก๊าซแอลพีจีหน่วยน้ำหนัก หรือหนึ่งปริมาตรมาเผาไหม้ที่ค่าดันบรรยากาศ และอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) ค่าความร้อนของการเผาไหม้ที่ 50,220 kJ/kg

สี กลิ่น และการละลายไม่มีสีไม่มีกลิ่น และปราศจากพิษร้ายคั่นเคยจากส่วนมากกลิ่นที่) ก๊าซธรรมชาติเป็นผลมาจากการเติมสารเคมีบางประเภทลงไป เพื่อให้ผู้ใช้รู้ได้ทันทีที่เกิดเหตุการณ์ก๊าซรั่ว ก๊าซสารประกอบที่เติมลงไปเพื่อให้ก๊าซ LPG มีกลิ่นเหม็นเป็นสารพวกเมอร์แคปแทน (Mercaptan) มีจำนวนมากกกว่าก๊าซ LPG ยังมีคุณสมบัติในการทำละลาย (Solvent) สารประกอบ โพรเพน C_3H_8 กับบิวเทน C_4H_{10}

2.11 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หรือ ไบโอก๊าซเป็นพลังงานสะอาดที่เกิดจากการนำของเสีย เช่น มูลสัตว์ทุกชนิด น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานน้ำมันปาล์ม โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงฆ่าสัตว์ และขยะจากชุมชน หรือร้านค้าภัตตาคาร ขยะหรือของเหลือใช้ทางการเกษตรมาผ่าน

กระบวนการหมัก เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมจะได้ไบโอแก๊สหรือก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือความร้อนได้ ซึ่งปัจจุบันมีการผลิตและใช้ก๊าซดังกล่าวอย่างแพร่หลาย ก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน ประมาณ 60-70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 28-38 % ก๊าซอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซไนโตรเจน ซึ่งก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟได้ จึงสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงต่างๆ เช่น การหุงต้ม เชื้อเพลิง รถยนต์ เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม เป็นต้น การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุสามารถทำให้เกิดก๊าซชีวภาพแต่จะเกิดก๊าซมากขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลาย เช่น พืชสดจะเกิดการก๊าซมากกว่ามูลสัตว์ เนื่องจากมูลสัตว์มีการย่อยสลายแล้วส่วนหนึ่งจากสัตว์ ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้รวดเร็วขึ้น(กฤตภาส สิงคิบุตร, 2554)

ค่าความร้อน ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อน 23,000 KJ/m ที่สภาวะปกติ (Normal temperature and pressure;NTP) คือ ที่สภาวะ 0 °C และ 1.013 bar ตามลำดับโดยค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับ ปริมาณมีเทนและความหนาแน่นของก๊าซ ฉะก๊าซชีวภาพให้ค่าความร้อน(Carorific value) เฉลี่ยประมาณ 23 MJ/m จะให้อุณหภูมิของเปลวไฟ (Temperature of the flame) 870°C เพื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพกับก๊าซเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ดังตารางที่ 1

ตาราง 1 การเปรียบเทียบค่าความร้อนเปรียบเทียบกับก๊าซชีวภาพ (60%CH) ปริมาตร 1 m

| ชนิดเชื้อเพลิง | ปริมาตรหน่วย |
|------------------|--------------|
| ก๊าซหุงต้ม (LPG) | 0.47 kg |
| น้ำมันเบนซิน | 0.67 lite |
| น้ำมันดีเซล | 0.60 lite |
| ฟืนไม้ | 1.50 kg |

1.ความหมายของศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับ CBG

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หรือไบโอแก๊ส คือก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายจากสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (Anaerobic digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึงก๊าซมีเทน ที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของสารอินทรีย์โดยขบวนการนี้ สามารถเกิดขึ้นได้ในหลุมขยะมูลสัตว์และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่งที่มีสารอินทรีย์ กล่าวคือ แหล่งสารอินทรีย์ที่มีการหมักย่อยในเวลานานและเกิดก๊าซธรรมชาติขึ้นเอง โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่ของก๊าซชีวภาพ

เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50 – 70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-40% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2) ออกซิเจน (O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำดังตารางที่ 2(กสิน ประทุม et al., 2021,)

ตาราง 2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

| ส่วนประกอบ | สัญลักษณ์ | ร้อยละ |
|------------------|----------------------|--------|
| มีเทน | CH_4 | 50-70 |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | CO_2 | 30-40 |
| ไฮโดรเจน | H_2 | 5-10 |
| ไนโตรเจน | N_2 | 1-2 |
| ไอน้ำ | H_2O | 0-1 |
| ไฮโดรเจนซัลไฟด์ | H_2S | 0-1 |
| อื่นๆ | - | 0-1 |

ก๊าซไบโอมีเทนอัดหรือก๊าซ (Compressed Biomethane Gas) หรือก๊าซ CBG คือ ก๊าซที่เกิดจากการนำก๊าซชีวภาพมาปรับปรุงคุณภาพ ด้วยกระบวนการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ H_2S และความชื้นออกจากก๊าซชีวภาพแล้ว("โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ," 2553) นำมาอัดลงถังที่ความแรงดัน 200-250 บาร์เกจ ซึ่งหากไม่มีเพิ่มแรงดันจะเรียกว่าก๊าซไบโอมีเทนเท่านั้น ก๊าซ CBG นี้ถือว่าเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้ในประเทศไทย โดยทั่วไปก๊าซชีวภาพมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนร้อยละ 60 จะมีค่าความร้อนประมาณ 23 MJ ซึ่งก๊าซมีเทนจะเป็นองค์ประกอบที่มีค่าความร้อนสูงถึง 30 MJ ดังแสดงในตารางที่ 3(Aggarangsi et al., 2013)

ตาราง 3 คุณสมบัติของก๊าซต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ

| คุณสมบัติ | CH ₄ | CO ₄ | H ₂ | H ₂ S | CH ₄ 60% CO ₂ 40% | CH ₄ 60% CO ₂ 40% |
|---|-----------------|-----------------|----------------|------------------|--|--|
| มีเทน | 35.64 | - | 10.8 | 22.68 | 21.6 | 23.40 |
| ค่าความร้อน (MJ) | 5-15 | - | 10.8 | 4-45 | 6-12 | 7.7-23 |
| สัดส่วนการติดไฟ (%ใน อากาศ) | 650- 750 | - | 10.8 | - | 650-750 | 650-750 |
| อุณหภูมิติดไฟ (°C) | 47 | 75 | 10.8 | 89 | 75-89 | 75-89 |
| ความดันเปลี่ยนสถานะ (Bar) | -82.5 | 31.0 | 10.8 | 100 | -82.5 | -82.5 |
| อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะ (°C) | 0.72 | 1.98 | 10.8 | 1.54 | 1.2 | 1.15 |
| ความหนาแน่น (g/L) | 1.6 | 1.6 | 10.8 | 1.4 | 1.6 | 1.6 |
| ความจุความร้อน (KJ/m ³ /°C) | 35.64 | - | 10.8 | 22.68 | 21.6 | 23.40 |

ก๊าซไบโอมีเทนอัดหรือก๊าซ CBG ที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ หรือก๊าซ CBG (Compressed Natural Gas) หรือก๊าซ NGV (Natural Gas for Vehicle) ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยโดยสามารถเติมก๊าซ CBG ในรถยนต์ที่ใช้ก๊าซ CNG/NGV ดังกล่าวได้โดยไม่ต้องดัดแปลงหรือเพิ่มอุปกรณ์แต่อย่างใด ซึ่งก๊าซ CBG มีคุณสมบัติดังตารางที่ 4

ตาราง 4 คุณสมบัติของก๊าซ CBG

| ข้อเปรียบเทียบ | ก๊าซ CBG | ก๊าซ NGV | ก๊าซ LPG |
|--|---|---|--|
| สถานะ | เป็นก๊าซ | เป็นก๊าซ | เป็นก๊าซและเก็บในรูปแบบของเหลว ที่ความดัน 7 บาร์ |
| สถานะ | เบากว่าอากาศไม่มีการสะสมเมื่อเกิดการรั่วไหล | เบากว่าอากาศไม่มีการสะสมเมื่อเกิดการรั่วไหล | หนักกว่าอากาศจึงเกิดการสะสม ซึ่งเป็นอันตราย |
| การติดไฟ (Flammability limit,%โดยปริมาตร) | 5-15% | 5-15% | 2.0-9.5% |
| อุณหภูมิที่ติดไฟ (Ignition Temperature) | 650°C | 650°C | 480°C |
| ข้อเปรียบเทียบ | ก๊าซ CBG | ก๊าซ NGV | ก๊าซ LPG |
| สถานะ | เป็นก๊าซ | เป็นก๊าซ | เป็นก๊าซและเก็บในรูปแบบของเหลวที่ความดัน 7 บาร์ |

กระบวนการผลิต CBG และเทคโนโลยีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซ กระบวนการผลิตก๊าซ CBG ประกอบด้วยระบบก๊าซชีวภาพระบบส่งท่อก๊าซ ระบบผลิตก๊าซไบโอมิเทน ระบบเพิ่มแรงดัน 200-250 Barg และระบบเติมรถยนต์

การผลิตก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) จะเป็นการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ โดยหลักการแล้วจะหมายถึงการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกจากก๊าซชีวภาพส่งผลให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH₄) มากขึ้นนั่นเอง เทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้มีหลากหลายเทคโนโลยีด้วยกันทั้งที่พัฒนาแล้วและอยู่ระหว่างพัฒนา ระบบผลิตก๊าซไบโอมิเทนอัดจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ระบบทำความสะอาดหรือระบบปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพ และระบบอัดก๊าซไบโอมิเทน (Compressor) ซึ่งเทคโนโลยีทำความสะอาดก๊าซชีวภาพมีการนำมาใช้อยู่ในปัจจุบัน สรุปได้ดังนี้ Water Scrubber Technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัด

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการอัดก๊าซชีวภาพผ่านหอดูดซึมด้วยน้ำที่ความดันสูง และอุณหภูมิ ต่ำในการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้วิธีการละลายที่ดีของคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำที่ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำและเทคโนโลยี มี 2 แบบหลักๆ คือระบบที่ใช้ น้ำครั้งเดียวและระบบที่มีการฟื้นฟูสภาพน้ำนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ องค์ประกอบของระบบจะมีหอดูดซึมและหอ Stripper (ในกรณีที่มีการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำและวนน้ำกลับไปใช้ใหม่) ภายในหอที่มีตัวกลาง พลาสติกเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวล(Puttapoun Watit et al., 2015)

2.12 มาตรฐานคุณภาพของก๊าซชีวภาพชีวภาพอัด

เนื่องจากการใช้งานก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่ในปัจจุบัน เป็นเพื่อการผลิตความร้อนและ ไฟฟ้าและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่สำหรับเป็นเชื้อเพลิงยานพาหนะทำให้ปัจจุบันมีเพียงประเทศ สวีเดนซึ่งมีการใช้งานก๊าซชีวภาพอย่างแพร่หลายที่กำหนดคุณภาพของก๊าซชีวภาพอัดสำหรับการ ใช้งานยานพาหนะตารางที่ 7 แสดงถึงรายการข้อกำหนดคุณลักษณะของก๊าซชีวภาพ สำหรับการ ใช้งานยานพาหนะของประเทศสวีเดนตามมาตรฐาน SS155438 ซึ่งในมาตรฐานนี้มีการแบ่งก๊าซชีวภาพ ออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.12.1 ก๊าซชีวภาพประเภท A ซึ่งมีค่าดัชนีวอบบีช่วงแคบที่มีความสูง คือ 44.7-46.4 MJ สำหรับใช้งานกับเครื่องยนต์ที่มีจุดระเบิดโดยใช้หัวเทียน (เครื่องยนต์เบนซินรวมถึงเครื่องยนต์ ดีเซลที่มีการดัดแปลงเป็นหัวเทียน) ซึ่งไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์แรมด้านคอนโทน

2.12.2 ก๊าซชีวภาพประเภท B ซึ่งมีค่าดัชนีวอบบีช่วงกว้าง และมีค่าต่ำ คือ 34.9-47.3 MJ สำหรับใช้งานกับเครื่องยนต์ที่มีการจุดระเบิดใช้หัวเทียน ซึ่งมีการติดตั้งอุปกรณ์แรมคอนโทน นอกเหนือจากมาตรฐานคุณภาพที่กำหนดขึ้นแล้ว ก๊าซชีวภาพที่จำหน่ายขึ้นในประเทศสวีเดน ยัง ต้องเป็นไปตามมาตรฐานการเก็บรักษาซึ่งมีการกำหนดให้ข้อ

1. โดยไม่ต้องถูกปนเปื้อนฝุ่นละอองน้ำมัน หรือสิ่งอื่นๆ ที่สามารถก่อให้เกิดความเสียหาย ต่อระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์
2. ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกรองไอน้ำมันที่ตรงทางออกของคอมเพรสเซอร์เพื่อ ป้องกันการปนเปื้อนของก๊าซชีวภาพ โดยมีน้ำมันคอมเพรสเซอร์
3. ไม่ควรมีการเติมแอลกอฮอล์ลงในถังก๊าซชีวภาพเพื่อป้องกันการเกิดการแข็งตัว เนื่องจากจะทำให้เกิดการกัดกร่อนของถังเก็บต้องมีการเติมกลีโกลในก๊าซชีวภาพ

ตาราง 5 ข้อกำหนดคุณภาพน้ำชีวิภาพ ตามมาตรฐาน SS155438 ของประเทศสวีเดน

| คุณสมบัติ | หน่วย | อัตราสูง | ชนิดของ | ชนิดของ | วิธีการทดสอบ |
|--|--------------------|----------------|------------|------------|-----------------------|
| | | ต่ำ | ก๊าซชีวภาพ | ก๊าซชีวภาพ | |
| | | | A | B | |
| ดัชนีวอบบี (Wobbe index) | MJ/ m ³ | | 44.7-46.4 | 43.9-47.3 | SS-ISO 6976 |
| ปริมาณมีเทน (ethane content) ณ ความดัน 101.3 กิโลปาสคาล และอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส | % vol. | ไม่ต่ำ กว่า | 97+1 | 93+2 | ISO 6974 |
| ค่าออกเทนโดยวิธีมอเตอร์ (Moter content number:MON) | | ไม่ต่ำ กว่า | 130 | 130 | |
| ค่าจุดน้ำค้าง (Dew point) ความดันสูงสุดที่เก็บรักษา | °C | ไม่สูง กว่า | t-5 | t-5 | ISO 6327 |
| ปริมาณน้ำ (Water content) | Mg/ m ³ | ไม่สูง กว่า | 32 | 32 | SS-EN ISO 10101 |
| ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนและไนโตรเจน (CO ₂ +O ₂ +N ₂ content) | % vol. | ไม่สูง กว่า | 4.0 | 5.0 | ISO 6974 |
| ปริมาณออกซิเจน (Oxygen content) | % vol. | ไม่สูง กว่า | 1.0 | 1.0 | ISO 6974 |
| ปริมาณมีเทนสารประกอบ ไนโตรเจนที่ คำนวณให้อยู่ในรูป แอมโมเนีย | Mg/ m ³ | ไม่สูง กว่า | 20 | 20 | ISO 6974 |
| ปริมาณกำมะถัน (Sulphur content) | Mg/ m ³ | ไม่สูง กว่า | 23 | 23 | ISO 6362 |

สภาพการผลิตก๊าซชีวภาพอัดในประเทศไทย การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในประเทศไทย ปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้ผลิตความร้อนโดยใช้แทนเชื้อเพลิง เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายลงทุนน้อย ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เพียงเล็กน้อยก็สามารถใช้งานได้รวมถึงการติดตั้งระบบความสะอาดก๊าซชีวภาพน้อยด้วย สำหรับการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ปัจจุบันได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากได้รับ การสนับสนุนงบประมาณบางส่วนจากภาครัฐทั้งในส่วนเงินลงทุนและส่วนเพิ่มอัตราซื้อไฟฟ้า สำหรับการใช้เชื้อเพลิงรถยนต์ เริ่มมีการนำมาใช้ในประเทศไทยเมื่อไม่นานมานี้ โดยสถานะสภาพการผลิตก๊าซชีวภาพยานยนต์จะใช้ในรูปแบบก๊าซชีวภาพอัด (Compress Bio-methane Gas: CBG) เช่นเดียวกับ NGV ส่วนการใช้งานในรูปแบบของเหลว (Liquefied Biomethane Gas: LBG) ยังไม่พบว่ามีการใช้ในประเทศไทย ซึ่งสถานะการผลิต CBG ในประเทศยังอยู่ระหว่างการพัฒนาและทดลองใช้โดยมีผู้ผลิตไม่กี่บริษัทเท่านั้นดังจะกล่าวต่อไป

พ.ศ.2515-2516 สถาบันวิจัยและพัฒนานครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จัดทำ “โครงการจัดสร้างต้นแบบระบบผลิตก๊าซไบโอมีเทนสำหรับรถยนต์” เพื่อศึกษาวิธีการปรับแต่งเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซไบโอมีเทนอัดเป็นเชื้อเพลิงและจัดสร้างต้นแบบ ระบบผลิตก๊าซไบโอมีเทนจากก๊าซชีวภาพที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Mobile Unit) เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน โดยการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานจำนวน 14 ล้านบาท โดยมีการจัดสร้างต้นแบบและพัฒนาเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัดสำหรับยานยนต์ (Compressed Bio-methane Gas : CBG) ขึ้น โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นวัตถุดิบ ซึ่งจากการวิจัยประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีโดยก๊าซ CBG ที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับก๊าซ NGV สามารถผลิตก๊าซ CBG ได้ 8 กก. / ชม. นอกจากนี้สถาบันฯ ได้ดำเนินการวิจัยร่วม บริษัท เชียงใหม่เฟรชมิวคฟาร์ม จำกัด ในการนำก๊าซ CBG ที่ผลิตได้มาทดสอบประสิทธิภาพ โดยการใช้งานจริงจากรถกระบะเครื่องยนต์เบนซินขนาด 2,400 ซีซี ที่ใช้ก๊าซ NGV เป็นเชื้อเพลิง พบว่าระบบใช้งานได้ปกติ และเครื่องยนต์เดินเรียบเมื่อเร่งความเร็ว ส่วนผลิตไบโอมีเทนระบบผลิตไบโอมีเทนถูกใช้วิธีดูดซับด้วยน้ำ (Water Scrubbing) ระบบซึ่งประกอบด้วย Absorber Flash Tank Desorber ระบบปั๊มวาล์วท่อ และระบบควบคุมไฟฟ้าโดยมีกำลังผลิตไบโอมีเทน 10 Nm/hr ซึ่งอุปกรณ์เดิมทั้งหมด จากงานวิจัยของสถาบันฯ มาทำการติดตั้งใช้เวลาประมาณ 2 เดือน โดยสถาบันฯ ได้ทำการทดลองการเดินระบบแล้วพบว่าไบโอมีเทนมีระดับมีเทน ตั้งแต่ 83% - 90% โดยปริมาตรซึ่งมีค่าความร้อนสูงพอที่จะใช้งานได้

2. ส่วนเพิ่มแรงดันไบโอมีเทนเป็น 200 บาร์เกจ ระบบจะเพิ่มแรงดันประกอบด้วย

2.1. ถังเก็บไฮโดรเจนที่ผลิตได้จะดูดซึมด้วยน้ำเป็นถังเหล็กหนา 9 MM ปริมาตร 500 ลิตร

2.2. ระบบเพิ่มแรงดันใช้คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ 100/200 จำนวน 1 เครื่องรองรับ อัตราการไหลไฮโดรเจนที่ทางดูด 100 Nm/hour และเพิ่มแรงดันได้สูงสุด 220 บาร์เกจ ผลิตและนำเข้าจากประเทศอิตาลี สำหรับระบบความปลอดภัยจะป้องกันในกรณีแรงดันสูงเกินกว่า 225 บาร์เกจ ลิ้นนิรภัยจะระบายก๊าซทิ้งซึ่งพัดลมระบายความร้อนที่อยู่ด้านหลังเครื่องจะดูดก๊าซออกสู่ภายในอาคาร และจะมี Mchanc Detector ติดอยู่บนหลังคา คอยตรวจสอบและเตือนด้วยสัญญาณเสียงลักษณะของชุดที่เพิ่มแรงดัน

ระบบเก็บไฮโดรเจนอัดเป็นถังเหล็ก Type 1 (High Pressure Storage Cylinder DOT-3AA) ปริมาตร 60 ลิตร น้ำ จำนวน 4 ใบ ต่อขนาดกัน โดยเมื่อทำการอัดที่แรงดัน 200 บาร์เกจ สามารถเก็บไฮโดรเจนได้ประมาณ 48 Nm

ระบบเติมก๊าซสำหรับรถยนต์ (CNG refueling Nozzle & Hose) ประกอบด้วยวาล์วควบคุมความดัน (Pressure Regulator) ควบคุมแรงดันในการเติมไม่เกิน 200 บาร์เกจ สายเติมยาว 4 เมตร พร้อมหัวเติมตามมาตรฐานอิตาลี

2.13 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ผู้วิเคราะห์โครงการจำเป็นต้องคำนึงถึง ความเป็นไปได้ของโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ว่า โครงการที่กำลังพิจารณาอยู่จะให้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีส่วนร่วมของประเทศ เพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผลการวิเคราะห์จะแสดงออกมาในรูปของผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าใช้จ่าย ในการลงทุนที่จ่ายไป ถ้าผลตอบแทนที่ได้รับการผลตอบแทนที่สูงกว่า ค่าใช้จ่ายในการลงทุนถือว่าเป็นโครงการที่ดี แต่ถ้าผลตอบแทนที่ต่ำกว่า ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเป็นโครงการที่ไม่ดีในทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ จึงเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธโครงการ เป็นตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการมีความสำคัญอย่างมาก ต่อการตัดสินใจในการลงทุน เนื่องจากเป็นตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการสามารถ บอกได้ว่าโครงการที่ทำการวิจัยนี้ จะมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ และยังสามารถทราบถึงลำดับความสำคัญของโครงการ โดยเทคนิคการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์มี 3 ประเภท คือ

1. การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) คือ ผลรวมปัจจุบันของกระแสเงินสดรับและกระแสเงินสดจ่าย โดยคิดผลตอบแทนที่ต้องการ (required rate of return) ซึ่งหมายถึงต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน (marginal cost of capital)

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} = \sum_{n=1}^N \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC \quad (30)$$

| | | |
|--------|-------|---|
| โดยที่ | R_n | คือ ผลตอบแทนในปีที่ N (บาท) |
| | C_n | คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่ n (บาท) |
| | N | คือ ระยะเวลาโครงการ (ปี) |
| | i | คือ อัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยในโครงการ (%) |
| | TIC | คือ เงินลงทุนทั้งหมด ณ เวลาปัจจุบัน |

2. การคำนวณอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราคิดลด (Discount Rate) หรือดอกเบี้ย ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย หรือค่า NPV=0

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \quad (31)$$

| | | |
|--------|-------|---|
| โดยที่ | R_n | คือ ผลตอบแทนในปีที่ n (บาท) |
| | C_n | คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่ n (บาท) |
| | N | คือ ระยะเวลาโครงการ (ปี) |
| | i | คือ อัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยในโครงการ (%) |

TIC คือ เงินลงทุนทั้งหมด ณ เวลาปัจจุบัน (32)

3. การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) คือระยะเวลาที่รายได้รวมจากการลงทุนเท่ากับเงินที่ลงทุนไป เป็นวิธีที่ใช้คำนวณปีที่คุ้มทุน (break even) ว่าโครงการมีระยะเวลาคืนทุนเท่าใด โครงการใดที่มีระยะเวลาลงทุนยิ่งสั้น ยิ่งสมควรลงทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน(ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด TIC}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิสะสมรายปี NCF}} \quad (33)$$

NCF = กระแสเงินสดที่ได้รับต่อปี - กระแสเงินสดที่จ่ายต่อปี

โดยที่ เงินลงทุนทั้งหมด = ราคากระบอกผลิตก๊าซชีวภาพ + ระบบผลิตไฟฟ้า

รายรับต่อปี = ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ + ปุ๋ยอินทรีย์ที่ขายได้

