

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การออกแบบและสร้างเครื่องลดความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือก
Design and Fabrication of Continuous Flow Paddy Dryer

โดย

มนิ สุวรรณกำ

Mano Suwannakam

มานพ แยมแพง

Manop Yamfang

สาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การออกแบบและสร้างเครื่องลดความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือก

Design and Fabrication of Continuous Flow Paddy Dryer

มโน สุวรรณคำ และ มานพ แย้มแพง

Mano Suwannakam and Manop Yamfang

สาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Major of Post harvest and Processing Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Patumthani, 12110

Abstract

This research was to design and fabrication of a Continuous Flow Paddy Dryer (CFPD) that can reduce the initial moisture content of paddy after harvesting, during transporting from farm to truck to improve the quality and increase price of paddy. A CFPD prototype increase two diesel engines, 10 hp for screw conveyor and 12 hp for blower. Five tanks LPG gas were used for energy source. The highest drying temperature was 130^oC at 1300 rpm blower speed. The CFPD dimension was 180x350x210 cm (WxLxH). Adjustable angle 6 m screw conveyor can be used with all size truck. The CFPD prototype was simply, friendly user, easy to repair and maintenance. The result show that, at the 2300 rpm blower speed the drying temperature was 116^oC, average air flow rate 2.15 m³/s and the drying capacity was found to be 2040 kg/hr that appropriate with the rice combine harvester feed rate (about 2000 kg/hr). A CFPD prototype can reduce 4.86%wb from initial paddy moisture content (29.01%wb), drying rate 149.3 kg/hr, the specific moisture exaction rate 0.73 kg/kW-hr and the specific energy consumption of the machine was 4.95 MJ/kg. The operating cost was 2 baht/kg of evaporated water or fuel cost was 127.4 baht/paddy ton. The minimum fuel consumption of conveyor auger was found at the auger speed 120 rpm, 0.25 l/hr with conveyor capacity 2.85 ton/hr, which enough for conveyor rate requirement.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งออกแบบและสร้างเครื่องลดความชื้นที่สามารถลดความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกหลังจากเก็บเกี่ยว ในระหว่างกระบวนการขนส่งจากแปลงนาส่งให้กับรถที่มาบรรทุกข้าว เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพและเพิ่มราคาของข้าวเปลือก ผลการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ ใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว 2 เครื่อง ขนาด 10 hp สำหรับขับสกรูลำเลียง และขนาด 12 hp เป็นต้นกำลังของพัดลม สกรูลำเลียงขนาด $\phi 22.9 \times 600$ cm แบบระยะพัดซ์ ระบบให้ความร้อนใช้แก๊ส LPG จำนวน 5 ถัง สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 130°C ที่ความเร็วรอบพัดลม 1900 rpm โดยตัวเครื่องมีขนาดโดยรวม กวขยขส $180 \times 350 \times 210$ cm มีสกรูลำเลียงข้าวเปลือกยาว 6 m สามารถเคลื่อนที่ตามรถบรรทุก และสามารถปรับตั้งมุมในการขนถ่ายให้เหมาะสมกับรถบรรทุกทั่วไปได้ มีกลไกการทำงานไม่ซับซ้อน และซ่อมแซม บำรุงรักษาได้ง่าย จากผลการทดสอบพบว่า ที่ความเร็วรอบพัดลม 2300 rpm สามารถทำอุณหภูมิในการลดความชื้นได้ 116°C และได้ความสามารถในการอบแห้ง 2040 kg/hr ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการขนถ่ายของข้าวเปลือกจากเครื่องเกี่ยวนวดไปยังรถบรรทุก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2000 kg/hr มีอัตราการไหลอากาศเฉลี่ย $2.15 \text{ m}^3/\text{s}$ สามารถลดความชื้นลงได้ 4.86%wb จากความชื้นเริ่มต้น 29.01%wb มีค่าอัตราการอบแห้ง 149.3 kg/hr ค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 0.73 kg/kW-hr และค่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ 4.95 MJ/kg ซึ่งให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลดความชื้นคือ 2 บาท/กิโลกรัมน้ำระเหย หรือมีค่าใช้จ่ายเป็นค่าเชื้อเพลิงทั้งหมด 127.4 บาท/ตันข้าวเปลือก และในส่วนของสกรูลำเลียง มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.25 lt/hr ที่ความเร็วรอบ 120 rpm โดยสามารถขนถ่ายได้ 2.85 ton/hr เพียงพอกับอัตราขนถ่ายที่ต้องการ