รายจ่ายต่อปี = ค่าบำรุงรักษา + ค่าดำเนินงาน

ในการพิจารณาด้วยเทคนิคระยะเวลาคืนทุนนั้นจะยอมรับโครงการเมื่อระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าเกณฑ์เวลาสูงสุดที่โครงการสามารถยอมรับได้และจะปฏิเสธโครงการเมื่อระยะเวลาคืนทุนมากกว่าเกณฑ์อายุเวลาสูงสุดที่โครงการจะยอมรับได้

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในการลดปริมาณความชื้นในเมล็ดพืชหรือการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง นักวิจัยได้ทำการแยกประเภทออกเป็น 3 กลุ่มคือ 1. เครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ 2. การพัฒนาการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพและการประหยัดของพลังงาน 3. การควบคุมเพื่อลดความชื้นของเครื่องอบแห้งและแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุม เครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ

หัวข้อต่อมาแสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ โดยในการสร้างเครื่องอบแห้งใช้หลักการของ 2 องค์ประกอบหลักๆ คือการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนกับเมล็ดพืชในทิศทางปัจจัยทำให้เกิดความร้อนเพื่อสามารถลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้ง อาทิ เช่น แบบหล่นอิสระ แบบท่อหรือแบบพาหะลม แบบคลุกเคล้า

หมุนเวียนเมล็ดในถัง แบบกระแสน แบบสเปาเต็ดเบด แบบฟลูอิดไคซ์เบด และแบบมัสท์โฟลตามลำดับ

ในปี 2552 งามชื่น คงเสรี ได้ทดสอบเครื่องอบแห้งหลักการทำงานโดยที่การไหลของลมร้อนสวนกับเมล็ดพืช (counter flow) ได้กำหนดการอบแห้งที่มีคุณภาพดี ผลการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสีของเมล็ดข้าวคือการวัดค่าความขาวข้าวสาร โดยใช้ลมร้อนในการอบแห้งอุณหภูมิที่ 40 ถึง 150°C และจะใช้ความเร็วของอากาศร้อน 1 - 3 m/s โดยวิเคราะห์เวลาการหยุดขณะอบแห้งข้าวเปลือกหลังจากอบแห้ง ทราบถึงเครื่องอบแห้งที่ใช้ลมร้อนในช่วงอบแห้งที่ได้ปริมาณข้าวต้นตามต้องการ(งามชื่น คงเสรี, 2546)

เครื่องอบแห้งแบบท่อในปี 2558 พิรสิทธิ์ ทวยนาค การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบท่อที่ใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนขนานกับเมล็ดพืช (concurrent flow) งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่และอัตราการป้อนของข้าวเปลือกที่มีผลต่อการอบแห้งทำการทดลองที่อัตราการป้อนข้าวเปลือก 320 kg/hr โดยอุณหภูมิความร้อนที่อบแห้ง 90°C และเวลาในการอบแห้งที่ 60 นาที สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกจาก 24 %wb ลดลงเหลือ 13 %wb(พิรสิทธิ์ ทวยนาค, 2558)

เครื่องอบแห้งแบบถังหมุนในปี 2537 กิตติพงษ์ กุลมาตย์ มีการศึกษาระบบอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะโดยวิเคราะห์พลังงานปฐมภูมิต่อความชื้นที่ระเหยมีค่าประมาณ 8-25 MJ/kg อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำลง ในปี 2552 ได้ศึกษาการอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี พบว่าเครื่องอบแห้งทำการระเหยน้ำในเมล็ดพืชได้ที่ 140.18 kg/h และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะโดยระเหยของน้ำ 10.07 MJ/kg-water ลดปริมาณน้ำในเมล็ดต่ำกว่า 13 %wb จากความชื้นเริ่มแรก 60 %wb (กิตติพงษ์ กุลมาตย์, 2537)

เครื่องอบแห้งแบบกระแสนในปี 2552 สักกมน เทพหัสดินและคณะ งานวิจัยได้ปรับปรุงเครื่องอบแห้งต้นแบบของ ให้เหมาะสมกับการอบแห้งวัสดุที่มีความชื้นมาก และศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งในเทอมของอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร โดยใช้กากถั่วเหลืองเป็นวัสดุทดสอบ นอกจากนี้ยังศึกษาค่าเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบเพื่อนำผลที่ได้ไปใช้อธิบายสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ตลอดจนหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องอบแห้งที่เงื่อนไขการทำงานต่าง ๆ ซึ่งจากผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง พบว่าการระเหยน้ำมากที่สุดอยู่ที่ 520 MJ/kg-water ในส่วนของความชื้นสัมประสิทธิ์แบบประมาณค่า 4,500 W/m ในขณะที่เวลาทดสอบวัสดุกากถั่วเหลืองที่อยู่ในระบบ

เวลา 0.97-1.74 วินาที การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำสุดที่ประมาณ 5.6 MJ/kg (สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา & ฉัตรชัย นิยมมล, 2552)

เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด ในปี 2550 Wachiraphansakul งานวิจัยได้วิเคราะห์ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานในกระบวนการอบแห้งกากถั่วเหลืองโดยเครื่องอบแห้งแบบ สเปาเต็ดเบด ซึ่งพบว่าค่าของ SEC 1.62-4.06 MJ/kg จากอุณหภูมิในการอบแห้งต่อค่า SEC เฉลี่ยอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในขณะอบ 55 -110°C มีการเพิ่มขึ้นของค่า SEC โดยจะอยู่ที่สูงสุดประมาณ 3.42 MJ/kg เมื่ออุณหภูมิ 110°C แปรผันเมื่อการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130°C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะค่า SEC ต่ำกว่าประมาณ 3.14 MJ/kg ที่อุณหภูมิความร้อน 110°C เมื่ออุณหภูมิความร้อนอยู่ที่ 130°C โดยเกิดการลดความชื้นสามารถระเหยน้ำออกมาได้มากในช่วงเวลาสั้นๆ มีการใช้พลังงานสูงขึ้น เพราะค่าความเร็วลมร้อนขาเข้าต่อค่า SEC ทราบถึงความเร็วของลมร้อนเฉลี่ย 0.65 m/s มีค่า SEC ค่าพลังงานจำเพาะมากกว่าการใช้ความเร็วของลมร้อน 0.55 m/s เนื่องจากการใช้ความเร็วของลมร้อนที่ใช้พลังงานสูงกว่าซึ่งปริมาณการระเหยน้ำเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก (Wachiraphansakul & Devahastin, 2007)

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดงานวิจัยนี้คิดค้นและพัฒนาสภาวะที่เหมาะสมแก่การอบแห้งข้าวเปลือกที่ช่วงความชื้นที่สูง โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ใช้กับค่าการทดลองซึ่งความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำแต่ได้ปริมาณการผลิตที่สูงโดยการวิเคราะห์ คุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 115°C ความชื้นเริ่มแรก 30 %wb ความชื้นสุดท้าย 24 %wb อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม 70 % เบดใช้ความสูงที่ 10 cm อัตราการไหลของลมร้อนและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 0.043 MJ/kg การหมุนเวียนอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้งเวียนกลับมาใช้ใหม่ประมาณ 80% มีเปอร์เซ็นต์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ระเหยต่อปริมาณการผลิตที่น้อยสุด โดยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 7.9 MJ/kg ในงบประมาณที่การอบแห้ง 2.05 ต่อมาในปี พ.ศ. 2537 ได้ออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด แบบต่อเนื่องชนิดลมร้อนไหลไปแนวขวางมีอัตราผลิต 1 ton/hr ที่ใช้กลุ่มเกษตรกรธุรกิจ SME และภาคอุตสาหกรรม คุณภาพการทำงานของเครื่องอบแห้ง ได้ลดความชื้นเริ่มต้นที่ 45 %wb ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 24 %wb โดยการอบแห้งนาน 3 นาที ผลของอุณหภูมิตั้งระหว่าง 100 - 120°C ความเร็วของลมร้อนภายในห้องอบแห้งที่ 0.86 m/s และ 1.9 m/s การหมุนเวียนอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้งหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ที่ 66.7 % ค่าไฟฟ้า 6,559 W ใช้เชื้อเพลิงดีเซล ในกระบวนการอบแห้งเฉลี่ย 5.73 L/hr ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 270 MJ/kg ความชื้นที่ระเหยของน้ำ 14.6 MJ/kg-water (มุสตาฟา ยะภา, 2537)

ได้การศึกษาผลกระทบความเร็วอากาศร้อนที่ส่งผลต่อปริมาณการลดความชื้นของข้าวเปลือกโดยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลว์ โดยในการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นที่ 22 %wb โดยใช้ความเร็วอากาศร้อนตั้งแต่ 1.5, 1.8, 2.0 และ 2.3 m/s และอุณหภูมิอากาศร้อนในการอบแห้ง 100°C จากผลการทดลองพบว่า การลดปริมาณความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก ที่ผ่านการอบแห้งด้วยระดับความเร็วอากาศร้อน มีความชื้นหลังจากการอบแห้งที่ 18 %wb ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 22.25 MJ/kg มีการระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้ 8 MJ/kg-water(พิรสิทธิ์ ทวยนาคม, 2014.)

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลว์ขนาด 2 ton/hr พงศ์สถิต ศรภักดี และคณะ ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลว์ โดยพารามิเตอร์ในการศึกษา อัตราการไหลของลมร้อน ความเร็วชุดเขย่าห้องอบแห้ง และความสูงเบด โดยทดสอบที่อัตราการไหลของอากาศ 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 m/s ความเร็วรอบของระยะยกห้องอบแห้ง 100, 120 และ 140 RPM ความสูงของเบด 1, 2 และ 3 cm และระยะยกห้องอบแห้ง 4.6 cm จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของอากาศสูงขึ้นไปทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเคลื่อนที่เร็วขึ้น ซึ่งที่อัตราการไหลของ อากาศ 0.10 m/s การเคลื่อนที่ของเมล็ดข้าวเปลือกห้องอบแห้งมีค่าลดลง แต่ในช่วงอัตราการไหลอากาศ 0.15-0.30 m/s จะมีค่าที่คล้ายๆกันอัตราการไหลของลมร้อนสูง ความหนาแน่นของข้าวเปลือกจึงลดลง มีความเสียหายของข้าวเปลือกภายในห้องอบแห้งจะมีค่าสูงขึ้น และพบว่าความสูงของเบด 3 cm และความเร็วรอบของระยะยกห้อง อบแห้ง 120 RPM เมล็ดข้าวเปลือกจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ภายในห้องอบแห้งที่ใช้เวลาน้อยสุดในกำลังการผลิตของเครื่องอบแห้ง 1,000-4,000 kg/hr เบดสูงที่ 1, 2 และ 3 cm ความเร็วชุดระยะยกห้องอบแห้ง 100 RPM โดยมีสภาวะที่ความสูงของเบด 3 cm และความเร็วรอบ ของระยะยกห้องอบแห้ง 120 RPM เพื่อใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกต่อไป(พงศ์สถิตย์ ศรภักดี, 2559)

ภูวนัย ปาลคะเซนทร์ ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์สำหรับอบแห้งเมล็ด พันธุ์ข้าว โดยการทดลองเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์ ที่ใช้อบแห้งเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ กข 87 เป็นข้าวใหม่หลังจากการเก็บเกี่ยวผลิตในระยะเวลา 3 วัน ที่ความชื้นประมาณ 22 ถึง 27%wb ปริมาณความร้อนของการอบแห้ง 80, 100, และ 120 °C ความเร็วของลมร้อนเริ่มแรก 0.2, 0.3 และ 0.4 m/s ความเร็วชุดเขย่าห้องอบแห้งที่ 100 และ 120 rpm ปริมาณบ่อนเมล็ดข้าวที่ 350 kg/hr. ความชื้นในขั้นสุดท้ายไม่ควรน้อยกว่าหรือมากกว่า 14 %wb การทดลองทำให้ทราบว่าค่าความร้อนที่

เหมาะที่สุดคือ 100 °C ในความเร็วชุดเขย่าห้องอบแห้งที่ 100 rpm ความเร็วลมร้อน 0.2 m/s ให้เปอร์เซ็นต์การกักความชื้นที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด(ภวนัย ปาลคะเซนทร์, 2564)

การเพิ่มประสิทธิภาพและการพัฒนาด้วยวิธีต่างๆ งานทดลองข้างต้นได้มีการพัฒนาการอบแห้งหลายวิธี เช่น การเปลี่ยนพื้นที่ผิวของท่ออบแห้งแบบเรียบเป็นแบบเกี้ยว และควบคุมอัตราการป้อนลมร้อนจึงเกิดกระบวนการอบแห้งที่ประหยัดมากยิ่งขึ้น

ในปี 2555 ฉัตรชัย นิมมล วิจัยการพัฒนาการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม งานวิจัยนี้ได้เปรียบเครื่องอบแห้งแบบหอบแห้งแบบเก่าที่เป็นแบบเรียบและมีเกี้ยว ทำให้การไหลของอากาศมีความแปรปรวน ความชื้นของข้าวเปลือกสามารถลดลง 4.4-10.3 %wb ในระยะเวลา 5 นาที พบว่าค่าของ SEC ของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมพลังงานที่ใช้ไปเท่ากับ 1.78 MJ/kgwater เมื่อใช้หอบแห้งแบบเกี้ยวที่อุณหภูมิ 100°C ความเร็วลมร้อนที่ 30 m/s โดยการป้อนข้าวเปลือกที่ 150 kg dry solid/hr (ฉัตรชัย นิมมล, 2555) ต่อมาในปี 2557 ได้ศึกษาการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรด้วยแบบสเปาเต็ดเบดเป็นจังหวะ วัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์แนวคิดการอบแห้งเมล็ดพืชเป็นจังหวะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด ทดสอบตัวแปรต่าง ๆ เช่น ปริมาณความร้อนในการอบแห้ง การอบแห้งพริกไทยความชื้นเปลือกในการอบคุณภาพหลังการอบแห้งรูปแบบการอบคือ การส่งพลังงานความร้อนออกสู่อากาศภายนอก เหมาะสมกับเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดทำให้ประหยัดพลังงานได้ถึง 30 % (ฉัตรชัย นิมมล, 2557)

ในปี 2560 พงศ์สถิต ศรภักดี และคณะ ได้ศึกษาการใช้พลังงานการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์โดยใช้เชื้อเพลิง ซึ่งใช้ข้าวเหนียวสันป่าตองในกระบวนการอบแห้งโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิในห้องอบแห้ง 160 °C เบดสูงที่ 1, 2 และ 3 cm ความเร็วยกชุดห้องอบแห้งข้าวเปลือก 110 rpm ชุดระยะยกห้องอบแห้ง 4.6 cm และอัตราการไหลของอากาศร้อน 0.10, 0.15 และ 0.20 m/s พบว่าที่อัตราการไหลอากาศร้อน 0.2 m/s และความสูงเบด 1 cm ลดความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28-29%wb เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 18.2 %wb โดยใช้เวลาในกระบวนการอบแห้งประมาณ 148-150 sec ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 1.94 MJ/kg และการระเหยน้ำออกประมาณ 70 kg/hr(พงศ์สถิตย์ ศรภักดี, 2558)

ในปี 2563 ประชา บุญยวานิชกุล ได้พัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลว์ โดยการใช้อุณหภูมิอากาศร้อนเฉลี่ย 130 °C ความเร็วชุดการยกห้องอบที่ 110 rpm ความเร็วลมร้อนที่ไหลออกห้องอบแห้งที่ 2.0, 2.5 และ 3.0 m/s ความเร็วมอเตอร์ 2, 4 และ 6 rpm ที่ลดความชื้นของข้าวเปลือกจากความชื้นแรกประมาณ 20-21%wb จนถึงความชื้นหลังอบ 14.8 %wb และความสิ้นเปลืองพลังงาน 18.2 MJ/Kg water removed

และภายหลังจากการอบแห้งมีอัตราการกะเทาะเปลือกคิดเป็นร้อยละ 94.8(ประชา บุญยวานิชกุล & สุรัชย์ เหมศิริณ, 2020)

งานวิจัยที่สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกเครื่องอบแห้งหลายชนิด และได้พัฒนาการใช้พลังงานที่อบแห้ง เพื่อไม่ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองพลังงานในการระเหยของน้ำออกจากเมล็ดพืชและเป็นการประมาณคุณภาพเมล็ดพืช และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการใช้พลังงานที่อบแห้งของเครื่องอบแห้งชนิดซึ่งมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน โดยสามารถเปรียบเทียบการไหลของอากาศร้อนและเมล็ดพืช และการสิ้นเปลืองพลังงานในการระเหยน้ำ

การเปรียบเทียบหลักการดำเนินงานรวมถึงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ เครื่องอบแห้งอาศัยการกระแสน้ำอากาศหรือการไหลของอากาศร้อนผ่านเมล็ดพืชที่ต้องการอบแห้งเป็นหลัก เมื่อพิจารณาถึงการทำงานของเครื่องอบแห้งทุกชนิดใช้การไหลของอากาศร้อนดูดซับความชื้นพาออกสู่ภายนอกห้องอบแห้งเพื่อถ่ายเทมวลและความร้อน ด้วยคุณสมบัติของอากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้ง ทำให้เครื่องอบแห้งบางชนิดมีการทำงานโดยการไหลขอลมในทิศทางเดียวกันกับเมล็ดพืช (parallel flow) และและทิศทางการไหลบางชนิดวางแบบตั้งฉากกับเมล็ดพืช (cross flow) ในด้านการถ่ายเทมวลความร้อน เกิดการบังคับให้เมล็ดข้าวเคลื่อนตัวผ่านห้องอบแห้งมีบางชนิดเครื่องอบแห้งใช้กระแสอากาศเป็นตัวทำให้เกิดการไหลของเมล็ดพืชไหลผ่านห้องอบแห้ง เช่น เครื่องอบแห้งแบบท่อหรือแบบพาหะลม เครื่องอบแห้งแบบกระแสน และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เป็นต้น โดยใช้พลังงานกับมอเตอร์พัดลมเป็นพลังงานเพื่อสร้างความร้อนเชื้อเพลิง แต่เครื่องอบแห้งประเภทอื่นใช้การหมุนห้องอบแห้งเพื่อยกเขย่าเมล็ดพืชและโปรยลงแบบต่อเนื่อง เช่น เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน เป็นต้น

งานวิจัยได้ผสมผสานหลักการสร้างเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์ ซึ่งมีการไหลของอากาศขวางกับเมล็ดพืช และการเคลื่อนที่ของเมล็ดพืช (cross flow) และในส่วนของ การเคลื่อนตัวของเมล็ดพืชใช้การลอยตัวของเครื่องอบแห้งเพื่อให้เมล็ดข้าวยกตัวและเคลื่อนที่ผ่านห้องอบแห้งสามารถลดการใช้พลังงานมอเตอร์ไฟฟ้าลงได้ โดยในปี 2557 พิชญ์ เทวยุรัง ได้ศึกษาผลความเร็วชุดยกห้องอบแห้ง ความดันตกคร่อมต่อผลในเครื่องอบแห้ง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งข้าวเปลือกสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก พบว่าความดันตกคร่อมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ และความหนาของชั้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น และพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศ 0.05 - 0.15 m/s ค่าความดันตกคร่อมจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.2-0.3 m/s ค่าความดันตกคร่อมที่ความหนาของชั้นข้าวเปลือกต่าง ๆ และยังพบว่าที่ความเร็วรอบการยกเบต 140 rpm ค่าความดันตกคร่อมจะมีค่าสูงกว่าที่ความเร็วรอบการยกเบต 150 และ

160 rpm เนื่องจากที่ความเร็วรอบการยกน้อยทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเมล็ดพืชน้อยทำให้เกิดความดันตกคร่อมมีค่าสูง (พิชญา เทวยุรัง & มณฑล ชูโชษนา, 2557)

ตาราง 6 การทำงานและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ

| ชื่อเครื่องอบแห้ง (Types of dryers) | ลักษณะการทำงาน | ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ใน การระเหยน้ำ |
|---|---|--|
| แบบหล่นอิสระ (Free-fall dryer) | การไหลของอากาศร้อนสวนทางกับเมล็ดพืชในแนวตั้งจากที่สูง (parallel flow) | พลังงานจำเพาะ 2.92 - 6.32 MJ/kg water (เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว et al., 2551, 15-17 ตุลาคม) |
| แบบท่อหรือแบบพาหะลม (Pneumatic dryer) | การไหลของเมล็ดพืชตามทิศทางการไหลของอากาศร้อน (parallel flow) | มีค่าในช่วง 2.66 ถึง 8.69 MJ/kg water การอบแห้งประเภทท่อเรียบ 1.78 ถึง 3.09 MJ/kg water การอบแห้งประเภทท่อเกลียว (ฉัตรชัย นิยมล, 2555) |
| แบบถ่วงหมุน (Rotary dryer) | การหมุนของถ่วงหมุนเพื่อโรยเมล็ดโดนความร้อนจากอากาศร้อน (cross flow) | มีค่าในช่วง 8 ถึง 25 และ 10.07 MJ/kg-water (กิตติพงษ์ กุลมาตย์, 2537) |
| แบบกระแสบด (Impinging dryer) | กระแสบดอากาศร้อน 2 กระแสบดมาชนกัน โดย 1 ใน 2 กระแสบดอากาศร้อนจะเป็นตัวพาเมล็ดวัสดุเข้าสู่ตัวเครื่อง (parallel flow) | มีค่า 5.6 MJ/kg-water (สั๊กมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา & ฉัตรชัย นิยมล, 2552) |
| แบบสปอร์ทเตดเบด (Spouted bed dryer) | กระแบลำเจ็ดของของไหลไหลผ่านเข้าเบดผลัดดันให้เมล็ดพืชลอยตัวขึ้นตามแนวแกนของภาชนะ (parallel flow) | มีค่าในช่วง 1.62 ถึง 4.06 MJ/kg-water (Wachiraphansakul & Devahastin, 2007) |
| แบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed dryer) | การไหลของอากาศร้อนผลัดดันให้เมล็ดพืชให้อยู่ในสภาวะลอยตัว (cross flow) | มีค่า 14.6 MJ/kg-water (มุस्ताฟา ยะภา, 2537) |

ขั้นตอนควบคุมการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งและแนวทางประยุกต์ใช้กับการทดลองที่สอดคล้องกับการอบแห้ง โดยในปี 2559 ได้มีการควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ โดยเสนอแนวทางปัญหาที่พบในเครื่องอบแห้ง และถึงขั้นตอนการสามารถกำหนดได้ 4 แบบ คือ การกำหนดการป้อนเมล็ดกลับ และกำหนดการป้อนเมล็ดไปข้างหน้า ซึ่งวิธีในการควบคุมนำไปใช้กับการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ อาทิ เช่น เครื่องอบแห้งแบบสายพาน เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และเครื่องอบแห้งแบบหมุน ผลการวิจัยทำให้เห็นว่าการกำหนดการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาในการอบแห้งดังนี้ ประหยัดการใช้พลังงาน ที่ชัดเจนเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของความชื้นเปลี่ยนแปลง (สุรัชย์ เหมหิรัญ & ประชา บุญยวานิชกุล, 2560)



บทที่ 3

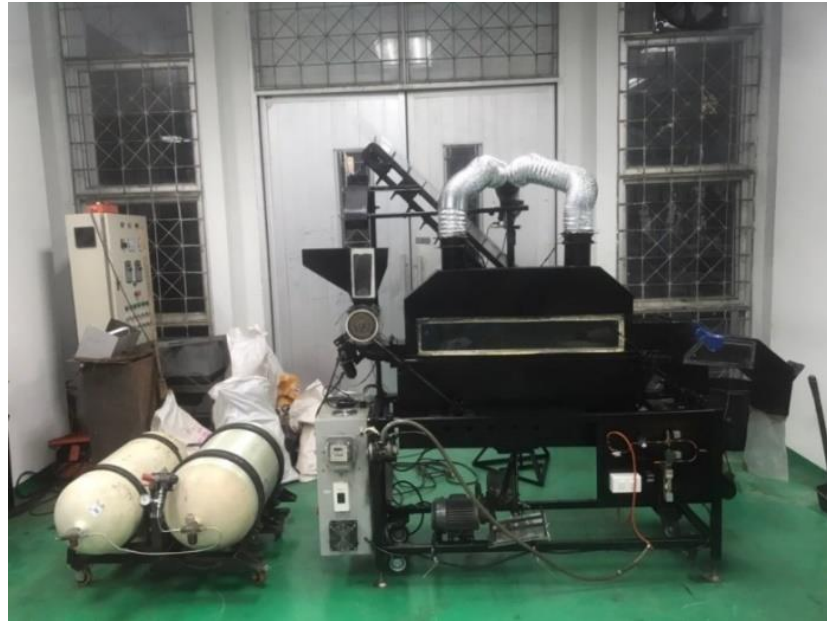
วิธีดำเนินการวิจัย

การอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลว์โดยการใช้ก๊าซไบนโอมิเทนอัดเป็นแหล่งเชื้อเพลิง เป็นวิธีการลดความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีความสนใจระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลว์โดยใช้เชื้อเพลิงทางเลือกก๊าซไบนโอมิเทนอัดในกระบวนการอบแห้ง โดยมีการดำเนินการวิจัยดังนี้

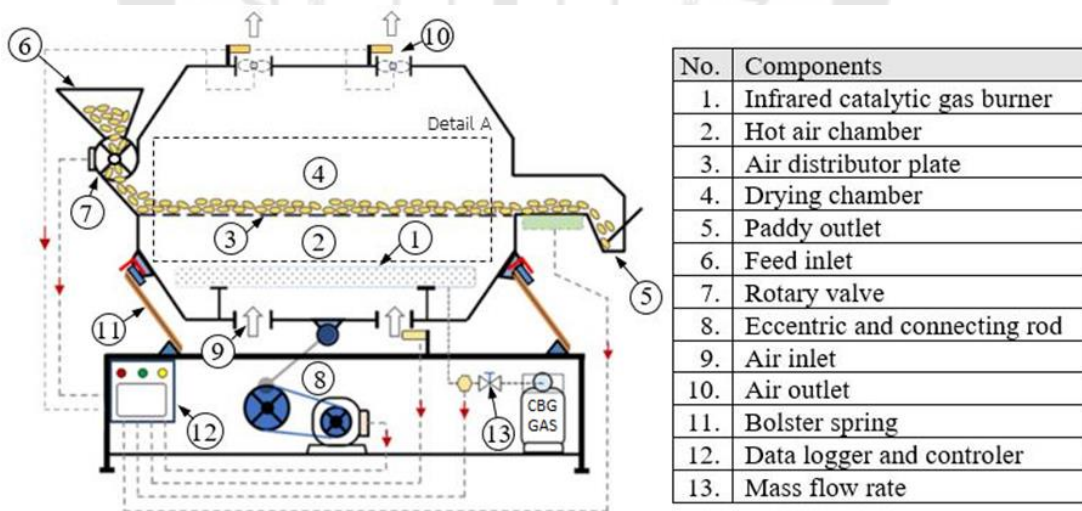
1. ข้อมูลเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลว์ที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงก๊าซไบนโอมิเทนอัด
2. อุปกรณ์และเครื่องมือวัดสำหรับการลอง
3. วิธีการดำเนินการอบแห้ง
4. การเตรียมตัวก่อนทดสอบ
5. ดำเนินการอบแห้ง

3.1 ข้อมูลเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลว์ที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงก๊าซไบนโอมิเทนอัด

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทโฟลว์โดยใช้ก๊าซไบนโอมิเทนอัดเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงโดยมีโครงสร้างของเครื่องอบแห้งสร้างจากเหล็กกล่องขนาด 2.54 x 2.54 เซนติเมตร ดังภาพประกอบที่ 13 แสดงภาพด้านหน้าของเครื่องอบแห้ง และมีพื้นที่ห้องเครื่องอบแห้งขนาด 150 x 1,000 มิลลิเมตร ข้อมูลเฉพาะของเครื่องอบแห้งประกอบด้วยอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 5 และมีส่วนประกอบรายละเอียดเครื่องอบแห้งแบบมัสทโฟลว์ แสดงดังภาพที่ 14



ภาพประกอบ 13 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติฟลูว์โดยใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัดเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง



ภาพประกอบ 14 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติฟลูว์

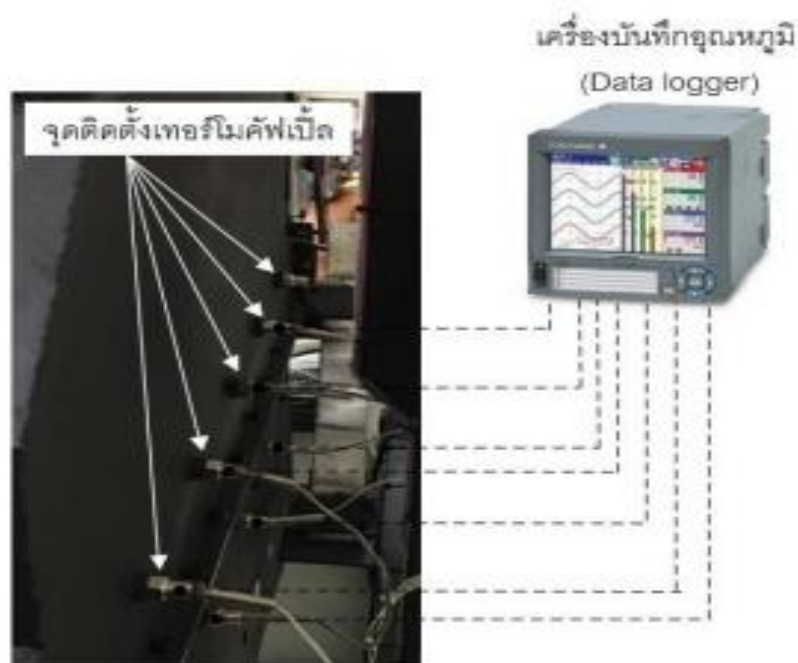
ตาราง 7 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติฟลูวโดยใช้ก๊าซไบโอมีเทนอัดเป็นแหล่งพลังงาน
เชื้อเพลิง

| ข้อมูลอุปกรณ์ | พารามิเตอร์เครื่องอบแห้ง |
|--|---|
| ขนาดเครื่องอบแห้ง 400 x 1,400 x 1,800 mm | อัตราการป้อนเมล็ดพืชความเร็วรอบของโรตารี วาล์ว 2-6 RPM |
| พื้นที่อบแห้ง (ยาวคูณสูง) 150 x 1,000 mm | อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.02-0.05 |
| ชุดการป้อนเมล็ดพืช ส่วนประกอบด้วย ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน 6 in ขนาด 12 VDC กิน กระแส 0.5 A | อุณหภูมิอากาศร้อน 90 -140 |
| ชุดปรับความเร็วของอากาศ ส่วนประกอบด้วย พัดลมแบบอากาศไหลตามแกนพร้อม ติดตั้งมอเตอร์ ขนาด 24 VDC กินกระแส 0.25 A | การเคลื่อนตัวของเมล็ดพืช ปรับตั้งความเร็ว ของชุดเยื้องศูนย์กลาง 118 -120 rpm |
| ชุดผลิตลมร้อน ส่วนประกอบด้วย หัวเตาเผาแบบอินฟราเรด สามารถตั้งค่าควบคุมการทำงานได้ ขนาด 230/16 kv และแกนอิเล็กทรอนิกส์ | |
| ชุดบังคับการเคลื่อนตัวของเมล็ดพืชกว่า ชุดระยะห่างแห้งด้วยการสั่น ส่วนประกอบ ด้วย มอเตอร์กระแสสลับขนาด ½ hp 220 VAC ขับเคลื่อนทำงานร่วมกัน | |

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

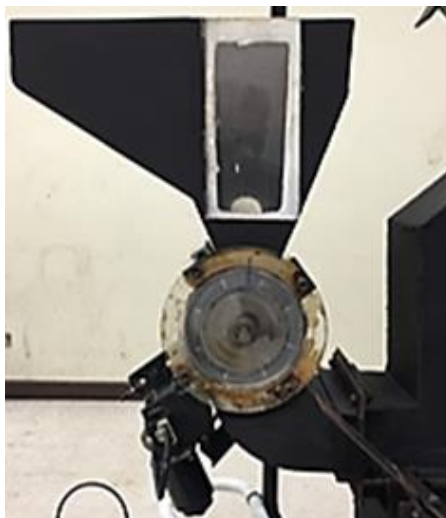
การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกและระบบควบคุมการทำงานขั้นตอนการอบแห้งต้องทราบข้อมูลสถานะต่างๆ ผ่านเครื่องมือวัดผลและบันทึกข้อมูลจำเพาะโดยอาศัยเครื่องมือวัดต่างดังต่อไปนี้

1. เครื่องบันทึกอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 15 ซึ่งมีการติดตั้งตัวหัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิลแบบเค จำนวน 10 จุด แยกออกเป็นความยาวห้องอบแห้งจำนวน 1-5 หัววัดอุณหภูมิ และความยาวห้องสร้างอากาศร้อนจำนวน 6-10 หัววัดอุณหภูมิ สายเทอร์โมคัปเปิลต่อเข้ากับเครื่องวัดค่าอุณหภูมิห้องอบแห้ง (Yokogawa ความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส)



ภาพประกอบ 15 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ

2. โรตารีวาล์วแสดงดังภาพที่ 16 มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 cm ยาว 13.5 cm มีความเร็วรอบในการทำงานแบ่งออกเป็นความเร็วรอบต่ำสุด 5 rpm/min ความเร็วสูงสุด 20 rpm/min ทำหน้าที่ป้อนข้าวเปลือกเข้าไปภายในห้องอบแห้ง และสามารถปรับลดอัตราการป้อนได้ ใช้มอเตอร์ขับโรตารีวาล์ว มีขนาด 24 V กระแสตรงเป็นมอเตอร์ปัดน้ำฝนรถยนต์ซึ่งมีอัตราทด 1 : 2 เป็นต้นกำลัง ทำหน้าที่หมุนจับชุดโรตารีวาล์ว



ภาพประกอบ 16 ชุดโรตารีวาล์ว

3. มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลไฟฟ้าเข้า 380 V 0.37 kW 50 Hz 2,800 rpm 0.81 - 1.5 A ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วในการยกชุดห้องอบแห้งโดยการเคลื่อนที่ห้องอบแห้ง แสดงดังภาพที่ 17



ภาพประกอบ 17 ชุดยกห้องอบแห้ง

4. ชุดผลิตลมร้อน (Hot air generator set) ทำหน้าที่สร้างลมร้อนจากการสันดาบระหว่างอากาศกับก๊าซไบโอมีเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) กับอากาศด้วยหัวเตาแบบอินฟาเรด ที่ความดัน 90-110 กิโลปาสคาล (KPa) แสดงดังภาพที่ 18

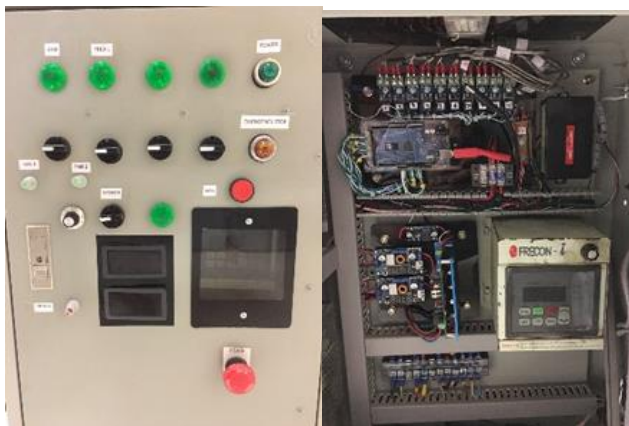


ภาพประกอบ 18 ชุดผลิตอากาศร้อนก๊าซไบโอมีเทนอัด (CBG)



ภาพประกอบ 19 ชุดผลิตอากาศร้อนก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)

5. ชุดควบคุมการทำงานเครื่องอบแห้งในการทดลองจะต้องมีการควบคุมกำลังไฟฟ้า เครื่องอบแห้งอากาศร้อนไหลตั้งฉาก และเวลาในการอบแห้งดังนั้นจึงจะต้องมีการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ แสดงดังภาพที่ 20



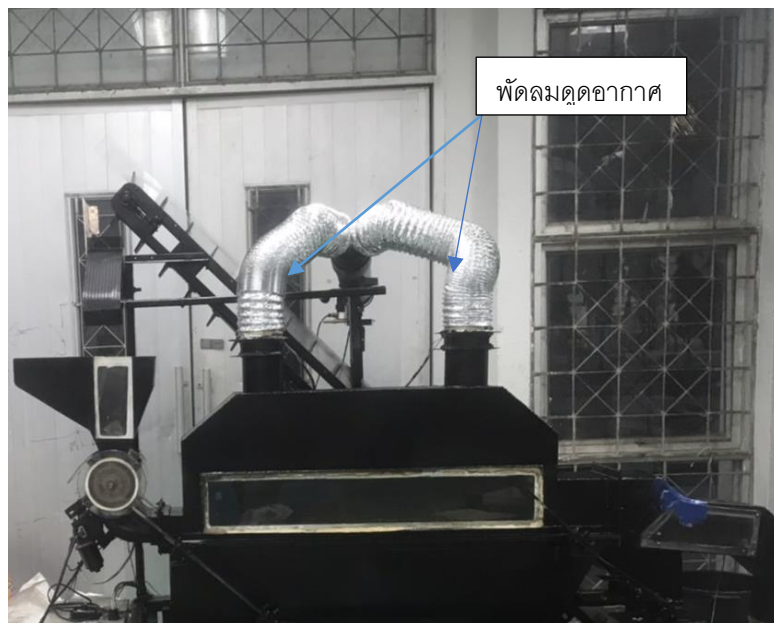
ภาพประกอบ 20 ชุดควบคุมการทำงานเครื่องอบแห้ง

6. เครื่องอ่านอุณหภูมิยี่ห้อ Graphtec corporation mount-cored รุ่น mt 100 เป็นอุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิและบันทึกค่าอุณหภูมิในระยะเวลาต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 21



ภาพประกอบ 21 อุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิ

7. ชุดตั้งค่าการไหลของลมร้อน (Hot air outlet set) ทำหน้าที่บังคับควบคุมทิศทางของอากาศร้อนจากห้องอากาศร้อนไหลผ่านข้าวเปลือกที่บริเวณแผ่นกระจายความร้อน และดูดลมร้อนออกจากเครื่องอบแห้ง (Air outlet) พัดลมดูดอากาศ ขนาด 4 นิ้ว ใช้พลังงาน ขนาด 24 โวลต์ แสดงดังภาพที่ 22



ภาพประกอบ 22 ชุดปรับตั้งการไหลลมร้อน (Hot air outlet set)

8. เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชแบบมือถือ รุ่น MD-7822 สามารถวัดความชื้นข้าวเปลือกได้หลายชนิด วัดความชื้นได้ตั้งแต่ 8 - 30 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก และวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 10 - 55 องศาเซลเซียส หัววัดของเครื่องเป็นเหล็กยาว 2 ขา สำหรับเสียบลงไปในกลุ่มเมล็ดพืชที่ต้องการวัด (ด้านบน) แสดงดังภาพที่ 23

9. เครื่องวัดความชื้นข้าว แบบเกลียวบิด วิธีการทำงานของเครื่อง ใช้แบบการต้านทานกระแสไฟฟ้า (electric resistance capacitance) โปรแกรมตรวจค่าความชื้นข้าวเปลือก (stick paddy) และ ข้าวึ่ง (parboiled milled rice) การแสดงข้อมูลรายงานผลเป็นเลขดิจิตอลบนจอ led black light ช่วงความชื้น 10 - 35 % ความผิดพลาดค่าความแม่นยำไม่เกิน 0.5 % แสดงภาพประกอบที่ 23



ภาพประกอบ 23 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชแบบมือถือ และ เครื่องวัดความชื้นข้าวแบบเกลียวบิด

10. เครื่องชั่งดิจิตอล ใช้เป็นอุปกรณ์วัดน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ทางออกของเครื่องอบแห้งแบบอากาศร้อนไหลตั้งฉาก เพื่อช่วยในการหาอัตรา และน้ำหนักในการอบแห้งเป็น kg/h แสดงดังภาพที่ 24

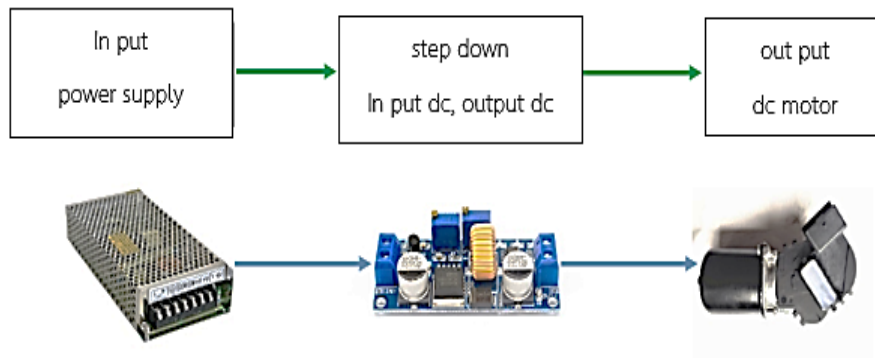


ภาพประกอบ 24 เครื่องชั่งดิจิตอล

11. ชุดตั้งค่าอัตราการบ่มเมล็ดพืช การควบคุมการบ่มเมล็ดพืชใช้การระบุความเร็วรอบของมอเตอร์ตามเงื่อนไขการทดลองร่วมกับสัญญาณของความชื้นเริ่มต้น (initial moisture content: IMC) เข้าเครื่องอบแห้งและรวมกับสัญญาณของตัวแปรในการปรับตั้งค่าการควบคุมเครื่องอบแห้งจากนั้นส่งเป็นสัญญาณควบคุม (system input หรือ control signal) บ่อนเข้าสู่

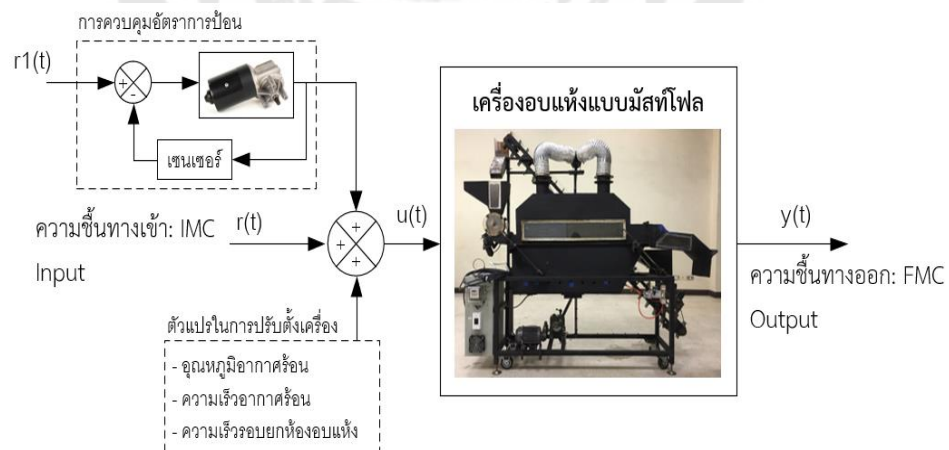
เครื่องอบแห้ง โดยการทดลองการควบคุมการป้อนเมล็ดพืชที่แปรผันตามอุณหภูมิห้องลมร้อน แบ่งออกที่ 2 ส่วน ดังนี้

1.1 การปรับอัตราการป้อนเมล็ดพืชแบบคงที่ โดยการปรับค่าการป้อนระบุความเร็วรอบของมอเตอร์เฉลี่ย เป็น 2, 4 และ 6 รอบต่อนาที โดยผ่านการควบคุมทางไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 25



ภาพประกอบ 25 การปรับอัตราการป้อนเมล็ดพืช

1.2 การปรับอัตราการป้อนเมล็ดพืชแบบแปรผันตามอุณหภูมิห้องอากาศร้อน โดยการปรับความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อควบคุมปริมาณการป้อนของเมล็ดพืชซึ่งใช้ข้อมูลจากการทดสอบจากส่วนที่ 1 นำมากำหนดเงื่อนไขการปรับตั้งค่ารอบมอเตอร์ แสดงดังภาพที่ 26



ภาพประกอบ 26 การปรับอัตราการป้อนเมล็ดพืชแบบแปรผันตามอุณหภูมิห้องอากาศร้อน

12. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ Biogas Measurement เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพภายในถังก๊าซไบโอมีเทน (CBG)



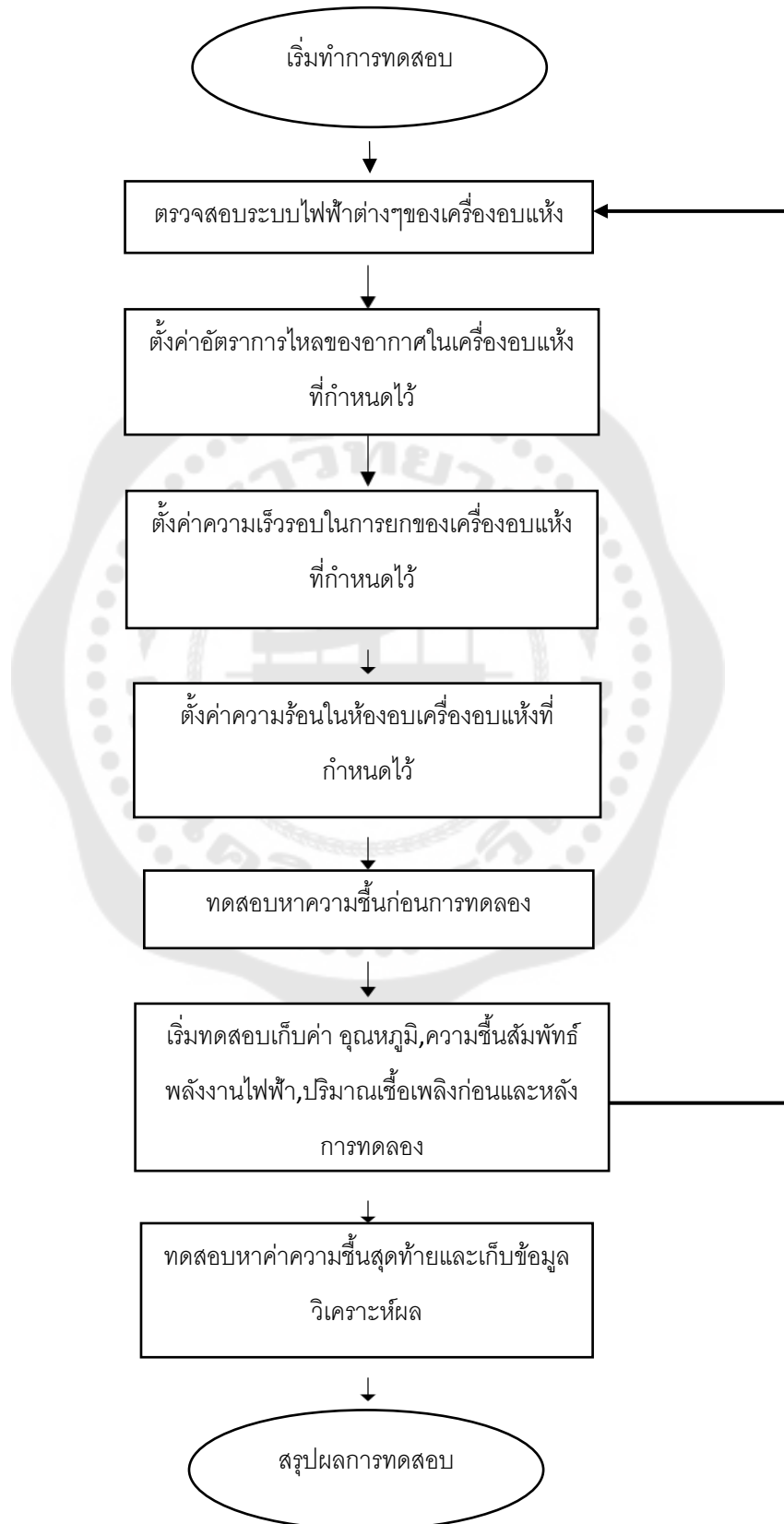
ภาพประกอบ 27 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ Biogas Measurement

13. หลังจากการอบแห้งเสร็จให้นำเมล็ดข้าวเปลือก เข้าเครื่องกะเทาะเปลือกข้าวและนำเมล็ดข้าวสารไปเข้าเครื่องวัดสี minolta รุ่น Cm-3500D วัดความโปร่งใสสี แสดงดังภาพที่ 28