สารบัญ

| | หน้า |
|---------------------------------------|------|
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 การตรวจเอกสาร | |
| 2.1 ขั้ว | 3 |
| 2.2 การอบแห้ง | 8 |
| 2.3 ฟลูอิดไดเซชัน | 11 |
| 2.4 ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์ | 19 |
| 2.5 การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง | 22 |
| 2.6 การคำนวณหาความดันตกในระบบท่อลม | 23 |
| 2.7 พัดลม | 27 |
| 2.8 การส่งกำลังด้วยสายพาน | 30 |
| 2.9 แก๊สหุงต้ม (LPG) | 35 |
| 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 36 |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ | |
| 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ | 38 |
| 3.2 วิธีการ | 39 |
| 3.3 หลักการออกแบบเครื่องอบแห้ง | 40 |
| 3.4 การดำเนินการสร้าง | 50 |
| 3.5 การทดสอบ | 51 |

สารบัญ (ต่อ)

| | |
|------------------------------|----|
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ | |
| 4.1 ผลการดำเนินการออกแบบ | 55 |
| 4.2 ผลการดำเนินการสร้าง | 56 |
| 4.3 การทดสอบเบื้องต้น | 59 |
| 4.4 ผลการทดสอบการลดความชื้น | 66 |
| 4.5 ผลการทดสอบสมรรถนะ | 69 |
| 4.6 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย | 70 |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 71 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 71 |
| เอกสารอ้างอิง | 72 |
| ภาคผนวก | 75 |
| ภาคผนวก ก | 76 |
| ภาคผนวก ข | 80 |
| ภาคผนวก ค | 90 |
| ภาคผนวก ง | 98 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ข้าว เป็นผลผลิตทางการเกษตรและเป็นสินค้าที่มีมูลค่าการส่งออกทางการเศรษฐกิจเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศไทย โดยทั่วไปเกษตรกรจะปลูกข้าว 2 ครั้งต่อปี คือ ข้าวนาปี ซึ่งปลูกในฤดูฝนเก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง และข้าวนาปรังจะปลูกในฤดูแล้งและเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน การนำข้าวเพื่อไปบริโภคหรือเพื่อการพาณิชย์ ต้องคำนึงถึงคุณภาพข้าวหลังการสีเป็นสำคัญซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพข้าวหลังการสีที่พบ ได้หลังการเก็บเกี่ยวคือความชื้นของข้าวเปลือก ถ้าความชื้นมากไปจะทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดี เป็นผลให้ข้าวเปลือกเกิดความเสียหายได้ง่าย แต่ถ้าความชื้นน้อยหรือแห้งเกินไปจะทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นจึงควรมีการจัดการที่ดีเพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้นที่เหมาะสม

ปัจจุบัน เกษตรกรได้มีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่มาใช้เพื่อพัฒนางานด้านการเกษตรมากขึ้น การเก็บเกี่ยวข้าวก็เช่นเดียวกัน โดยใช้เครื่องเกี่ยวนวดในการเก็บเกี่ยวซึ่งจะทำให้ในช่วงที่ข้าวยังมีความชื้นที่สูงอยู่ประมาณ 24-30 % wb แต่ที่ระดับความชื้นนี้ ข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวนี้ต้องนำมาผ่านกระบวนการลดความชื้นเพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาที่ 12-14 % wb ปัจจุบันเครื่องลดความชื้นได้มีการพัฒนาและใช้กันอย่างกว้างขวางแต่ความเหมาะสมในเชิงพาณิชย์ก็ยังคงมีความสำคัญอยู่ไม่น้อย ซึ่งในเขตภาคกลางหรือเขตชลประทานของประเทศการนำเครื่องลดความชื้นมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมนั้นมีความคุ้มทุนมากกว่า เนื่องจากการทำนา 5 ครั้งต่อ 2 ปี ผลผลิตข้าวในเขตนี้ไม่ขึ้นกับฤดูกาล อาจอยู่ในช่วงฤดูฝนได้ ทำให้ข้าวที่เก็บเกี่ยวมีความชื้นสูงประกอบกับเกษตรกรไม่มีพื้นที่ในการตาก และผลผลิตมีน้อยเกินกว่าจะนำเครื่องอบแห้งในอุตสาหกรรมมาใช้ ตลอดจนไม่มีเวลาในการลดความชื้นข้าวเปลือก เนื่องจากต้องรีบเตรียมการปลูกข้าวในครั้งต่อไป ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งที่สามารถลดความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก ในระหว่างกระบวนการขนส่งจากแปลงนาส่งให้กับรถที่มารับรถทุกข้าว เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพและเพิ่มราคาของข้าวเปลือกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