ภาพประกอบ 28 เครื่องกะเทาะเปลือกข้าวและเครื่องวัดสี วัดความโปร่งใสสีเมล็ดข้าว

3.3 ขั้นตอนการทดสอบการอบแห้ง



3.4 การเตรียมข้าวเปลือกก่อนการทดสอบ

ในการทดสอบกระบวนการอบแห้งใช้เมล็ดพืชข้าวเปลือกพันธุ์ข้าว กข 31 และข้าวเปลือกพันธุ์ข้าว กข 6 นำข้าวเปลือกที่ได้มาทำความสะอาดแยกสิ่งเจือปน ขั้นตอนต่อมาวัดปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกด้วย เครื่องวัดความชื้นแบบความต้านทาน สามารถแยกความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากการเก็บเกี่ยว ระดับความชื้น 21-23 %wb ในกรณีที่มีความชื้นของเมล็ดต่ำกว่าระดับนี้ กรณีความชื้นที่ต่ำกว่าจะดำเนินการปรับความชื้นต้องเติมน้ำเข้าไปในข้าวเปลือกคลุกเคล้าให้ทั่วและบรรจุในภาชนะปิด กรณีความชื้นมากกว่าใช้การตากแห้งในที่กว้างหรือใช้การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง แสดงดังภาพที่ 29



ภาพประกอบ 29 การเตรียมข้าวเปลือก

3.5 การทดสอบการอบแห้งด้วยพลังงานเชื้อเพลิงก๊าซไปโอมิเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)

การดำเนินการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยพลังงานเชื้อเพลิงก๊าซไปโอมิเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เพื่อลดความชื้นของข้าวเปลือก โดยการปรับตั้งพารามิเตอร์ อาทิ ตัวแปรควบคุม, ตัวแปรต้น, และตัวแปรตาม ของเครื่องอบแห้งและและควบคุมการทำงานของชุดวัดคุมการไหลของไปโอมิเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาระบบอบแห้งข้าวแบบมัลติเฟลวที่ใช้พลังงานงานเชื้อเพลิงก๊าซไปโอมิเทนอัด เพื่อส่งเสริมเกษตรกรกลุ่มปลูกข้าวเปลือกภายหลังการการเก็บเกี่ยวผลผลิตนำข้าวเปลือกมาผ่านกระบวนการลด

ความชื้นหรือลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อนำไปจำหน่ายให้กับโรงสี ผู้
งานวิจัยได้ทดลองตามรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ตัวแปรควบคุม คือ การขึ้นตอนการลดความชื้นปริมาณความชื้นเริ่มต้นของ
ข้าวเปลือก ช่วง 21-23 %wb (ความชื้นฐานเปียก) อุณหภูมิความร้อนภายในห้องอบแห้งเฉลี่ยที่
130 °C และความเร็วชุดยกห้องอบแห้งเฉลี่ย 110 rpm ในการทดสอบใช้ข้าวเปลือกจำนวน 7 kg

ตัวแปรต้น คือ การปรับตั้งพารามิเตอร์ชุดควบคุมอากาศร้อนออกจากห้องอบ
แยกออกเป็น 3 กรณีดังนี้

1. กรณี ตั้งค่าพารามิเตอร์ชุดควบคุมอากาศร้อนออกจากเครื่องอบแห้งเป็น 1.0
m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s และปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ชุดความเร็วรอบมอเตอร์ เป็น 2.0 rpm
2. กรณี ตั้งค่าพารามิเตอร์ชุดควบคุมอากาศร้อนออกจากเครื่องอบแห้งเป็น 1.0
m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s และปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ชุดความเร็วรอบมอเตอร์ เป็น 4.0 rpm
3. กรณี ตั้งค่าพารามิเตอร์ชุดควบคุมอากาศร้อนออกจากห้องอบแห้งเป็น 1.0
m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s และปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ชุดความเร็วรอบมอเตอร์ เป็น 6.0 rpm

ตัวแปรตาม คือ ศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนที่ไหล
ออกจากห้องอบแห้งที่มีผลถึงปริมาณการลดความชื้นสุดท้าย ดังนั้นความชื้นสุดท้ายมาวิเคราะห์
คำนวณค่าความชื้น

- ด้านปริมาณ: ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption:SEC)
- ด้านคุณภาพ: ประสิทธิภาพความขาวของเมล็ดข้าวประสิทธิภาพการกะเทาะเปลือก
และเปอร์เซ็นต์การวัดความขาวของเมล็ดข้าว

บทที่ 4

ผลการเนิงานวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยที่ได้จากการทดสอบในทุกเงื่อนไข และขอบเขตของการทดสอบในการดำเนินการวิจัยทั้งหมด ซึ่งจะแสดงในรูปแบบของกราฟผลการทดลอง และตารางข้อมูลที่ศึกษา ไปจนการประเมินผลลัพธ์ ประสิทธิภาพในการอบแห้งข้าวเปลือก และอภิปรายผลของวัตถุประสงค์ข้างต้น สามารถแบ่งออกได้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

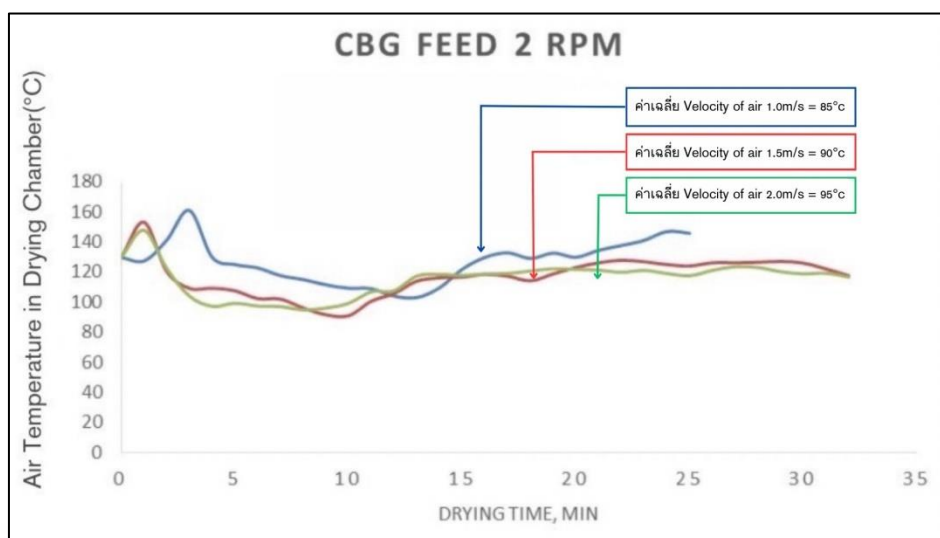
1. ผลการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล์วเพื่อเป็นต้นแบบในการใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด (CBG)
2. ผลการทดสอบเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล์ว การใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)
3. ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล์วที่ใช้แหล่งพลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด (CBG) เทียบกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ใช้ในกระบวนการอบแห้ง
4. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้ง

4.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล์วที่ใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG

จากการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โพล์วที่ใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด กับ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว สำหรับอบแห้งเพื่อทดสอบหาตัวแปรทำให้มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือก จากข้อมูลที่ได้รวบรวมเกี่ยวกับการลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวเปลือกตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ได้มีการวิเคราะห์เพื่ออัตราการไหลของข้าวเปลือก และวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อลักษณะการอบแห้งดังนี้

1. ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องอบแห้งและกระแสความเร็วลมร้อนส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก กข 31 ที่ใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG การทดสอบการอบแห้งที่ใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG มีการบันทึกผลของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ เพื่อที่จะพิจารณา และศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และอัตราการบ้อนของข้าวเปลือก ซึ่งการทดลองทำการปรับตั้งค่าความเร็วลมของอากาศร้อนที่ออกสู่ภายนอกจากเครื่องอบแห้งที่ 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่

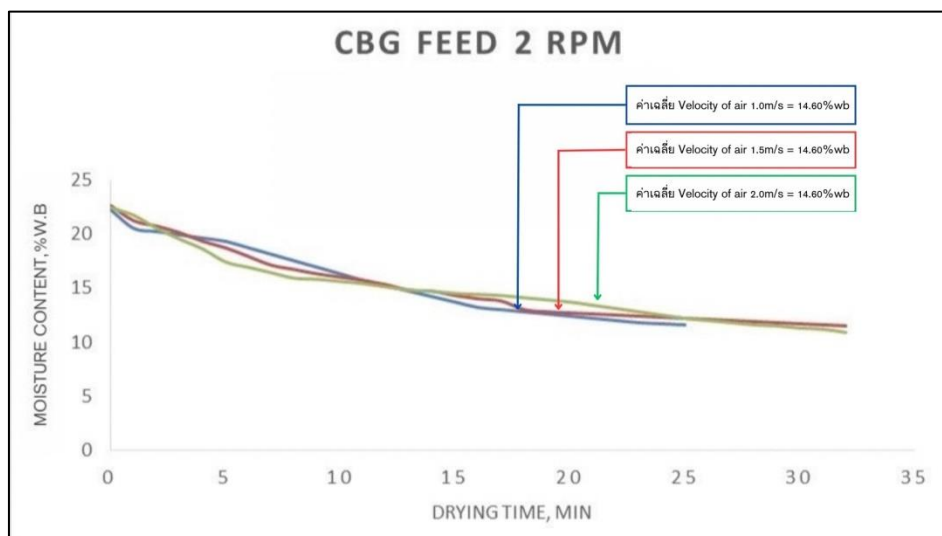
2.0, 4.0 และ 6.0 rpm หรือปริมาณการป้อนเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 kg/h ความเร็วรอบระยะ
 ยกของมอเตอร์ที่ 110 rpm อุณหภูมิในการอบที่ 130 °C ผลประสิทธิภาพการลดความชื้นที่
 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้



ภาพประกอบ 30 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาใน
 การอบแห้ง

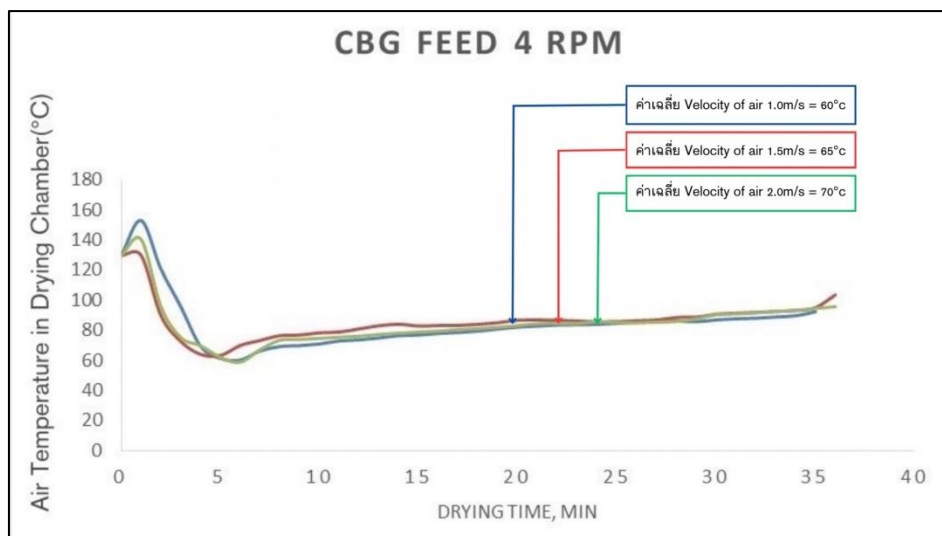
จากภาพประกอบที่ 30 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 2.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซไบโอมิเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับเมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อจะทำกรคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ดเปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกชุดสุดท้ายเดินผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศร้อนไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่

ประมาณ 85 °C และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 90 °C
 ความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 95 °C



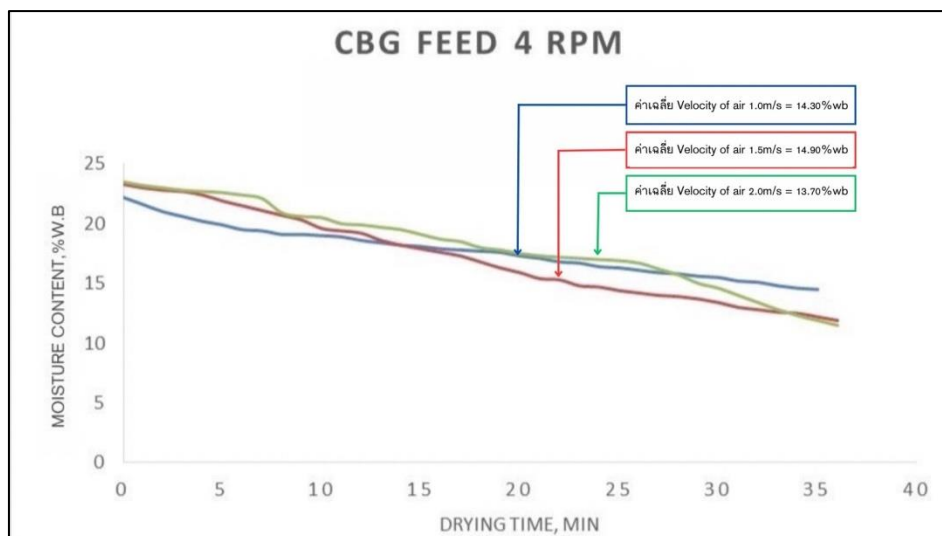
ภาพประกอบ 31 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 31 ความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 2.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการอบแห้งในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.60 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายหลังจากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.50 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 12.80 %wb



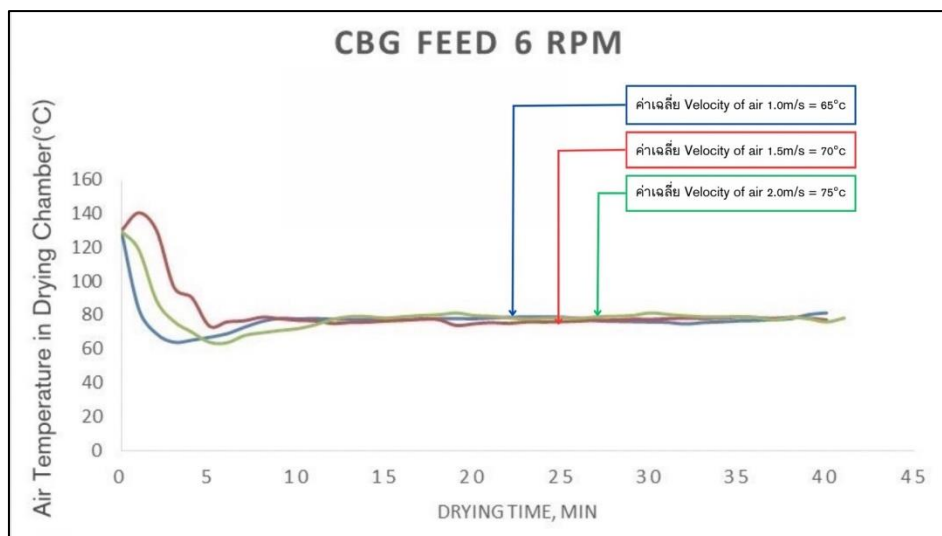
ภาพประกอบ 32 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

จากภาพประกอบที่ 32 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 4.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับเมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อจะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ดเปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกชุดสุดท้ายเดินผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 60 °C และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 65 °C ความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 70 °C



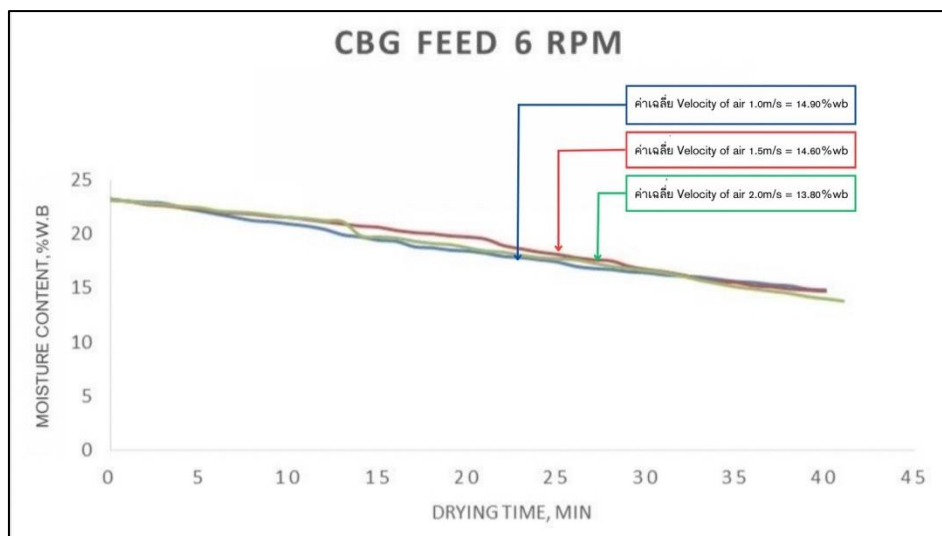
ภาพประกอบ 33 กแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 33 ความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 4.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายหลังจากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.30 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.90 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นสุดท้ายหลังจากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 13.70 %wb



ภาพประกอบ 34 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

จากภาพประกอบที่ 34 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 6.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับเมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อจะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ดเปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกชุดสุดท้ายเดินทางผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 65 °C และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 70 °C ความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 75 °C

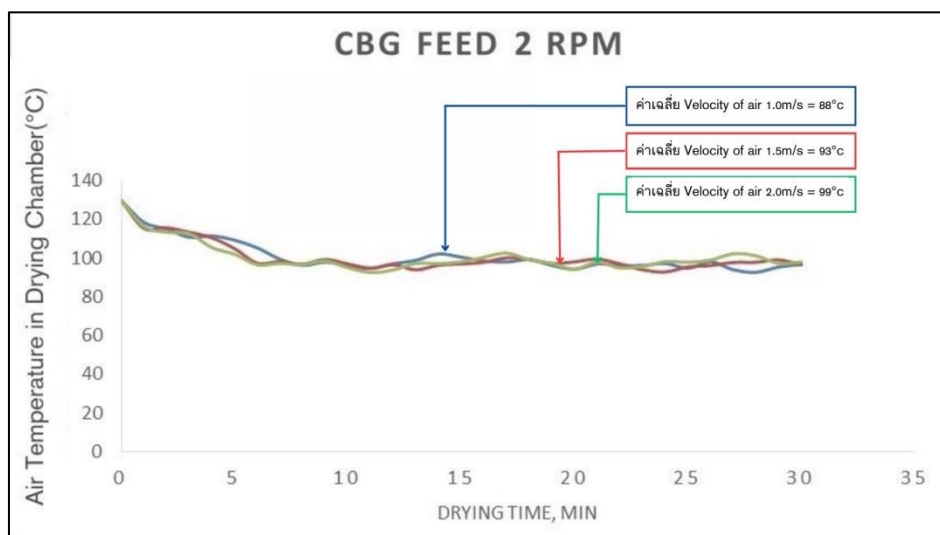


ภาพประกอบ 35 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 35 ความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 6.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23% wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.90 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.60 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 13.80 %wb

2. ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องอบแห้งและกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวเปลือก กข 6 ที่ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG การทดสอบการอบแห้งที่ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG มีการบันทึกผลของอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ เพื่อที่จะพิจารณา และศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และอัตราการป้อนของข้าวเปลือก โดยทำการตั้งค่าความเร็วลมของอากาศร้อนที่ออกสู่ภายนอกเครื่องอบแห้งที่ 1 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s ความเร็วรอบที่ใช้การหมุนของมอเตอร์ที่เป็น 2.0, 4.0 และ 6.0 rpm หรือปริมาณการป้อนเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 kg/h ความเร็วรอบของ

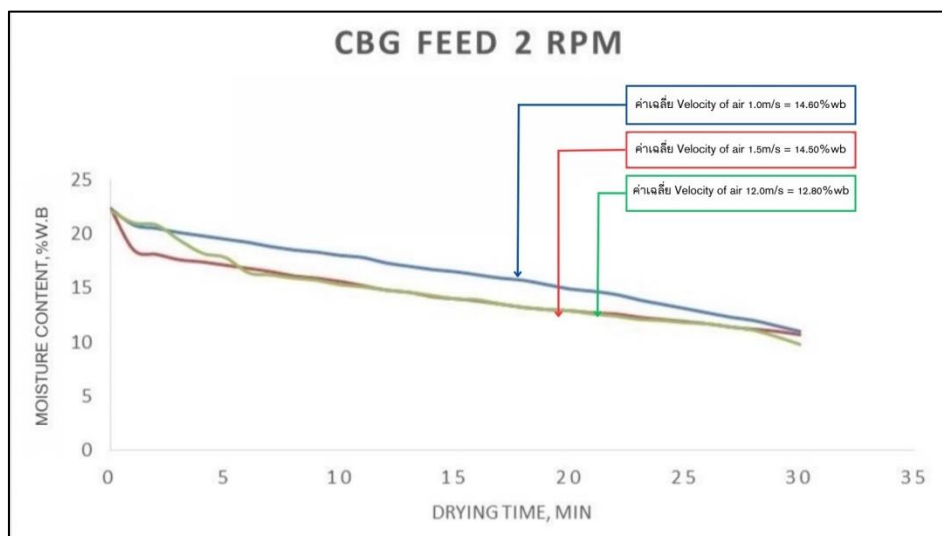
ระยะยกของมอเตอร์ที่ 110 rpm อุณหภูมิการอบที่ 130 °C ผลประสิทธิภาพการลดความชื้นที่สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้



ภาพประกอบ 36 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

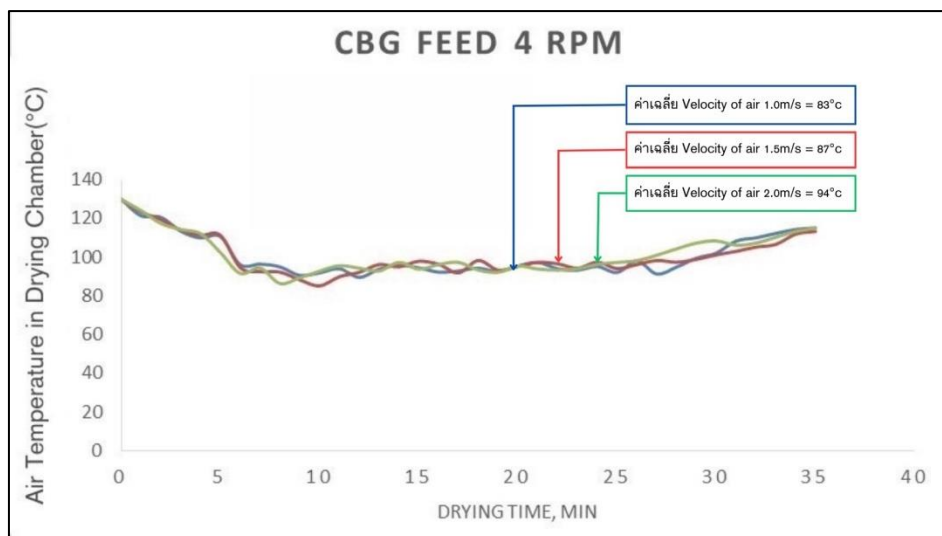
จากภาพประกอบที่ 36 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 2.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับเมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อจะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ดเปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกหลุดสุดทำยเดินผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศร้อนไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 88

°C และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 93 °C ความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 99 °C



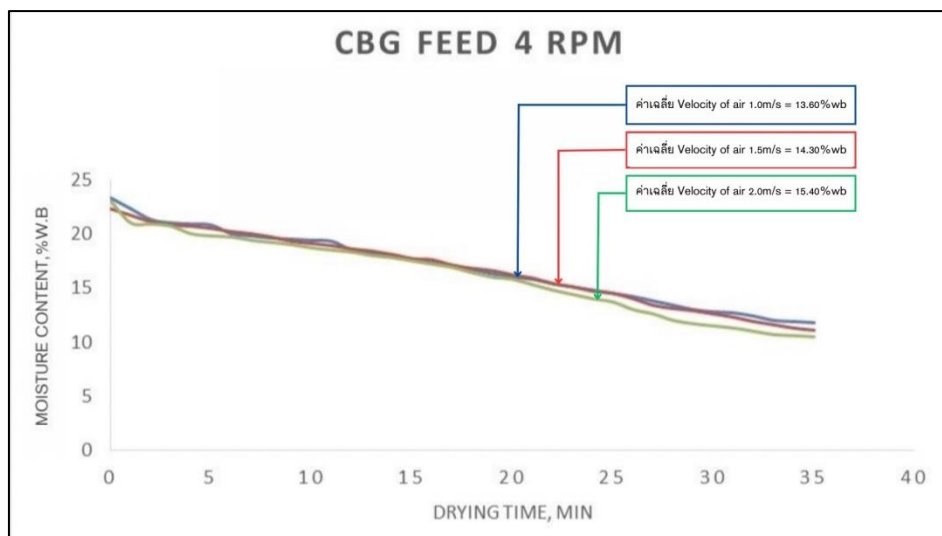
ภาพประกอบ 37 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมของอากาศร้อน ต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 37 ความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 2.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.60 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.50 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 12.80 %wb



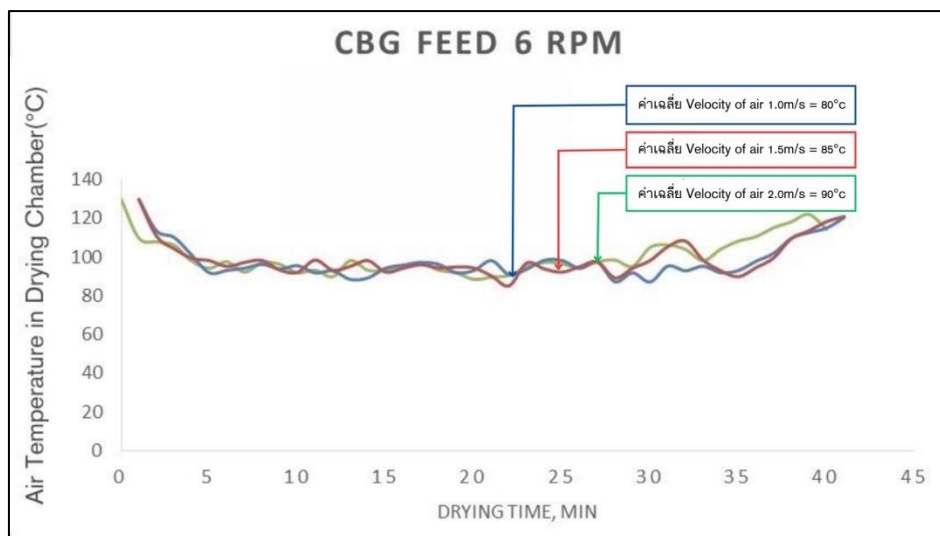
ภาพประกอบ 38 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

จากภาพประกอบที่ 38 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 4.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซไบโอมิเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของ เมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับ เมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อ จะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ด เปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกชุดสุดท้ายเดิน ผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศ ร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศร้อนไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 83 °C และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 87 °C ความเร็ว อากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 94 °C



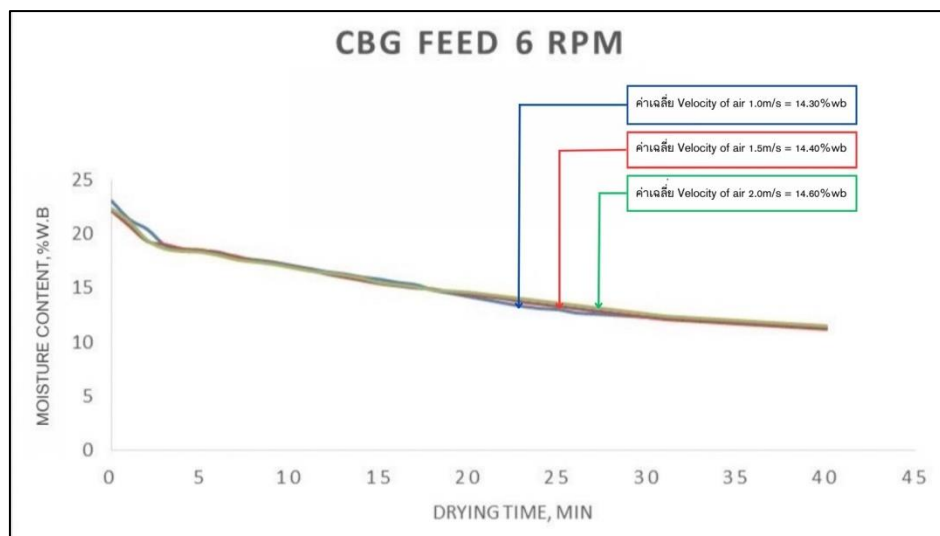
ภาพประกอบ 39 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมของอากาศร้อน ต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 39 ความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 4.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 13.60 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.30 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 15.40 %wb



ภาพประกอบ 40 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

จากภาพประกอบที่ 40 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 6.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซไบโอมิเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของ เมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับ เมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อ จะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ด เปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกหลุดสุดทำยเดิน ผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศ ร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศร้อนไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 80 °C และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 85 °C ความเร็ว อากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 90 °C



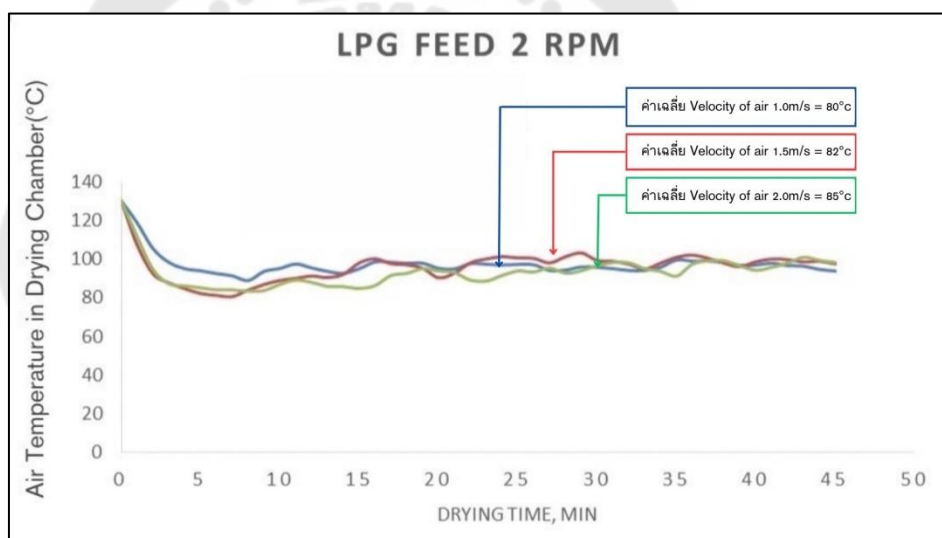
ภาพประกอบ 41 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมของอากาศร้อน ต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 41 ความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 6.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.30 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.40 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.60 %wb

4.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสทีฟโพล์ที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG

จากการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสทีฟโพล์ที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว สำหรับอบแห้งเพื่อทดสอบหาตัวแปรปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือก จากข้อมูลที่ได้รวบรวมเกี่ยวกับการลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวเปลือกตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ได้มีการวิเคราะห์เพื่ออัตราการไหลของข้าวเปลือก และวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อลักษณะการอบแห้ง ดังนี้

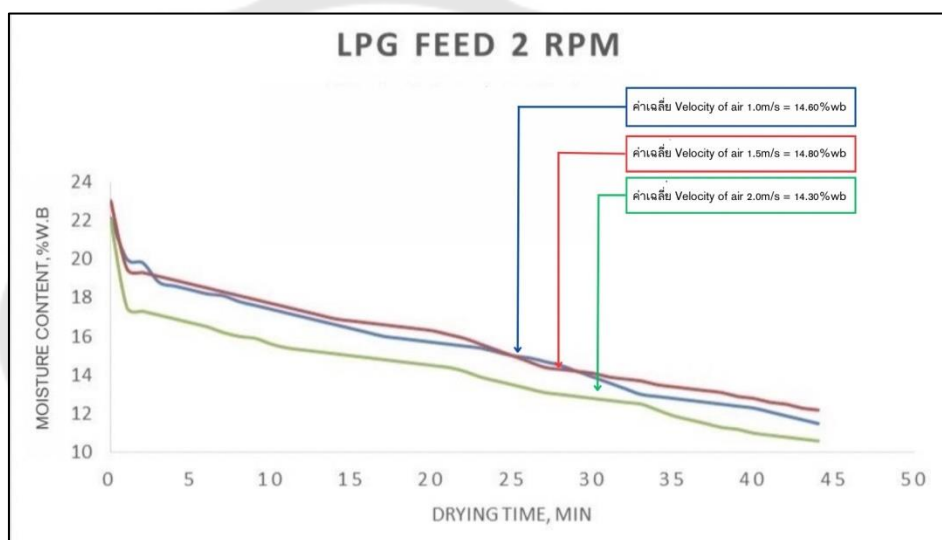
1. ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องอบแห้งและกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก กข 31 ที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG การทดสอบการอบแห้งที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG มีการบันทึกผลของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเพื่อที่จะพิจารณา และศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และอัตราการป้อนของข้าวเปลือก โดยทำการตั้งค่าความเร็วลมของอากาศร้อนที่ออกสู่ภายนอกจากเครื่องอบแห้งที่ 1 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 2.0, 4.0 และ 6.0 rpm หรือปริมาณการป้อนเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 kg/h ความเร็วระยะยกของมอเตอร์ที่ 110 rpm อุณหภูมิอบที่ 130 °C ผลประสิทธิผลการลดความชื้นที่สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้



ภาพประกอบ 42 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

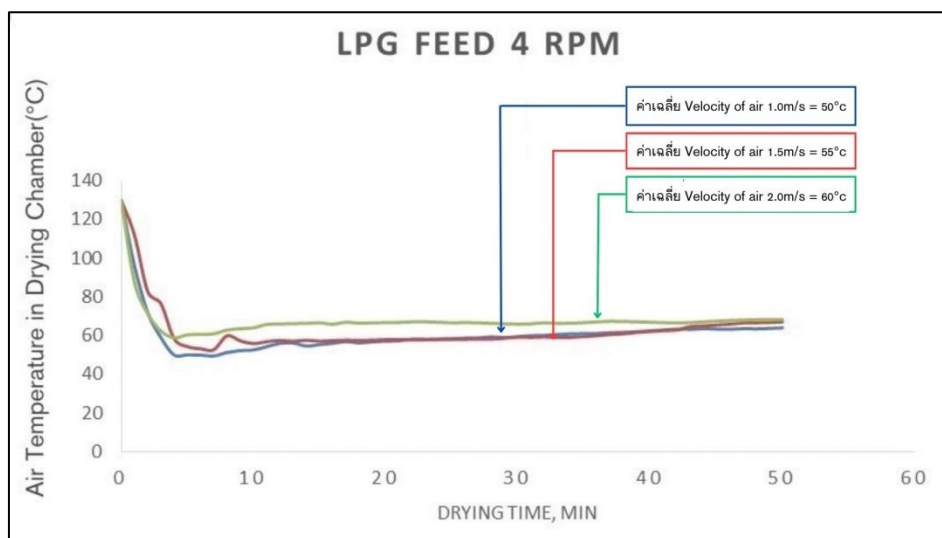
จากภาพประกอบที่ 42 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 2.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับเมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจาก

ความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อจะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ดเปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกหลุดสุดท้ายเดินทางผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศร้อนไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 80 °C และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 82 °C ความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 85 °C



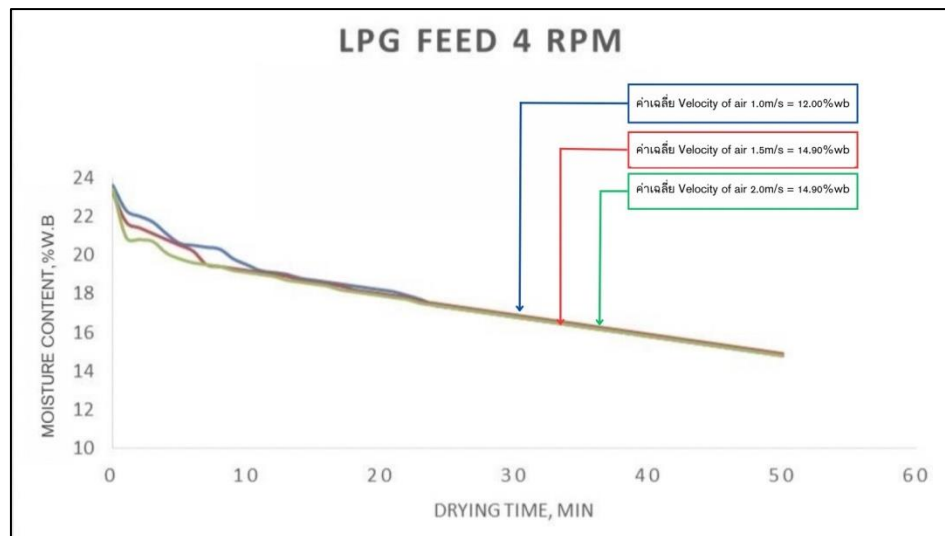
ภาพประกอบ 43 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 43 ความชื้นข้าวเปลือก ที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 2.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 11.30 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.80 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นสุดท้ายหลังจากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.30 %wb



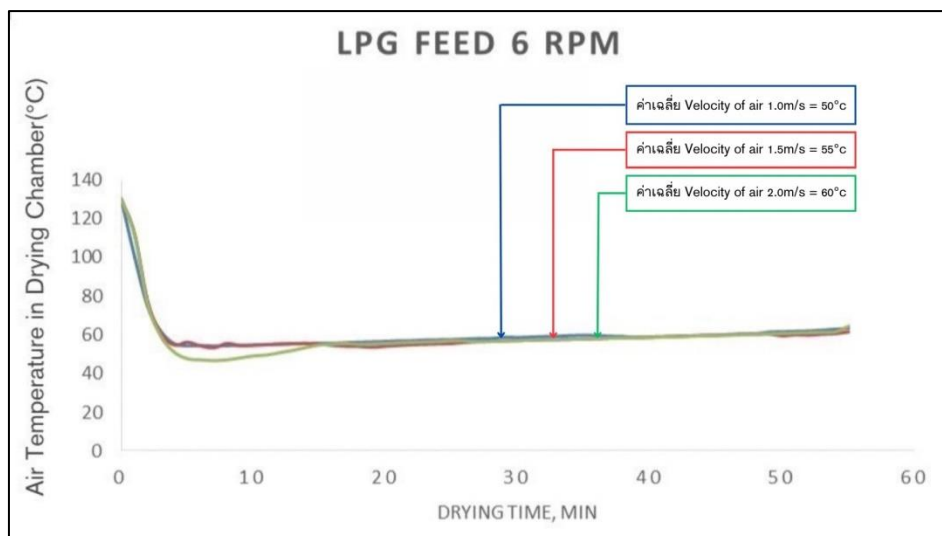
ภาพประกอบ 44 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

จากภาพประกอบที่ 44 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 4.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับเมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อจะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ดเปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกชุดสุดท้ายเดินผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 50 °C และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 55 °C ความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 60 °C



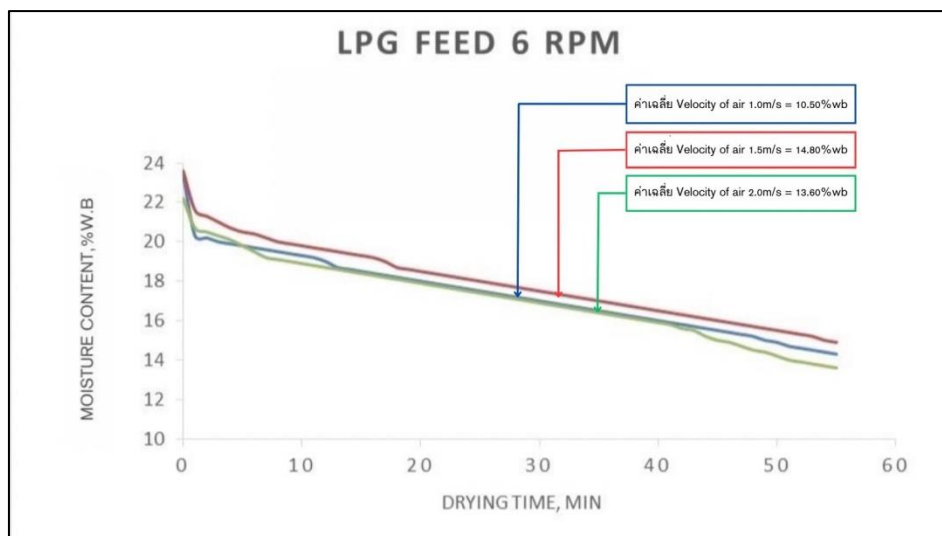
ภาพประกอบ 45 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 45 ความชื้นข้าวเปลือก ที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 องศาเซลเซียส ความเร็วการหมุนของมอเตอร์ที่ 4.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 12.00 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.90 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.90 %wb



ภาพประกอบ 46 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

จากภาพประกอบที่ 46 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วชุดการหมุนของมอเตอร์ที่ 6.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับเมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อจะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ดเปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกชุดสุดท้ายเดินผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศร้อนไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 50 °C และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 55 °C ความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 60 °C

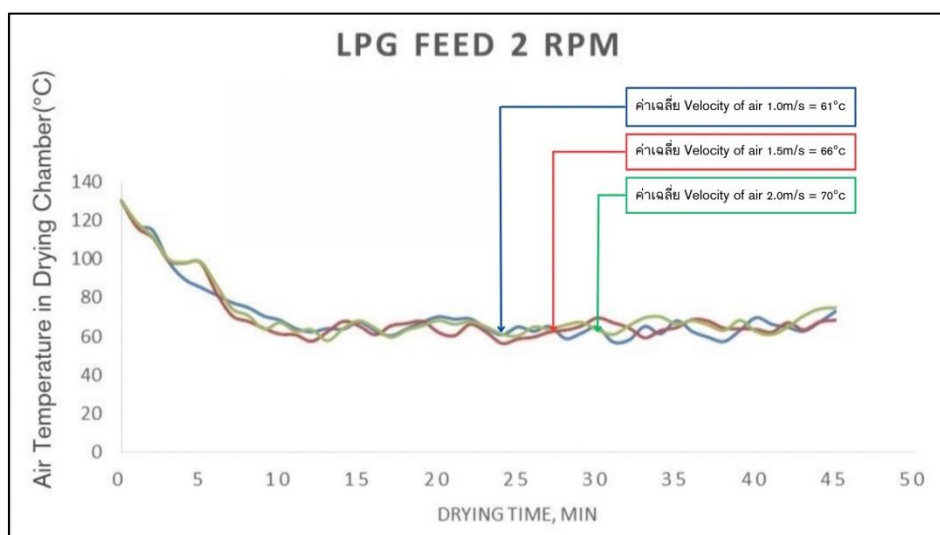


ภาพประกอบ 47 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 47 ความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วจากการหมุนของมอเตอร์ที่ 6.0 rpm ข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายหลังจากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 10.50 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.80 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 13.60 %wb

2. ผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องอบแห้งและกระแสความเร็วลมของอากาศร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก กข 6 ที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG การทดสอบการอบแห้งที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG มีการบันทึกผลของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเพื่อที่จะพิจารณาและศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศและอัตราการป้อนของข้าวเปลือก ซึ่งทำการตั้งค่าความเร็วลมของอากาศร้อนที่ออกสู่ภายนอกจากเครื่องอบแห้งที่ 1 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 2.0, 4.0 และ 6.0 rpm หรือปริมาณการป้อนเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 kg/h ความเร็วรอบระยะยก

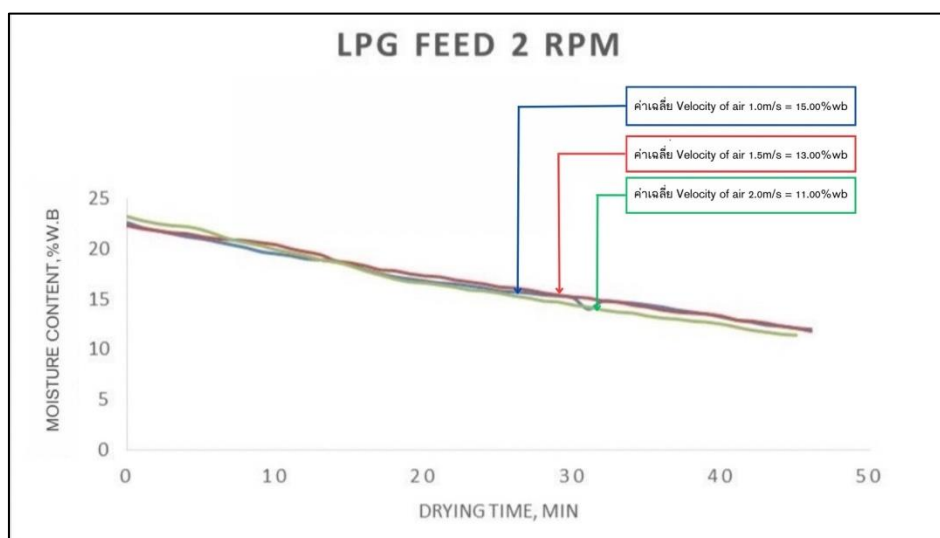
ของมอเตอร์ที่ 110 rpm อุณหภูมิการอบที่ 130 °C ผลประสิทธิภาพการลดความชื้นที่สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้



ภาพประกอบ 48 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

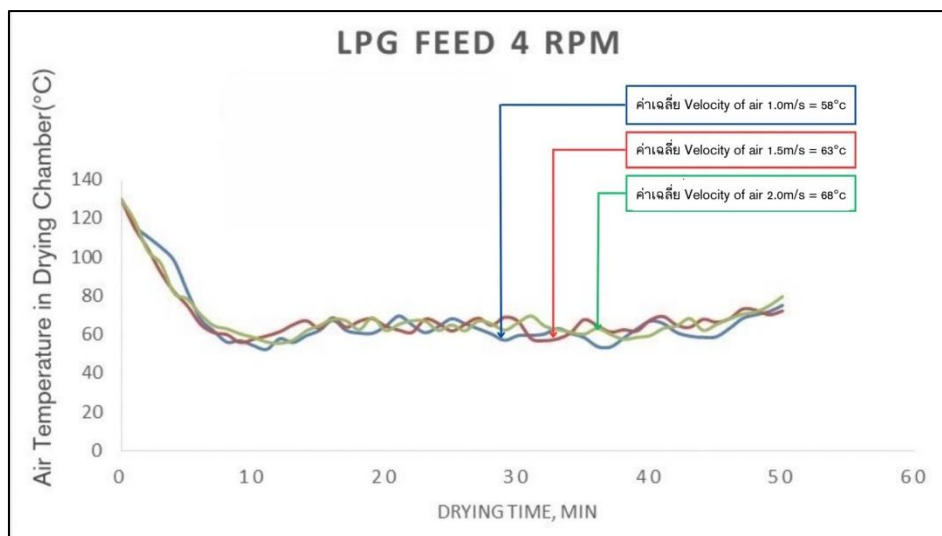
จากภาพประกอบที่ 48 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 °C ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 2.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือกในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับเมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อจะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ดเปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกซุดสุดทำยเดินผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศร้อนไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 61

°C และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 66 °C ความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 70 °C



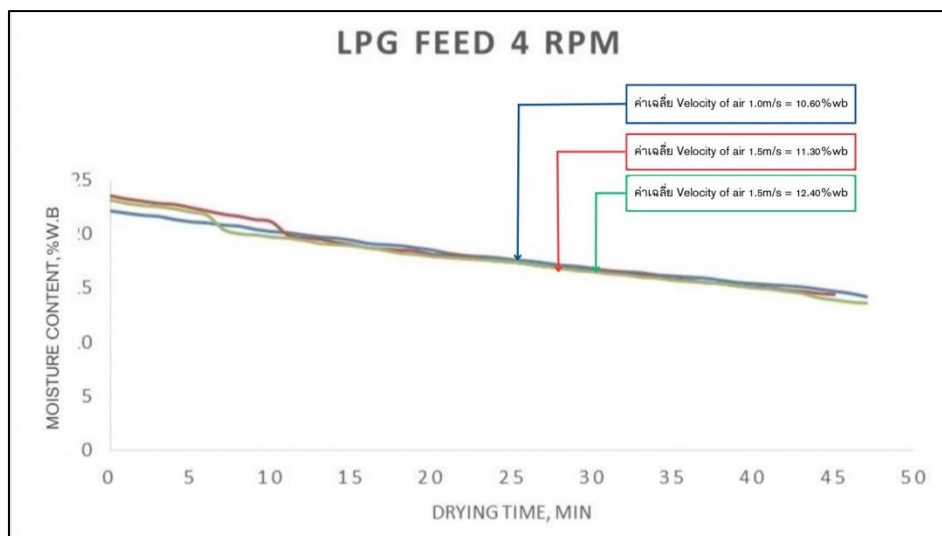
ภาพประกอบ 49 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 49 ความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 องศาเซลเซียส ความเร็วที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 2.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 15.00 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายที่อบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 13.00 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นหลังจากอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 11.00 %wb