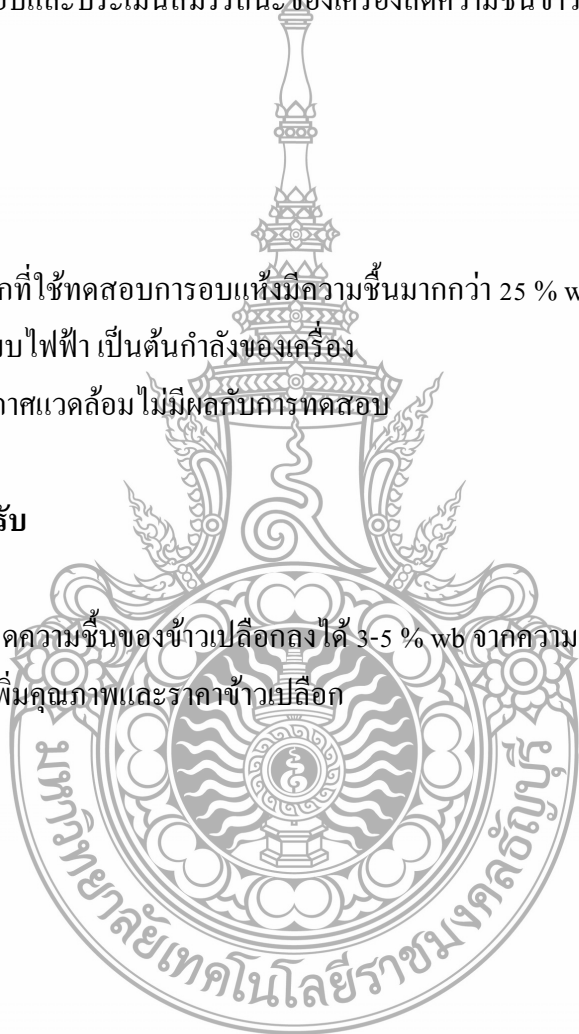
- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่อง
- 1.2.2 สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกระหว่างลำเลียงจากแปลงนาโดยรถเกี่ยว
สู่อบรบรรทุกก่อนนำไปจำหน่าย
- 1.2.3 เพื่อทดสอบและประเมินสมรรถนะของเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบ
ไหลต่อเนื่อง

1.3 ขอบเขตโครงการ

- 1.3.1 ข้าวเปลือกที่ใช้ทดสอบการอบแห้งมีความชื้นมากกว่า 25 % wb
- 1.3.2 ไม่ใช่ระบบไฟฟ้า เป็นต้นกำลังของเครื่อง
- 1.3.3 สภาพอากาศแวดล้อมไม่มีผลกับการทดสอบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกลงได้ 3-5 % wb จากความชื้นเริ่มต้น
- 1.4.2 สามารถเพิ่มคุณภาพและราคาข้าวเปลือก



บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้ามีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน มีอายุได้เพียงปีเดียวเป็นพืชชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว มีรากเป็นระบบรากฝอยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน ข้าวที่ปลูกสามารถแบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิด คือ *Oryza sativa* โดยมีการปลูกกันทั่วไปทุกประเทศ และ *Oryza glaberrima* ซึ่งมีปลูกเฉพาะในแอฟริกาเท่านั้นข้าวอื่นๆ นอกจากนี้เป็นข้าวป่า ข้าวชนิด *Oryza sativa* ยังสามารถแยกได้เป็น 3 พวก คือ *Indica* ซึ่งปลูกมากในเขตร้อน ข้าวชนิด *Japonica* ปลูกมากในเขตอบอุ่น และข้าวชนิด *Javanica* ซึ่งข้าวที่ปลูกในประเทศไทยเป็นข้าวชนิด *Indica*

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างของข้าวอินดิกา จาโปนิกา และ จาวานิกา