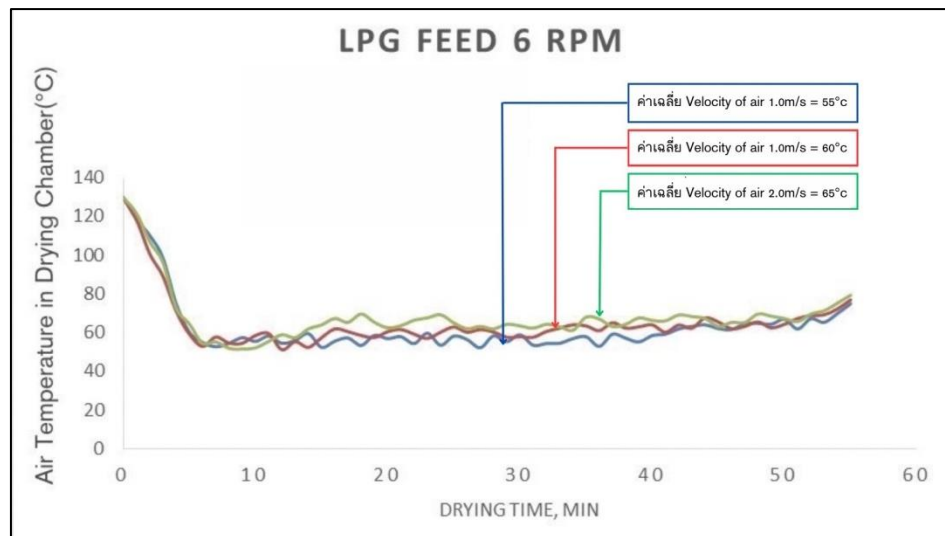
ภาพประกอบ 50 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

จากภาพประกอบที่ 50 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 องศาเซลเซียส ความเร็วที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 4.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับเมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อจะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ดเปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกสุดท้ายเดินทางผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 58 องศาเซลเซียส และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 63 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 68 องศาเซลเซียส



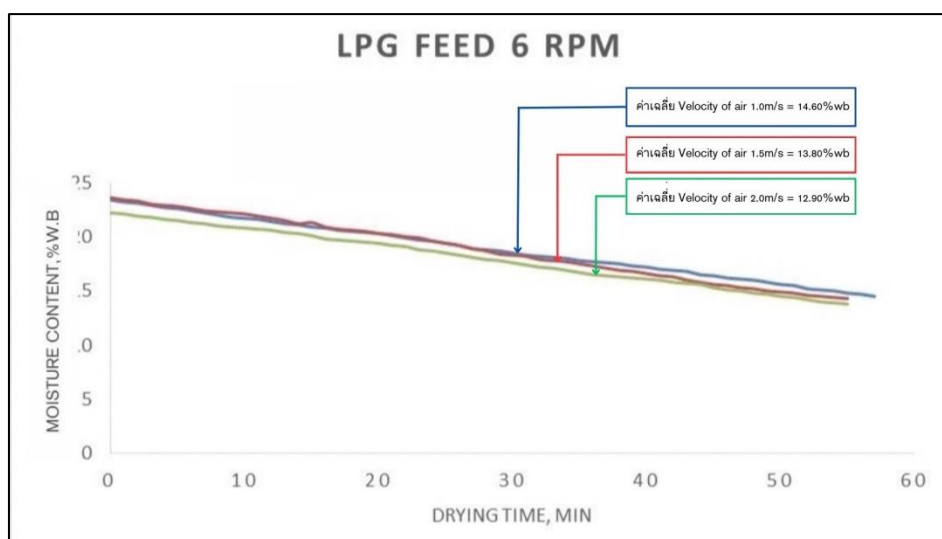
ภาพประกอบ 51 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 51 ความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 องศาเซลเซียส ความเร็วที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 4.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการผลิตปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23%wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 10.60%wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 11.30%wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 12.40%wb



ภาพประกอบ 52 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนที่ทางออกกับเวลาในการอบแห้ง

จากภาพประกอบที่ 52 การอบแห้งที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 องศาเซลเซียส ความเร็วที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ที่ 6.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือกในช่วงเวลา 5 นาทีแรก อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่ำกว่าในห้องอบแห้งจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งกับเมล็ดข้าวเปลือก ในช่วงเวลา 10 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะค่อยข้างคงที่เนื่องจากความร้อนในห้องอากาศร้อนได้ถ่ายเทให้กับเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งเมล็ดข้าวเปลือกจะเก็บความร้อนไว้เพื่อจะทำการคายความชื้นต่อไป ในช่วงเวลา 20 นาที อุณหภูมิห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมล็ดเปลือกจะคายความชื้นออกมาในรูปของไอน้ำ และคายความร้อนออกมาด้วย ในช่วงเวลา 30 นาที อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดข้าวเปลือกสุดท้ายเดินทางผ่านห้องอบแห้งไปยังทางออก ทำให้ภายในห้องอบแห้งได้รับการถ่ายเทความร้อนจากห้องอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร็วอากาศไหลผ่านเฉลี่ย 1.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 55 องศาเซลเซียส และความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 1.5 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศไหลเฉลี่ย 2.0 m/s จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 65 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 53 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของกระแสความเร็วลมร้อนต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

จากภาพประกอบที่ 53 ความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s อุณหภูมิการอบแห้ง 130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ที่ 6.0 rpm ข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีปัจจัยที่ผลต่อการลดปริมาณความชื้นข้าวเปลือก ความชื้นที่หายไปในการทดลองในแต่ละครั้งจะแตกต่างกันที่ความชื้นเริ่มต้น 21-23%wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.0 m/s ความชื้นสุดท้ายที่อบแห้งข้าวเปลือกจะได้ค่า 14.60 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 1.5 m/s ความชื้นหลังจากอบแห้งข้าวเปลือกได้ค่า 13.80 %wb ความเร็วลมอากาศร้อน 2.0 m/s ความชื้นหลังจากอบแห้งข้าวเปลือกได้ค่า 12.90 %wb

4.3 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์ที่ใช้แหล่งพลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด (CBG) เทียบกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ใช้ในกระบวนการอบแห้ง

1. ผลการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือก กข 31 CBG ด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสท์โฟลว์ที่ใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG จากภาพประกอบ 30 การทดสอบการอบแห้งที่ใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG มีการบันทึกผลของอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศเพื่อที่จะพิจารณาและศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และอัตราการป้อนของข้าวเปลือก ดังนั้นกำหนดการปรับตั้งค่าความเร็วลมของอากาศร้อนที่ออกสู่ภายนอกจากเครื่องอบแห้งที่ 1 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s จึงเห็นได้ว่าอัตราการไหลของอากาศร้อน 2.0 m/s

สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนชุดป้อนข้าวเปลือกที่ 2.0, 4.0 และ 6.0 rpm หรืออัตราการป้อนข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 kg/h พบว่าอัตราการป้อนเฉลี่ยเมล็ดข้าวเปลือกที่ 49 Kg/h สามารถความชื้นได้มากเนื่องจากปริมาณข้าวเปลือกในห้องอบแห้งน้อยทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกอากาศร้อนจึงไหลผ่านได้มากทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ความเร็วรอบระยะยกของมอเตอร์ที่ 110 rpm อุณหภูมิการอบที่ 130 °C ผลประสิทธิผลการลดความชื้นจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ 21-23 %wb ให้เหลือประมาณความชื้น 14 %wb โดยข้าวเปลือกใช้เวลาในกระบวนการอบแห้งประมาณ 32 นาที ซึ่งมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เท่ากับ 11.42 MJ/kg

2. ผลการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือก กข 6 (CBG) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟฟ์ลิว์ที่ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG จากภาพประกอบ 36 การทดสอบการอบแห้งที่ใช้พลังงานก๊าซไปโอมิเทนอัด CBG มีการบันทึกผลของอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศเพื่อที่จะพิจารณาและศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และอัตราการไหลของข้าวเปลือก ดังนั้นกำหนดการปรับตั้งค่าความเร็วลมของอากาศร้อนที่ออกสู่ภายนอกจากเครื่องอบแห้งที่ 1 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s พบว่าอัตราการไหลของอากาศร้อน 2.0 m/s สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนชุดป้อนข้าวเปลือกที่ 2.0, 4.0 และ 6.0 rpm หรืออัตราการป้อนข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 Kg/h พบว่าอัตราการป้อนเฉลี่ยเมล็ดข้าวเปลือกที่ 49 Kg/h สามารถความชื้นได้มากเนื่องจากปริมาณข้าวเปลือกในห้องอบแห้งน้อยทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกอากาศร้อนจึงไหลผ่านได้มากทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ความเร็วรอบระยะยกของมอเตอร์ที่ 110 rpm อุณหภูมิการอบที่ 130 °C ผลประสิทธิผลการลดความชื้นจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ 21-23 %wb ให้เหลือความชื้น 14 %wb โดยข้าวเปลือกใช้เวลาในกระบวนการอบแห้งประมาณ 30 นาที โดยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เท่ากับ 10.90 MJ/kg

3. ผลการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือก กข 31 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติไฟฟ์ลิว์ที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG จากภาพประกอบ 42 การทดสอบการอบแห้งที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG มีการบันทึกผลของอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศเพื่อที่จะพิจารณาและศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และอัตราการไหลของข้าวเปลือก ดังนั้นกำหนดการปรับตั้งค่าความเร็วลมของอากาศร้อนที่ออกสู่ภายนอกจากเครื่องอบแห้งที่ 1 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s พบว่าอัตราการไหลของอากาศร้อน 2.0 m/s สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนชุดป้อนข้าวเปลือกที่ 2.0, 4.0 และ 6.0 rpm

หรืออัตราการป้อนข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 Kg/h พบว่าอัตราการป้อนเฉลี่ยเมล็ดข้าวเปลือกที่ 49 Kg/h สามารถความชื้นได้มากเนื่องจากปริมาณข้าวเปลือกในห้องอบแห้งน้อยทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกอากาศร้อนจึงไหลผ่านได้มากทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ความเร็วรอบระยะยกของมอเตอร์ที่ 110 rpm อุณหภูมิการอบที่ 130 °C ผลประสิทธิภาพการลดความชื้นจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ 21-23 %wb ให้เหลือความชื้น 14 %wb โดยข้าวเปลือกใช้เวลาในกระบวนการอบแห้งประมาณ 45 นาที ซึ่งมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เท่ากับ 15.65 MJ/kg

4. ผลการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือก กข 6 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติโพลเวอร์ที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG จากภาพประกอบ 48 การอบแห้งที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG มีการบันทึกผลของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเพื่อที่จะพิจารณาและศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศและอัตราการไหลของข้าวเปลือก ดังนั้นการปรับตั้งค่าความเร็วลมร้อนออกจากห้องอบแห้งที่ 1 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s พบว่าอัตราการไหลของอากาศร้อน 2.0 m/s สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนชุดป้อนข้าวเปลือกที่ เป็น 2.0, 4.0 และ 6.0 rpm หรืออัตราการป้อนข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 Kg/h พบว่าอัตราการป้อนเฉลี่ยเมล็ดข้าวเปลือกที่ 49 Kg/h สามารถความชื้นได้มากเนื่องจากปริมาณข้าวเปลือกในห้องอบแห้งน้อยทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกอากาศร้อนจึงไหลผ่านได้มากทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนความเร็วรอบระยะยกของมอเตอร์ที่ 110 rpm อุณหภูมิที่อบแห้ง 130 °C ผลประสิทธิภาพการลดความชื้นจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ 21-23 %wb ให้เหลือความชื้น 14 %wb โดยข้าวเปลือกใช้เวลาในกระบวนการอบแห้งประมาณ 45 นาที ซึ่งมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เท่ากับ 16.20 MJ/kg

ดังนั้นจากกราฟจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบการอบแห้งผลต่างการใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG กับการใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG และหลังจากอบแห้งเทียบกับอัตราการไหลลมร้อนในกระบวนการอบแห้ง ค่าอุณหภูมิที่อบแห้ง 130°C แสดงในภาพที่ 30, 36, 42 และ 48 การอบแห้งของข้าวเปลือกความเร็วที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ที่ 2.0, 4.0 และ 6.0 rpm หรือปริมาณการป้อนเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 kg/h จะเห็นได้ว่าอัตราการป้อนข้าวเปลือก 49 Kg/h เนื่องจากปริมาณเมล็ดข้าวเปลือกมีช่องว่างระหว่างเมล็ดทำให้อากาศร้อนไหลผ่านทั่วถึงเมล็ดข้าว จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของอากาศร้อน 1 m/s, 1.5 m/s และ 2.0 m/s ที่มีอัตราการไหลของอากาศร้อน 2.0 m/s จะสามารถลดความชื้นได้มากกว่าอัตราการไหลของอากาศร้อน 1 m/s, 1.5 m/s เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศร้อนถ่ายเทได้เร็วมวลความชื้น

น้อยลงตามไปด้วย อัตราการปล่อยไอเสีย 49 Kg/h และอัตราการไหลของอากาศร้อน 2 m/s สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด ในส่วนการใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG อุณหภูมิในขณะอบแห้งภายในห้องอบแห้งเฉลี่ยที่ 50-70°C และในส่วนการใช้พลังงานก๊าซไบโอมิเทนอัด CBG อุณหภูมิในขณะอบแห้งภายในห้องอบแห้งเฉลี่ยที่ 70-95°C ได้ความร้อนในห้องอบแห้งที่สูงกว่าการใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG เป็นเหตุที่ทำให้การดำเนินอบแห้งข้าวเปลือกการใช้พลังงานก๊าซไบโอมิเทนอัด CBG ดีกว่านั่นเอง

4.4 ผลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการทำงาน กับความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งต้นแบบการใช้พลังงานก๊าซไบโอมิเทนอัดที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกการอบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) และ 2. ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเครื่องอบแบบมัลติโพล์ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) คือ ปริมาณในการใช้พลังงานอบแห้งต่อปัจจัยผลค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเป็นค่าพลังงานที่กำหนดต่อหน่วยการผลิตที่อบแห้ง ค่าพลังงานใช้เพื่อเปรียบเทียบ และเป็นข้อมูลการใช้พลังงานเฉลี่ยของการอบแห้ง โดยค่า SEC ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการอบแห้งต่ำ แต่ค่า SEC ต่ำ แสดงถึงประสิทธิภาพของพลังงานที่อบแห้งสูง โดยค่า SEC ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 8

ตาราง 8 ประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้แหล่งพลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG

| Drying condition | | | | Mass of | Moisture | | Energy | Energy | SEC |
|------------------|------|--------|--------|---------|--------------|-------|----------------------|-------------------------|-------|
| | | | | water | Content (MC) | | consum | consum | MJ/Kg |
| Lifting | Hot- | Spee | Velo | remove | Initial | Final | E_{thermal} | $E_{\text{electrical}}$ | |
| frequency | air | d of | city | d | %wb | %wb | MJ/h | MJ/h | |
| rpm | temp | rotary | of air | kg | | | | | |
| | °C | valve | m/s | | | | | | |
| | | rpm | | | | | | | |
| 110 | 130 | 2 | 1 | 0.40 | 22.2 | 14.6 | 4.54 | 0.54 | 12.70 |
| 110 | 130 | 2 | 1.5 | 0.38 | 22.2 | 14.5 | 4.30 | 0.32 | 12.15 |
| 110 | 130 | 2 | 2 | 0.35 | 23.2 | 12.8 | 3.79 | 0.21 | 11.42 |
| 110 | 130 | 4 | 1 | 0.37 | 22.6 | 14.3 | 5.10 | 0.61 | 15.43 |
| 110 | 130 | 4 | 1.5 | 0.36 | 23.3 | 14.9 | 4.68 | 0.36 | 14.00 |
| 110 | 130 | 4 | 2 | 0.35 | 23.1 | 13.7 | 4.25 | 0.25 | 12.85 |
| 110 | 130 | 6 | 1 | 0.37 | 22.4 | 14.9 | 6.72 | 0.64 | 23.62 |
| 110 | 130 | 6 | 1.5 | 0.38 | 23.5 | 14.6 | 8.10 | 0.39 | 22.34 |
| 110 | 130 | 6 | 2 | 0.44 | 23.1 | 13.8 | 8.49 | 0.32 | 20.02 |
| Average | | | | 0.37 | 22.8 | 14.23 | 5.55 | 0.40 | 16.05 |

ตาราง 9 ประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้แหล่งพลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด CBG

| Drying condition | | | | Mass of | Moisture | | Energy | Energy | SEC |
|------------------|------|--------|--------|---------|--------------|-------|---------------|------------------|-------|
| | | | | water | Content (MC) | | consum | consum | MJ/Kg |
| Lifting | Hot- | Spee | Velo | remove | Initial | Final | $E_{thermal}$ | $E_{electrical}$ | |
| frequ | air | d of | city | d | %wb | %wb | MJ/h | MJ/h | |
| ency | temp | rotary | of air | kg | | | | | |
| rpm | °C | valve | m/s | | | | | | |
| | | rpm | | | | | | | |
| 110 | 130 | 2 | 1.0 | 0.5 | 21.50 | 16.00 | 4.58 | 0.17 | 12.80 |
| 110 | 130 | 2 | 1.5 | 0.4 | 22.40 | 14.00 | 4.28 | 0.18 | 11.40 |
| 110 | 130 | 2 | 2.0 | 0.3 | 21.90 | 13.00 | 3.75 | 0.17 | 10.90 |
| 110 | 130 | 4 | 1.0 | 0.5 | 22.40 | 13.60 | 5.02 | 0.32 | 15.20 |
| 110 | 130 | 4 | 1.5 | 0.4 | 22.70 | 14.30 | 4.62 | 0.29 | 12.60 |
| 110 | 130 | 4 | 2.0 | 0.6 | 21.40 | 15.40 | 4.32 | 0.30 | 12.50 |
| 110 | 130 | 6 | 1.0 | 0.2 | 21.70 | 14.30 | 6.53 | 0.54 | 23.50 |
| 110 | 130 | 6 | 1.5 | 0.4 | 21.60 | 14.40 | 8.04 | 0.58 | 22.10 |
| 110 | 130 | 6 | 2.0 | 0.5 | 21.50 | 14.60 | 8.54 | 0.52 | 18.80 |
| Average | | | | 0.42 | 21.84 | 14.40 | 5.52 | 0.34 | 15.53 |

ตาราง 10 ประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก กข 31 ใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้แหล่งพลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG

| Drying condition | | | | Mass of | Moisture | | Energy | Energy | SEC |
|------------------|------|--------|--------|---------|--------------|-------|----------------------|-------------------------|-------|
| | | | | water | Content (MC) | | consum | consum | MJ/Kg |
| Lifting | Hot- | Spee | Velo | remove | Initial | Final | E_{thermal} | $E_{\text{electrical}}$ | |
| frequency | air | d of | city | d | %wb | %wb | MJ/h | MJ/h | |
| rpm | temp | rotary | of air | kg | | | | | |
| | °C | valve | m/s | | | | | | |
| | | rpm | | | | | | | |
| 110 | 130 | 2 | 1.0 | 0.42 | 22.1 | 11.3 | 6.58 | 0.52 | 16.23 |
| 110 | 130 | 2 | 1.5 | 0.46 | 23.6 | 14.8 | 7.92 | 0.56 | 18.43 |
| 110 | 130 | 2 | 2.0 | 0.60 | 23.4 | 14.3 | 8.86 | 0.53 | 15.65 |
| 110 | 130 | 4 | 1.0 | 0.25 | 23 | 12 | 4.34 | 0.36 | 18.80 |
| 110 | 130 | 4 | 1.5 | 0.37 | 23.2 | 14.9 | 4.43 | 0.32 | 12.83 |
| 110 | 130 | 4 | 2.0 | 0.39 | 23.6 | 14.9 | 4.14 | 0.31 | 11.41 |
| 110 | 130 | 6 | 1.0 | 0.20 | 22 | 10.5 | 2.18 | 0.28 | 12.30 |
| 110 | 130 | 6 | 1.5 | 0.23 | 23.4 | 14.8 | 2.12 | 0.22 | 10.17 |
| 110 | 130 | 6 | 2.0 | 0.20 | 22.2 | 13.6 | 2.19 | 0.26 | 12.25 |
| Average | | | | 0.34 | 22.94 | 13.45 | 4.75 | 0.74 | 14.23 |

ตาราง 11 ประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก กข 6 ใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้แหล่งพลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG

| Drying condition | | | | Mass of water | Moisture Content (MC) | | Energy consumption | Energy consumption | SEC |
|-----------------------|-----------------|---------------------------|---------------------|---------------|-----------------------|-----------|---------------------------|------------------------------|-------|
| Lifting frequency rpm | Hot-air temp °C | Speed of rotary valve rpm | Velocity of air m/s | removed kg | Initial %wb | Final %wb | E_{thermal} MJ/h | $E_{\text{electrical}}$ MJ/h | MJ/Kg |
| 110 | 130 | 2 | 1.0 | 0.41 | 21.3 | 15 | 6.53 | 0.54 | 17.3 |
| 110 | 130 | 2 | 1.5 | 0.49 | 22 | 13 | 8.04 | 0.58 | 17.6 |
| 110 | 130 | 2 | 2.0 | 0.56 | 21.7 | 11 | 8.54 | 0.52 | 16.2 |
| 110 | 130 | 4 | 1.0 | 0.20 | 21.4 | 10.6 | 4.02 | 0.32 | 21.7 |
| 110 | 130 | 4 | 1.5 | 0.32 | 22.5 | 11.3 | 3.52 | 0.29 | 11.9 |
| 110 | 130 | 4 | 2.0 | 0.37 | 21.8 | 12.4 | 4.02 | 0.30 | 11.7 |
| 110 | 130 | 6 | 1.0 | 0.20 | 21.6 | 14.1 | 1.98 | 0.17 | 11.9 |
| 110 | 130 | 6 | 1.5 | 0.20 | 21.3 | 13.4 | 1.98 | 0.18 | 11.8 |
| 110 | 130 | 6 | 2.0 | 0.17 | 21.9 | 11.2 | 1.95 | 0.17 | 10.9 |
| Average | | | | 0.32 | 21.7 | 12.44 | 4.49 | 1.04 | 14.55 |

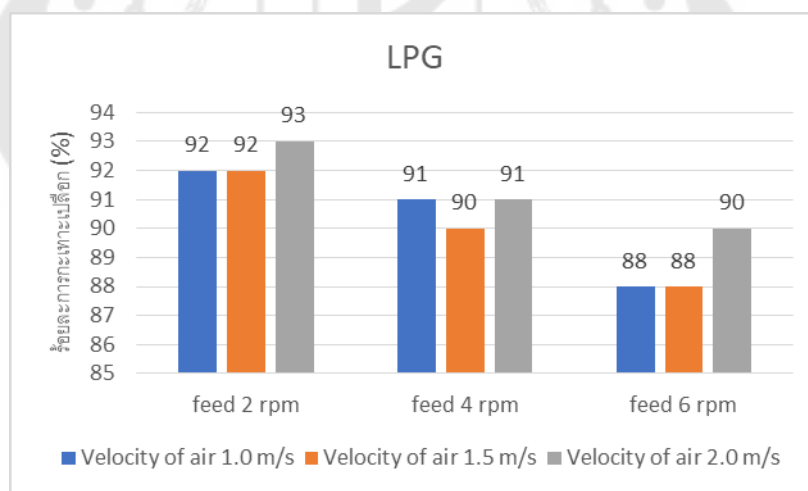
ตาราง 12 ตารางการเปรียบเทียบเฉลี่ยการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้ง

| พลังงาน | removed kg | Initial %wb | Final %wb | E_{thermal} MJ/h | $E_{\text{electrical}}$ MJ/h | SEC MJ/Kg |
|------------------------------|---------------|----------------|--------------|------------------------------|---------------------------------|--------------|
| พลังงานก๊าซ CBG อบแห้ง กข 31 | 0.37 | 22.8 | 14.23 | 5.55 | 0.40 | 16.05 |
| พลังงานก๊าซ CBG อบแห้ง กข 6 | 0.42 | 21.84 | 14.40 | 5.52 | 0.34 | 15.53 |
| พลังงานก๊าซ LPG อบแห้ง กข 31 | 0.34 | 22.94 | 13.45 | 4.75 | 0.74 | 14.23 |
| พลังงานก๊าซ LPG อบแห้ง กข 6 | 0.32 | 21.7 | 12.44 | 4.49 | 1.04 | 14.55 |

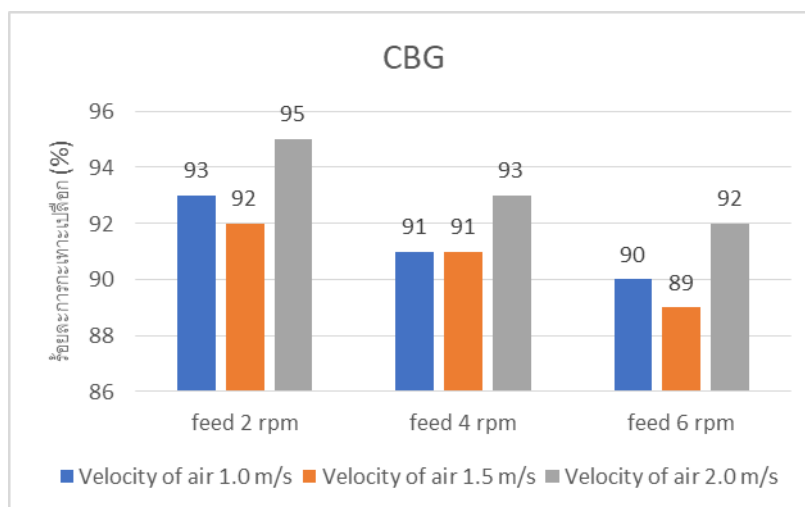
ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้ง มี 2 ส่วน คือ ความร้อนและค่าพลังงานและอากาศร้อนที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง กับพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องอบแห้ง เป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่ระเหยไป โดยที่เงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิ 130°C อัตราการไหลของอากาศร้อน 2 m/s และความเร็วรอบที่ 110 rpm เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบจากประสิทธิภาพในการลดความชื้นมีเงื่อนไขที่ลดความชื้นได้สูง และมีความสามารถในการใช้พลังงานที่ต่ำและสามารถระเหยน้ำได้มากมีค่า SEC ที่อยู่ที่ 14.55 MJ/Kg และที่จากเงื่อนไขโดยรวมทั้งหมดมีค่า SEC ที่สูงสุดอยู่ที่ 24.28 MJ/Kg และมีค่า SEC ต่ำสุดอยู่ที่ 7.58 MJ/Kg เมื่อวิเคราะห์จากค่า SEC แล้วพบว่าเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์ใช้พลังงานค่อนข้างต่ำ และใช้เวลาอบแห้งไม่นานเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบเดิมค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านพลังงานที่ใช้โดยในที่นี้พลังงานที่ใช้จะมี 2 ส่วน คือ พลังงานที่ให้ความร้อน, พลังงานที่ให้ความร้อนเพื่อใช้กระบวนการอบแห้ง และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องอบแห้ง เป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำที่ระเหยไป โดยที่เงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศ 2 ลบ.ม./วินาที และความเร็วรอบที่ 110 รอบ/นาที เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบจากประสิทธิภาพในการลดความชื้น มีเงื่อนไขที่ลดความชื้นได้สูง และมีความสามารถในการใช้พลังงานที่ต่ำ และสามารถระเหยน้ำได้มากมีค่า SEC ที่อยู่ที่ 14.55 MJ/Kg และ ที่จากเงื่อนไขโดยรวมทั้งหมดมีค่า SEC ที่สูงสุดอยู่ที่ 24.28 MJ/Kg และมีค่า SEC ต่ำสุดอยู่ที่ 7.58 MJ/Kg เมื่อวิเคราะห์จากค่า SEC แล้วพบว่าเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์ใช้พลังงานค่อนข้างต่ำและใช้เวลาอบแห้งไม่นาน

4.5 คุณภาพข้าวภายหลังการอบแห้ง

จากการทดสอบกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกคุณภาพข้าวเปลือกหลังจากอบแห้ง งานวิจัยแสดงถึงความชื้นสุดท้าย (inal moisture content, FMC) และมีสัมพัทธ์หรือส่งผลต่อค่าร้อยละการกะเทาะเปลือกของข้าวเปลือก แสดงในภาพประกอบที่ 54 และ 55 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายหลังจากผ่านการอบแห้งและค่าเปอร์เซ็นต์ของการกะเทาะเปลือกที่ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ ค่าร้อยละการกะเทาะเปลือกสามารถอ่านค่าได้จากแกนของแผนภาพ และค่าความชื้นหลังจากอบแห้งงานค่าจากแกนของแผนภาพ ที่ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ที่ 2.0 rpm, 4.0 rpm และ 6.0 rpm รอบต่อนาที อัตราการป้อนเฉลี่ยเป็น 49, 75, และ 130 kg/h ผลการเปรียบเทียบพบว่าความชื้นหลังจากอบแห้ง ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเปลือกของข้าวเปลือกโดยที่ความชื้นสุดท้ายที่ช่วง 14-15 %wb ที่จะมีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเปลือกออกร้อยละ 90 ซึ่งเหมาะสมต่อการรับซื้อข้าวเปลือกที่ความชื้นระดับนี้เพื่อนำไปเก็บไว้จำหน่ายต่อไป



ภาพประกอบ 54 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การกะเทาะเปลือกที่ความเร็วมอเตอร์



ภาพประกอบ 55 เปรียบเทียบค่าร้อยละการทะลักเปลือกที่ความเร็วมอเตอร์

4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากงานวิจัยนี้ได้แสดงในตารางที่ 4 ความคุ้มค่าเศรษฐศาสตร์จากการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัดทึฟลอร์ที่ใช้พลังงานก๊าซโอบีเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในรูปปริมาณพลังงานทั้งด้านพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้า คำนวณต้นทุนพลังงาน การเปรียบเทียบราคาจำหน่ายของผลผลิต ความคุ้มค่าและผลกำไรที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัดทึฟลอร์

1. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัดทึฟลอร์ที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ดังตารางที่ 13 วิเคราะห์งบลงทุนค่าใช้จ่ายรายปีและรายได้รายปี (LPG)

ตาราง 13 วิเคราะห์งบลงทุนค่าใช้จ่ายรายปีและรายได้ปี (LPG)

| เงินทุน | จำนวน | หน่วย |
|--|----------|----------|
| มูลค่าของโครงการ | 300,000 | บาท |
| ค่าใช้จ่ายรายปี(Annual cost) | | |
| ค่ากระแสไฟฟ้า(4 บาทต่อหน่วย) 3 บาท ต่อบรอบ 56,760 รอบต่อปี | 20,736 | บาทต่อปี |
| ค่าเชื้อเพลิงก๊าซ LPG (กก.ละ32.5บาท) 6.93 บาท ต่อบรอบ | 39,916.8 | บาทต่อปี |
| ค่าแรงงานควบคุมเครื่อง วันละ 300 | 109,500 | บาทต่อปี |
| ค่าเสื่อมราคาและค่าซ่อมบำรุง | 30,000 | บาทต่อปี |
| รายได้ต่อปี | | |
| รายได้จากการขายข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น กก.ละ 8 บาท | | |
| ได้ข้าวแห้งรอบละ 6.5 กก. (จากข้าวเปลือกขึ้น 7 กก.) | 321,984 | บาทต่อปี |
| รวม | 321,984 | บาทต่อปี |

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมีสทไฟลวที่
ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ดังตารางที่ 14 ผลพิจารณาความเป็นไปได้ของโครงการ
กำไรการลงทุน

ตาราง 14 ผลพิจารณาความเป็นไปได้ของโครงการ

| เงินทุน | จำนวน | หน่วย |
|-------------------------|-----------|-------------|
| มูลค่าของโครงการ | 300,000 | บาท |
| อายุโครงการ | 10 | ปี |
| รายได้ต่อปี | 321,984 | บาท |
| รายจ่ายต่อปี | 200,152.8 | บาท |
| รับได้สุทธิต่อปี | 121,831.2 | บาท |
| อัตราผลตอบแทนภายใน(IRR) | 39 | เปอร์เซ็นต์ |
| ระยะเวลาคืนทุน | 2.5 | ปี |

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติฟลูว์ที่ใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ดังตารางที่ 15 ตารางวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ตาราง 15 ตารางวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

| จำนวนปี โครงการ | เงิน ลงทุน | รายได้ ต่อปี | ค่าใช้จ่าย กระแส ไฟฟ้า | ค่าใช้จ่าย เชื้อเพลิง | ค่าใช้จ่าย แรงงาน | ค่าเสื่อม ราคา และค่า ซ่อมบำรุง | ค่าใช้จ่าย รวมทั้งหมด | เงินสด สุทธิ | เงินสะสม |
|--------------------|---------------|-----------------|------------------------------|--------------------------|----------------------|--|--------------------------|-----------------|------------|
| ปีที่ 0 | 30,000 | | | | | | | | |
| ปีที่ 1 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 121,831 | -178,168.8 |
| ปีที่ 2 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 121,831 | -56,337.6 |
| ปีที่ 3 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 121,831 | 65,493.6 |
| ปีที่ 4 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 121,831 | 187,324.8 |
| ปีที่ 5 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 121,831 | 309,156 |
| ปีที่ 6 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 121,831 | 430,987.2 |
| ปีที่ 7 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 121,831 | 552,818.4 |
| ปีที่ 8 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 121,831 | 674,649.6 |
| ปีที่ 9 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 121,831 | 796,480.8 |
| ปีที่ 10 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 121,831 | 918,312 |
| ระยะเวลาคืนทุน | | | 2.5 | | | | | | |
| IRR | | | 39% | | | | | | |

จากตารางที่ 15 การวิเคราะห์พบว่าจุดคุ้มทุนของเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 31 ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) คือ 2.5 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 39%

1. LPG จากการแสดงตารางการเปรียบเทียบราคาจำหน่าย จากผลของข้าวเปลือกที่นำมาผ่านกระบวนการอบแห้งเมื่อนำข้าวเปลือกมาอบแห้งหรือลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสโฟลว์แล้วมีความชื้นหลังจากอบแห้งลดลงทำให้น้ำหนักภายหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งลดลงเช่นกัน เช่น ข้าวเปลือกน้ำหนัก 7 กิโลกรัม จะมีความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb (ความชื้นฐานเปียก) ราคาจำหน่ายประมาณกิโลกรัมละ 13-15 บาท/กิโลกรัม (ราคาขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ต่างๆของข้าวเปลือก) ภาพหลังจากการอบแห้งความชื้นลดลง 13-14 %wb ที่ความชื้นระดับนี้ น้ำหนักลดลงเหลือประมาณ 6.4 กิโลกรัม ทำให้ราคานำไปหน่วยสูงขึ้นเป็น 22 บาท/กิโลกรัม ดังแสดงช่องราคาจำหน่าย จากการทดสอบในกระบวนการอบแห้งเมื่อพิจารณาจากน้ำหนักที่ลดลง จะเห็นได้ว่าราคาหลังจากการอบแห้งจะมีราคาที่แตกต่างกันเมื่อเทียบต้นทุน โดยมีเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 130 °C อัตราการป้อนเฉลี่ยเป็น 49 Kg/h ความเร็วลมร้อนที่ออกจากห้องอบแห้งที่ 2.0 m/s รอบการยกที่ 110 rpm มีกำไรอยู่ที่ประมาณ 8 บาท/กิโลกรัมของข้าวเปลือก โดยงานวิจัยนี้มีต้นทุนด้านพลังงานความร้อนจากราคาขายก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) กรมการค้าภายใน แจ้งราคาจำหน่ายข้าวเปลือกตามที่กระทรวงพลังงานได้กำหนด โดยมีราคาประมาณ 29.5 บาท/1กิโลกรัม และต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าประมาณ 4 บาท/kWh หรือ 1 หน่วยไฟฟ้า

2. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสโฟลว์ที่ใช้พลังงานก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) ดังตารางที่ 16 วิเคราะห์งบลงทุน ค่าใช้จ่ายรายปีและรายได้รายปี (CBG)

ตาราง 16 วิเคราะห์งบลงทุน ค่าใช้จ่ายรายปีและรายได้รายปี (CBG)

| เงินทุน | จำนวน | หน่วย |
|---|----------|----------|
| มูลค่าของโครงการ | 300,000 | บาท |
| ค่าใช้จ่ายรายปี(Annual cost) | | |
| ค่ากระแสไฟฟ้า(4 บาทต่อหน่วย) 2 บาท ต่อรอบ 56,760 รอบต่อปี | 14,976 | บาทต่อปี |
| ค่าเชื้อเพลิงก๊าซ CBG (กก.ละ12 บาท) 5 บาท ต่อรอบ | 31,507.2 | บาทต่อปี |
| ค่าแรงงานควบคุมเครื่อง วันละ 300 | 109,500 | บาทต่อปี |
| ค่าเสื่อมราคาและค่าซ่อมบำรุง | 30,000 | บาทต่อปี |
| รายได้ต่อปี | | |
| รายได้จากการขายข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น กก.ละ 8 บาท | | |
| ได้ข้าวแห้งรอบละ 6.5 กก. (จากข้าวเปลือกขึ้น 7 กก.) | 321,984 | บาทต่อปี |
| รวม | 321,984 | บาทต่อปี |

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมีสทไฟลวที่ใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด (CBG) ดังตารางที่ 17 เครื่องบลงทุน ค่าใช้จ่ายรายปี และรายได้รายปี (CBG) (ต่อ)

ตาราง 17 วิเคราะห์งบลงทุน ค่าใช้จ่ายรายปีและรายได้รายปี (CBG)

| เงินทุน | จำนวน | หน่วย |
|-------------------------|-----------|-------------|
| มูลค่าของโครงการ | 300,000 | บาท |
| อายุโครงการ | 10 | ปี |
| รายได้ต่อปี | 321,984 | บาท |
| รายจ่ายต่อปี | 185,983.2 | บาท |
| รับได้สุทธิต่อปี | 136,000.8 | บาท |
| อัตราผลตอบแทนภายใน(IRR) | 44 | เปอร์เซ็นต์ |
| ระยะเวลาคืนทุน | 2.2 | ปี |

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการอบแห้งข้าวเปลือกแบบมีสทไฟลวที่ใช้พลังงานก๊าซไบโอมีเทนอัด (CBG) ดังตารางที่ 18 ตารางวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ตาราง 18 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

| จำนวนปี | เงินลงทุน | รายได้ต่อปี | ค่าใช้จ่ายกระแสไฟฟ้า | ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง | ค่าใช้จ่ายแรงงาน | ค่าเสื่อมราคาและค่าซ่อมบำรุง | ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด | เงินสดสุทธิ | เงินสะสม |
|----------------|-----------|-------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------------------|----------------------|-------------|------------|
| ปีที่ 0 | 30,000 | | | | | | | | |
| ปีที่ 1 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 185,983.2 | 136,000.8 | -163,999.2 |
| ปีที่ 2 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 136,000.8 | -27,998.4 |
| ปีที่ 3 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 136,000.8 | 108,002.4 |
| ปีที่ 4 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 136,000.8 | 244,003.2 |
| ปีที่ 5 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 136,000.8 | 380,004 |
| ปีที่ 6 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 136,000.8 | 516,004.8 |
| ปีที่ 7 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 136,000.8 | 652,005.6 |
| ปีที่ 8 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 136,000.8 | 788,006.4 |
| ปีที่ 9 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 136,000.8 | 924,007.2 |
| ปีที่ 10 | | 321,984 | 20,736 | 39,916.8 | 109,500 | 30,000 | 200,252 | 136,000.8 | 1,060,008 |
| ระยะเวลาคืนทุน | | | 2.2 | | | | | | |
| IRR | | | 44% | | | | | | |

จากตารางที่ 18 การวิเคราะห์พบว่าจุดคุ้มทุนของเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 31 ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นก๊าซไบโอมีเทนอัด (CBG) คือ 2.2 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 44%

2. CBG จากการแสดงตารางการเทียบราคาจำหน่าย จากผลของข้าวเปลือกที่นำมาผ่านกระบวนการอบแห้งเมื่อนำข้าวเปลือกมาอบแห้งหรือลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัลติฟลูว์แล้วมีความชื้นหลังจากอบแห้งลดลงทำให้น้ำหนักภายหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งลดลงเช่นกัน เช่น ข้าวเปลือกน้ำหนัก 7 กิโลกรัม จะมีความชื้นเริ่มต้น 21-23 %wb (ความชื้นฐานเปียก) ราคาจำหน่ายประมาณกิโลกรัมละ 13-15 บาท/กิโลกรัม (ราคาขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ต่างๆ ของข้าวเปลือก) ภาพหลังจากการอบแห้งความชื้นลดลง 13-14 %wb ที่ความชื้นระดับนี้น้ำหนักลดลงเหลือประมาณ 6.4 กิโลกรัม ทำให้ราคานำไปหน่วยสูงขึ้นไปเป็น 22 บาท/กิโลกรัม ดังแสดงช่องราคาจำหน่าย จากการทดสอบในกระบวนการอบแห้งเมื่อพิจารณาจากน้ำหนักที่ลดลง จะเห็นได้ว่าราคาหลังจากการอบแห้งจะมีราคาที่แตกต่างกันเมื่อเทียบต้นทุน โดยมีเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 130°C อัตราการป้อนเฉลี่ยเป็น 49 Kg/h ความเร็วลมที่ออกไปสู่บรรยากาศภายนอกที่ 2.0 m/s รอบชุกการยกห้องอบแห้งที่ 110 rpm มีกำไรอยู่ที่ประมาณ 8 บาท/กิโลกรัมของข้าวเปลือก โดยงานวิจัยนี้มีต้นทุนด้านพลังงานความร้อนจากราคาขายก๊าซไปโม่มีเทนอัด (CBG) กรมการค้าภายใน แจ้งราคาจำหน่ายข้าวเปลือกตามที่กระทรวงพลังงานได้กำหนด โดยมีราคาประมาณ 23.4 บาท/1กิโลกรัม และต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าประมาณ 4 บาท/kWh หรือ 1 หน่วยไฟฟ้า

บทที่ 5 สรุปผล

5.1 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทิโพลว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นแหล่งพลังงาน มาเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งในการอบแห้งข้าวเปลือก เป็นการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 31 และข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 6 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบมัสทิโพลว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นแหล่งพลังงาน มีความวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบอบแห้งแบบมัสทิโพลว์ และเพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบมัสทิโพลว์ หลักการการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งมัสทิโพลว์ จะใช้ทฤษฎีของการถ่ายเทความร้อนมวลความชื้น โดยการพาความร้อนแบบกำหนดอุณหภูมิ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน ก็จะใช้การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อจะช่วยให้การลดปริมาณความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกได้ดี

ดังนั้น จากขอบเขตที่กำหนดให้การทดลองที่กล่าวมานั้นมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลกับการลดปริมาณความชื้นเป็นอย่างมาก เป็นอุณหภูมิ ความร้อนในการอบแห้ง และตัวแปรที่มีอิทธิพลกับลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก ก็คือความชื้นที่อยู่ในเมล็ดข้าวเปลือก เมื่อพบว่าการวิเคราะห์ค่าคำนวณที่เหมาะสมที่สุดของการอบแห้งข้าวเปลือกให้มีคุณภาพที่สุด จะเป็นความเร็วมอเตอร์การหมุนที่ 2.0 rpm ปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 49 Kg/h ความเร็วลมของอากาศร้อนที่ออกไปสู่บรรยากาศภายนอกที่ 2.0 m/s รอบการยกที่ 110 rpm ให้เปอร์เซ็นต์การแห้งของข้าวเปลือก ความชื้นที่ต่ำกว่า 14 %wb ทำให้เก็บรักษาคุณภาพของข้าวเปลือกได้นานมากขึ้น เพราะได้ข้าวเปลือกที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นไม่ต่ำกว่ามาตรฐาน

5.2 อภิปรายผล

1. การใช้พลังงานโดยที่การอบแห้งข้าวข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 31 อบแห้งด้วยเครื่องอบแบบมัสทิโพลว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นแหล่งพลังงาน เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศร้อนออกไปสู่บรรยากาศภายนอกที่ 1, 1.5 และ 2.0 m/s อัตราการป้อนข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 Kg/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 130 °C และความเร็วของรอบยกห้องอบแห้งที่ 110 rpm โดยพิจารณาจากค่าความชื้นสุดท้าย 14 %wb และความสามารถในการลดความชื้นข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 31 ของเครื่องอบแห้ง แบบมัสทิโพลว์ที่

ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) ใช้พลังงานค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 10.16 MJ/Kg ผลการตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความขาวของข้าวสารหลังจากการอบแห้งที่ 30.6% และการลดความชื้นข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 31 ของเครื่องอบแห้ง แบบมัสทีฟลาว์ที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ใช้พลังงานค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 12.36 MJ/Kg ผลการตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความขาวของข้าวสารภายหลังการอบแห้งที่ 43.5%

2. การใช้พลังงานในการอบแห้งข้าวข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 6 อบแห้งด้วยเครื่องอบแบบมัสทีฟลาว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นแหล่งพลังงาน เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศร้อนที่ออกไปสู่บรรยากาศภายนอกที่ 1, 1.5 และ 2.0 m/s ปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 Kg/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 130 °C และชุดยกห้องอบแห้งที่ 110 rpm โดยพิจารณาจากค่าความชื้นสุดท้าย 14 %wb และประสิทธิภาพในการลดความชื้นข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 6 ของเครื่องอบแห้ง แบบมัสทีฟลาว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) ใช้พลังงานค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 9.46 MJ/Kg ผลการตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความขาวของข้าวสารหลังจากการอบแห้งที่ 60.5% และการลดความชื้นข้าวเปลือกสายพันธุ์ กข 6 ของเครื่องอบแห้งแบบมัสทีฟลาว์ที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ใช้พลังงานค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 14.55 MJ/Kg ผลการตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความขาวของข้าวสารหลังจากการอบแห้งที่ 61.9%

3. ผลประสิทธิภาพการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแบบมัสทีฟลาว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นแหล่งพลังงาน เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อนที่ออกไปสู่บรรยากาศภายนอกที่ 1, 1.5 และ 2.0 m/s ปริมาณการป้อนข้าวเปลือกเฉลี่ยเป็น 49, 75 และ 130 Kg/h อุณหภูมิในการอบแห้ง 130 °C และความเร็วชุดยกห้องอบแห้งที่ 110 rpm โดยพิจารณาจากค่าความชื้นสุดท้าย 14 %wb พบว่าพารามิเตอร์ความเร็วลมที่ออกไปสู่บรรยากาศภายนอกที่ 2.0 m/s และอัตราการป้อนข้าวเปลือกที่ 49 Kg/h สามารถลดความชื้นได้ดีที่สุด

4. อัตราการอบแห้งข้าวเปลือกเป็นปัจจัยที่มีประสิทธิภาพของการอบแห้ง ใช้ความสามารถในการระเหยน้ำเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยอัตราการอบแห้งข้าวเปลือกเครื่องอบแห้งแบบมัสทีฟลาว์ทำได้เฉลี่ยอยู่ที่ 49 kg/h การอบแห้งมีความร้อนค่อนข้างสูงเนื่องจากใช้เวลา 40 นาที ในกระบวนการอบแห้งที่ใช้แหล่งพลังงานก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) และเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นแหล่งพลังงานอัตราการอบแห้งจะอยู่ที่ 49 kg/h ซึ่งการอบแห้งที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) มีอัตราการอบแห้งค่อนข้างที่จะต่ำ

เนื่องจากใช้เวลา 60 นาที การอบแห้งที่ใช้เวลามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบแหล่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกกับเครื่องอบแห้งแบบมัสทิโพลว์เครื่องเดียวกัน

5. ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์จากการอบแห้งข้าวเปลือก โดยพิจารณาจากปริมาณพลังงานทั้งทางด้านพลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้า คำนวณต้นทุนด้านพลังงาน ทำการเปรียบเทียบราคาจำหน่ายของผลผลิต ที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสม เมื่อเทียบน้ำหนักก่อนอบแห้ง และหลังอบแห้งได้ข้าวเปลือกแห้ง 49 kg ใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) 2.3 kg และใช้พลังงาน 4.2 kWh คิดเป็นราคาต้นทุนด้านพลังงาน พลังงานความร้อนจากก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) 42.63 บาท และใช้พลังงานไฟฟ้า 18.75 บาท ก๊าซไบโอมิเทนอัด (CBG) เป็นแหล่งพลังงานจะมีรายได้ต่อเดือนอยู่ที่ 26,832 บาท/เดือน และมีต้นทุนด้านการอบแห้ง และแรงงาน อยู่ที่ 15,498.6 บาท/เดือน โดยจะมีกำไรจากการอบแห้งต่อเดือนอยู่ที่ 11,333.4 บาท โดยมีต้นทุนในการผลิตประกอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทิโพลว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัดเป็นแหล่งพลังงาน อยู่ที่ 300,000 บาท พบว่าระยะเวลาที่จะคืนทุนที่ 2 ปี 2 เดือน หรือ 26 เดือน อัตราผลตอบแทน IRR 44% และใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) 2.7 kg และใช้พลังงาน 5.6 kWh คิดเป็นราคาต้นทุนด้านพลังงาน พลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) 47.72 บาท และใช้พลังงานไฟฟ้า 22.34 บาท ก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะมีรายได้ต่อเดือนอยู่ที่ 26,832 บาท/เดือน และมีต้นทุนด้านการอบแห้ง และแรงงานอยู่ที่ 16,687.6 บาท/เดือน โดยจะมีกำไรจากการอบแห้งต่อเดือนอยู่ที่ 10,144.4 บาท พบว่าระยะเวลาที่จะคืนทุนที่ 2 ปี 5 เดือน หรือ 29 เดือน อัตราผลตอบแทน IRR 39%

จากการอบแห้งข้าวเปลือกพบว่าปัจจัยที่ทำให้ต้นทุนการอบแห้งหลักๆคือต้นทุนด้านพลังงานความร้อน และส่งผลให้ความคุ้มค่า และผลกำไรที่ได้ค่อนข้างต่ำ โดยถ้าสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานความร้อนที่มีค่าสูงจากการเลือกใช้พลังงานความร้อนทางเลือกอื่น ก็จะสามารถลดต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสทิโพลว์ที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัดเป็นแหล่งพลังงานโดยมีการศึกษาระบบอบแห้งและการใช้พลังงานก๊าซไบโอมิเทนอัดใช้ในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อลดต้นทุนในการทำวิจัย จากการทดลองผู้วิจัยพบว่าสิ่งที่พัฒนาไปได้อีก เช่น แหล่งพลังงานกำเนิดความร้อนซึ่งที่ใช้ก๊าซไบโอมิเทนอัด มีค่าพลังงานความร้อนที่เหมาะสมกับเครื่องอบแห้งที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิม และการใช้เครื่องอบแห้งสำหรับเครื่องอบแห้งหลาย ๆ แบบที่มีความต้องให้พลังงานทางเลือกนำไปปรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

บรรณานุกรม

- Aggarangsi, P., Tippayawong, N., Moran, J. C., & Rerkkriangkrai, P. (2013, 2013/08/01/). Overview of livestock biogas technology development and implementation in Thailand. *Energy for Sustainable Development*, 17(4), 371-377.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.03.004>
- Brooker, D. B., Bakker-Arkema, F. W., & Hall, C. W. (1992). *Drying and storage of grains and oilseeds*. Springer Science & Business Media.
- Cengel, Y. A. (2020). *Heat and mass transfer : fundamentals & applications* (Sixth edition. ed.). New York, NY : McGraw-Hill Education.
- Datta, A. K. (2002). *Biological and bioenvironmental heat and mass transfer*. New York : Marcel Dekker.
<http://thailandconsortium.crcnetbase.com/ejournals/books/bookkm.asp?id=2625>
- Khanali, M., Khakpour Giglou, A., & Rafiee, S. (2018, 2018/01/01/). Model development for shelled corn drying in a plug flow fluidized bed dryer. *Engineering in agriculture, environment and food*, 11(1), 1-8.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eaef.2017.09.002>
- Puttapoun Watit, Moran James, Aggarangsi Pruk, & Bunkham Asira. (2015, 2015/10/01/). Powering shuttle kilns with compressed biomethane gas for the Thai ceramic industry, . *Energy for Sustainable Development*,, 28, 95-101.,.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.esd.2015.08.001>
- Wachiraphansakul, S., & Devahastin, S. (2007). Performance evaluation of an impinging stream dryer for particulate materials. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 207-219.
- กฤตภาส สิงคินุตตร. (2554). การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. กรุงเทพฯ.
- กลีน ประทุม, ป. ป., รสสุคนธ์ จะวะนะ, ขนิษฐา ราชบัณฑิต, ธิดารัตน์ พิสิฐชัยกร, & อีริเมธ นาปริง. (2021,). การอัดก๊าซ ชีวภาพในถังบรรจุก๊าซและการใช้หุงต้ม, . *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*,, 6(1), 12-18.

- กิตติพงษ์ กุลมาตย์. (2537). การอบแห้งข้าวเปลือกแบบถึงทรงกระบอกหมุน [วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี]. กรุงเทพฯ.
- เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว, สุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ, & ทวีช จิตรสมบุญ. (2551, 15-17 ตุลาคม). ผลของความเร็วอากาศร้อนต่ออัตราอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีข้าวหล่นอิสระอย่างต่อเนื่อง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, 22(1), 166-170.
- โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. (2553). วารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 88 (เม.ย.-มิ.ย. 2553), หน้า 52-58.
- งามชื่น คงเสรี. (2546). ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว, . กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- ฉัตรชัย นิยมมล. (2555). ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้หอบแห้งชนิดกรวย. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 17(1), 97-109.
- ฉัตรชัย นิยมมล. (2557). ศึกษาการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรด้วยเจตสเปาตัดเบดเป็นจังหวะ วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 20(3).
- ประชา บุญยวานิชกุล, & สุรัชย์ เหมหิรัญ. (2020). การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลว์, Srinakharinwirot University,].
- พงศ์สถิตย์ ศรีภักดี. (2558). การศึกษาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับเตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง, . วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน,.
- พงศ์สถิตย์ ศรีภักดี, ช. ธ. (2559). การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟลว์ ขนาด ต้นต่อชั่วโมง 2, . การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12,.
- พิชญา เทวยุรัง, & มณฑล ชูโชนาค. (2557). ผลกระทบของความเร็วรอบของระยงห้อยอบแห้งต่อความมอดตกคร่อมในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟล. การถ่ายเท พลังงานความร้อนและมวล, 13(1), 024-029.
- พิรสิทธิ์ ทวยนาค. (2558). ผลกระทบของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก : กรณีศึกษาของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟล ปริญญาานิพนธ์ (วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2558.]. Retrieved Form http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Mech_Eng/Pirasit_T.pdf
- http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc_library=SWU01&local_base=SWU01&doc_number=000404550&sequence=000001&line_number=0001&func_code=DB_REC ORDS&service_type=MEDIA

- พิรสิทธิ์ ทวยนาคม. (2014.). ผลกระทบของกระแสความเร็วของอากาศร้อนต่อการลดความชื้น
 ข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัลติโฟล, . วารสารวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 9, ฉบับที่ 1 (ม.ค.-มิ.ย. 2557), หน้า 28-35.
- ภูวนัย ปาลคะเซนทร์. (2564). การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบมัลติโฟลว์สำหรับเมล็ดพันธุ์ข้าว,
 ปรินูญยานิพนธ์ (วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2564.].
<http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/handle/123456789/1576>
- มนตรี, อ. (2530). การแผ่รังสีความร้อน = *Thermal radiation*. กรุงเทพฯ : พิสิกส์เซ็นเตอร์.
 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์, ศ., & กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์
 พลังงาน. (2558). เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ ระดับโรงงาน. สยามรัฐสัปดาห์วิจารณ์ ปี
 ที่ 62, ฉบับที่ 33 (1-7 พ.ค. 2558), หน้า 63.
- มูस्ताฟา ยะภา. (2537). การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบด
 แบบต่อเนื่องขนาดต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรม [วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน),
 คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี]. กรุงเทพฯ.
- สมชาติ ไสภณรณฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดธัญพืช (พิมพ์ครั้งที่ 5 ed.). สถาบันเทคโนโลยีพระ
 จอมเกล้าธนบุรี.
- ศักดิ์มน เทพหัสดิน ณ อยุธยา, & ฉัตรชัย นิยมมล. (2552). การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง
 แบบกระแสดวนสำหรับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. สำนักงานคณะกรรมการการวิจัย
 แห่งชาติ.
- สุรัชย์ เหมหิรัญ, & ประชา บุญยวานิชกุล. (2560). การทบทวนวิธีการควบคุมการลดความชื้น
 ข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
 24(1), 60-68.



ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณ



ตัวอย่างการคำนวณความชื้น และ ค่าการใช้พลังงาน

การหาปริมาณความชื้นตามมาตรฐานเปียก (%wb)

$$MC_w = \left(\frac{G_w - G_D}{G_w} \right) \times 100$$

โดยที่

MC_w คือ ปริมาณความชื้นตามมาตรฐานเปียก

G_w คือ มวลของเมล็ดวัสดุเปียก , (kg)

G_D คือ มวลของเมล็ดวัสดุแห้ง , (kg)

ตัวอย่างการหาปริมาณความชื้น

- ข้าวเปลือกมีน้ำหนัก 7 kg

- น้ำหนักข้าวหลังจากอบไล่น้ำออกจนหมด 6.5 kg

$$MC_w = \left(\frac{G_w - G_D}{G_w} \right) \times 100$$

$$MC_w = \left(\frac{7 - 6.5}{7} \right) \times 100$$

$$MC_w = 7.14\%$$

การหาปริมาณน้ำที่ระเหย $m_{\text{water removed}}$

$$m_{\text{water removed}} = \text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบ} - \text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบ}$$

ตัวอย่างการหามวลของน้ำที่ระเหยออก

$$m_{\text{water removed}} = 7.00 - 6.50$$

$$m_{\text{water removed}} = 0.50 \text{ kg}$$

ค่าปริมาณน้ำที่ระเหย 0.50 kg

การหาค่าการใช้พลังงานความร้อน (Thermal Energy : E_{thermal}) LPG

$$E_{\text{thermal}} = [m_{\text{LPG}} \times \text{HHV}]$$

โดยที่

m_{LPG} คือ มวลของก๊าซที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง, (kg)

HHV คือ ค่าความร้อนสูงสุด (High Heating Value) ของเชื้อเพลิงมวล
, (MJ/kg)

ตัวอย่างการหาค่าการใช้พลังงานความร้อน

- มวลของก๊าซที่ใช้ในกระบวนการ คือ 0.11 kg
- ค่าความร้อนสูงสุด (HHV) ประมาณ 49.3 MJ/kg

$$E_{\text{thermal}} = [m_{\text{LPG}} \times \text{HHV}]$$

$$E_{\text{thermal}} = [0.11 \times 49.3]$$

$$E_{\text{thermal}} = 5.423 \text{ MJ}$$

ค่าการใช้พลังงานความร้อน คือ 5.423 MJ

การหาค่าการใช้พลังงานความร้อน (Thermal Energy : E_{thermal}) CBG

$$E_{thermal} = [m_{CBG} \times HHV]$$

โดยที่

m_{CBG} คือ มวลของก๊าซที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง, (kg)

HHV คือ ค่าความร้อนสูงสุด (High Heating Value) ของเชื้อเพลิงมวล
, (MJ/kg)

ตัวอย่างการหาค่าการใช้พลังงานความร้อน

- มวลของก๊าซที่ใช้ในกระบวนการ คือ 0.234 kg
- ค่าความร้อนสูงสุด (HHV) ประมาณ 35.64 MJ/kg

$$E_{thermal} = [m_{CBG} \times HHV]$$

$$E_{thermal} = [0.234 \times 35.64]$$

$$E_{thermal} = 8.339$$

ค่าการใช้พลังงานความร้อน คือ 8.339 MJ

การหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy : $E_{electrical}$)

$$E_{electrical} = P \times t \times 3.6$$

โดยที่

$E_{electrical}$ คือ พลังงานไฟฟ้า, (MJ)

P คือ กำลังไฟฟ้า, (kW)

t คือ เวลา, (hr)

ตัวอย่างการหาค่าใช้พลังงานไฟฟ้า

- กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการ คือ 0.17 kW

$$E_{\text{electrical}} = P \times t \times 3.6$$

$$E_{\text{electrical}} = 0.17 \times 3.6$$

$$E_{\text{electrical}} = 0.612$$

ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ 0.612 MJ

การหาค่าพลังงานจำเพาะ

$$SEC = \frac{E_{\text{thermal}} + E_{\text{electrical}}}{m_{\text{water removed}}}$$

โดยที่

SEC คือ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ, (MJ/kg_{waterremoved})

E_{thermal} คือ ปริมาณพลังงานความร้อน, (MJ)

$E_{\text{electrical}}$ คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้า, (MJ)

$m_{\text{water removed}}$ คือ มวลของน้ำที่ระเหยออก, (kg_{waterremoved})

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพลังงานจำเพาะ

- ปริมาณพลังงานความร้อน คือ 8.339 MJ
- ปริมาณพลังงานไฟฟ้า คือ 0.612 MJ
- มวลของน้ำที่ระเหยออก คือ 0.50 kg

$$SEC = \frac{E_{\text{thermal}} + E_{\text{electrical}}}{m_{\text{water removed}}}$$

$$SEC = \frac{8.339 + 0.612}{0.50}$$

$$SEC = 17.902 \text{ MJ/kg}$$

ค่าพลังงานจำเพาะ คือ 17.902 MJ/kg

การหาอัตราการไหลเชิงมวล

$$\dot{m}_{feed} = \rho \dot{v}$$

เมื่อ \dot{m}_{feed} คือ อัตราการไหลเชิงมวล, (kg/hr)

ρ คือ ความหนาแน่นเชิงมวล, (kg/m³)

\dot{v} คือ อัตราการไหล, (m³/hr)

การหาความเร็วของโรตารีวาล์ว

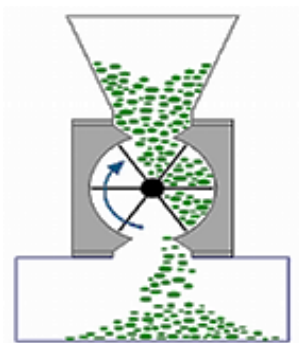
$$V = r\omega$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของโรตารีวาล์ว, (m/s)

r คือ รัศมี, (m)

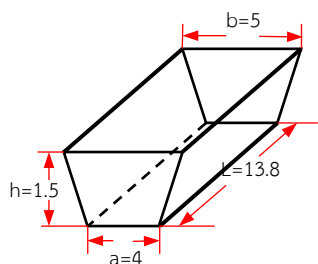
ω คือ ความเร็วเชิงมุม, (rad/s)

ω หาได้จากการนำความเร็วรอบของโรตารีวาล์วในหน่วย รอบต่อนาที แปลงหน่วยให้เป็น rad/s



โรตารีวาล์ว

การหาอัตราการป้อนของเมล็ดพืช



$$V = AL$$

$$V = \frac{1}{2}(a+b) \times h \times (L)$$

$$V = \frac{1}{2}(4 \text{ cm} + 5 \text{ cm}) \times 1.5 \text{ cm} \times (13.8 \text{ cm})$$

$$V = 93.15 \text{ cm}^3$$

$$V = 93.15 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ m}^3}{(100)^3 \text{ cm}^3}$$

$$V = 0.00009315 \text{ m}^3$$



V ทั้งหมด 8 ช่อง ต่อ 1 รอบของโรตารีวาล์ว

$$V_{total} = V \times 8$$

$$V_{total} = 0.00009315 \times 8$$

$$V_{total} = 0.0007452 \text{ m}^3$$

การหมุนของโรตารีวาล์ว 6 รอบต่อนาที

$$V_{total} = 0.0007452 \times 6$$

$$V_{total} = 0.0044712 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

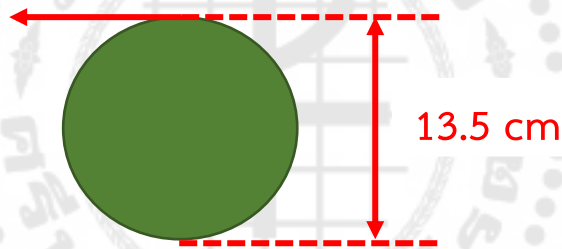
$$1 \text{ hr} ; \quad V_{\text{total}} = 0.0044712 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}$$

$$V_{\text{total}} = 0.268272 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$\bullet \quad m = 535.455 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.268272 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$\bullet \quad m = 143.64 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$V = r\omega$$



$$V = r\omega$$

$$V = 0.0675 \text{ m} \times 0.42 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$V = 0.02835 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$4 \frac{\text{rpm}}{\text{min}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rpm}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.42 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

ตัวอย่างการหาประสิทธิภาพการกระทาะเปลือก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว} = \left(\frac{\text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าว}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกทั้งหมด}} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{93\text{kg}}{100\text{kg}} \right) \times 100\%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว} = 93\%$$



ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทางเทคนิคของตัวรับรู้และการสอบเทียบ



PM-450



ภาพประกอบ ข.1 PM-450

ข้อมูลทางเทคนิค

| | |
|--------------------|---|
| การใช้งาน | : สำหรับวัดค่าความชื้นของข้าวเปลือกเมล็ดยาว |
| ช่วงการวัด | : 9-35 %wb |
| ปริมาตรตัวอย่าง | : 0 – 40 องศาเซลเซียส |
| ค่าความถูกต้อง | : (ความชื้น) ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน 0.5% |
| การทำงานอื่นๆ | : การคำนวณค่าความชื้นเฉลี่ย |
| จอแสดงผล | : แบบดิจิตอล (LCD) |
| แหล่งจ่ายไฟฟ้า | : แบตเตอรี่ (แรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์ ขนาด “R6” หรือ “AA” จำนวน 4 ก้อน) |
| การใช้พลังงานไฟฟ้า | : 240 มิลลิวัตต์ |
| ขนาดและน้ำหนัก | : 125 (กว้าง) x 205 (ลึก) x 245 (สูง) มิลลิเมตร, 1.3 กิโลกรัม |
| อุปกรณ์เสริม | : กรวยตัวอย่าง, สอปเปอร์เทตัวอย่างด้วยมือ, แปรงทำความสะอาดช่องวัดความชื้นตัวอย่าง, แบตเตอรี่ (แรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์ ขนาด “R6” หรือ “AA” จำนวน 4 ก้อน)และคู่มือการใช้งาน |

Riceter f521



ภาพประกอบ ข.2 Riceter f521

ข้อมูลทางเทคนิค

| | |
|-----------------------------|---|
| การทำงาน | : ใช้ระบบการต้านทานกระแสไฟฟ้า |
| โปรแกรมตรวจวัดความชื้น | : ข้าวเปลือก, ข้าวสาร และข้าวกล้อง |
| การแสดงผลข้อมูล | : รายงานผลเป็นดิจิตอลบนจอ LCD black light |
| ช่วงความชื้น | : 9-35 %wb |
| ค่าความแม่นยำ | : ผิดพลาดไม่เกิน 0.5% |
| ฟังก์ชันพิเศษ | : Thermistor ปรับชดเชยอุณหภูมิ 0-40 องศาเซลเซียส, คำนวณหาค่าเฉลี่ย |
| พลังงาน | : ถ่านแบตเตอรี่ 1.5 โวลต์ (Laitinen, Orava, Peltola, Salasmaa, & Yloenen) 4 ก้อน |
| ขนาดเครื่อง (กว้างxลึกxสูง) | : 164 x 94 x 65 มม. |
| น้ำหนักตัวเครื่อง | : 443 กรัม |
| อุปกรณ์ครบชุด | : งานใส่ตัวอย่าง (2 ชุด) แปรงทำความสะอาด (1 ชุด) ที่คีบปลาย ช้อน ตวง |

AN100 CFM/CMM Mini Thermo-Anemometer



ภาพประกอบ ข.3 AN100 CFM/CMM Mini Thermo-Anemometer

ข้อมูลทางเทคนิค

| | |
|-----------------|---|
| การแสดงผล | : การไหลของอากาศ, ความเร็วลม และอุณหภูมิ |
| การแสดงผลข้อมูล | : วัตค่าสูงสุด, ต่ำสุดได้ |
| ความเร็วลม | : ช่วงการวัด 0.40 – 30.00 m/s : ความละเอียด 0.01 m/s : ความแม่นยำ $\pm 3\%$ |
| อุณหภูมิ | : ช่วงการวัด -10 -60°C : ความละเอียด 0.1°C : ความแม่นยำ $\pm 6\%$ |
| กระแสลม | : ช่วงการวัด 0-9999 CMM (3 m/s) : ความละเอียด 0.1 m/s |
| ฟังก์ชันเสริม | : ปิดเครื่องอัตโนมัติ |

TCS 150 price scale



ภาพประกอบ ข.4 TCS 150 price scale

ข้อมูลทางเทคนิค

| | |
|---------------------------|---|
| ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด | : 150 กิโลกรัม ค่าละเอียด 5 กรัม |
| ฝาครอบแทนชั่ง (กว้างxยาว) | : สแตนเลสขนาด 300 x 400 มิลลิเมตร |
| หน้าจอแสดงผล | : ตัวเลข LCD สีดำ Blacklight สีเขียว |
| หน่วย | : กิโลกรัม (kg) |
| ฟังก์ชันเสริม | : TARE ชดเชยน้ำหนัก |
| | : นับจำนวนชิ้นงาน (Counting Function) |
| | : บวกสะสมน้ำหนัก (Accumulation Function) |
| | : เสียงเตือนเมื่อชั่งน้ำหนักเกินที่กำหนด (Alarm Function) |
| แบตเตอรี่ | : แบบชาร์จไฟ (Rechargeable Battery) สาย AC ในการชาร์จไฟ |

Data Logger



ภาพประกอบ ข.5 Data Logger

ข้อมูลทางเทคนิค

| | |
|-------------------------------------|--|
| การทำงาน | : แสดงอุณหภูมิ |
| ขนาดหน้าเครื่อง (กว้าง x ยาว x ลึก) | : 144 x 144 x 200 มม. |
| การแสดงผล | : แสดงผลได้ 4 แบบ กราฟเส้น, กราฟแท่ง, ตัวเลข, แสดงผลแบบผสม |
| | : การแสดงผลแบบ Average, Peak, Maximum, Minimum, RMS |
| | : การคำนวณทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ บวก, ลบ, คูณ, หาร |
| รับสัญญาณ | : Universal Input 10 อินพุต (Isolate) |

TSI 7565-x



ภาพประกอบ ข.6 TSI 7565-X

ข้อมูลทางเทคนิค

อุณหภูมิ

- : ชนิดเทอร์มิสเตอร์
- : ช่วงการวัด 0 ถึง 60 °C
- : ความคลาดเคลื่อน $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$
- : ความละเอียด 0.1 °C
- : เวลาในการอ่านค่า 30 วินาที

ความชื้นสัมพัทธ์

- : ชนิดเซนเซอร์ฟิล์มบาง
- : ช่วงการวัด 5 ถึง 95%
- : ความคลาดเคลื่อน $\pm 3\% \text{ RH}$
- : ความละเอียด 0.1 % RH
- : เวลาในการอ่านค่า 20 วินาที

ขนาดของเครื่อง (กว้างxยาวxสูง)

: 9.7 cm x 21.1 cm x 5.3 cm

ขนาดแบตเตอรี่

: AA 4 ก้อน หรือ การชาร์จไฟ AC จาก adapter 6 VDC, ความจุ 300 mA

ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|---|
| ชื่อ-สกุล | กัณฐภัทร ไชยแสน |
| วัน เดือน ปี เกิด | 08 มิถุนายน 2535 |
| สถานที่เกิด | สกลนคร |
| วุฒิการศึกษา | พ.ศ.2560 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต จาก มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 1/3 หมู่ 11 ต.บางปลา อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10150 |