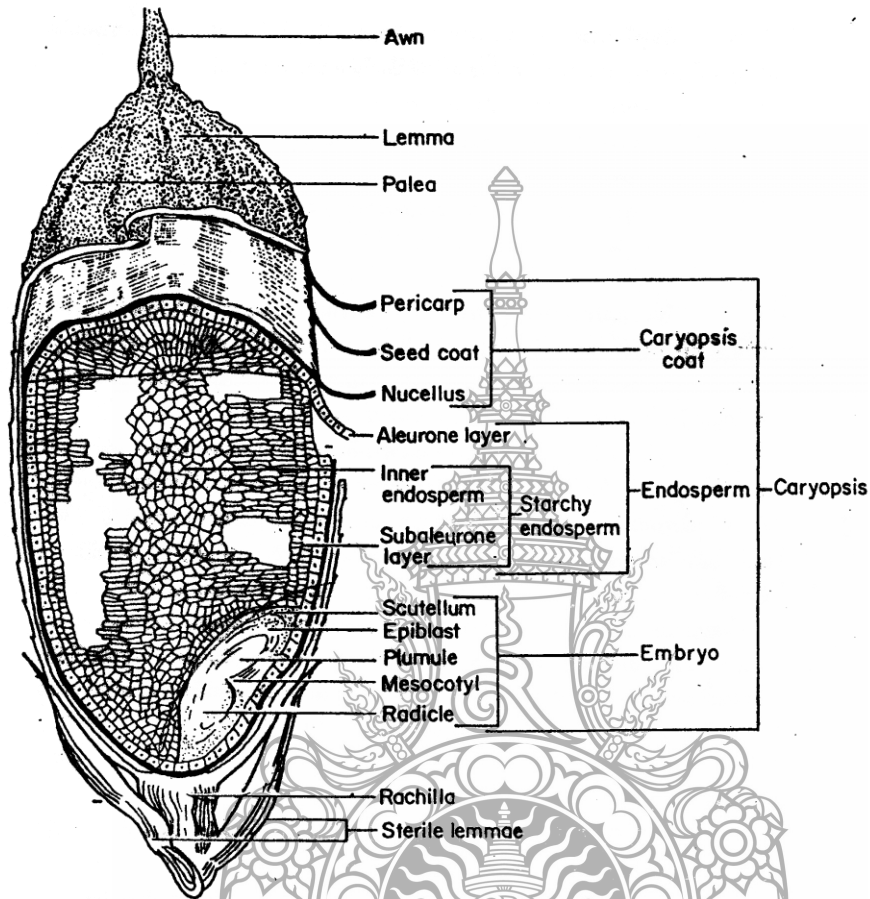
| ลักษณะ | ชนิดของข้าว | | |
|--------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | อินดิกา (<i>Indica</i>) | จาโปนิกา (<i>Japonica</i>) | จาวานิกา (<i>Javanica</i>) |
| 1. ใบ | สีเขียวอ่อนและกว้าง | สีเขียวเข้มและแคบ | สีเขียวอ่อนกว้างและแข็ง |
| 2. การแตกกอ | มาก | ปานกลาง | น้อย |
| 3. ต้น | อ่อนและสูง | แข็งและเตี้ย | สูงและแข็ง |
| 4. เมล็ด | ยาวและค่อนข้างแบน | สั้นและค่อนข้างกลม | กว้างและหนา |
| 5. หางของเมล็ด | ส่วนใหญ่ไม่มีหาง | ไม่มีหางจนถึงหางยาว | ไม่มีหางหรือหางยาว |
| 6. ขนบนเปลือก ข้าว | สั้นและมีจำนวนน้อย | ยาวและมีจำนวนมาก | ยาว |
| 7. การร่วงของเมล็ด | ร่วงง่าย | ร่วงยาก | ร่วงยาก |

ที่มา : บุญหงษ์ (2547)

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวเรียกว่า *Caryopsis* หรือข้าวกล้อง (Brown rice) มีเยื่อหุ้มเมล็ด (*Testa*) อยู่ติดกับผนังรังไข่ (*Ovary wall*) เมล็ดข้าวประกอบด้วย แกลบ (*Hull* หรือ *Husk*) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (*Lemma*) เปลือกเล็ก (*Palea*) หาง (*Awn*) ขั้วเมล็ด (*Rachilla*) และกลีบรองเมล็ด (*Sterile lemma*) เปลือกใหญ่จะปกคลุมอยู่ 2 ใน 3 ของเนื้อที่เมล็ด

เปลือกเล็กจะยึดแน่นอยู่ภายในส่วนของเปลือกใหญ่ด้วย โครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายตะขอ (Hooklike structure) ดังนั้นเปลือกข้าวจึงปิดแน่น



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

ที่มา : Juliano (1980)

ข้าวกล้อง หรือ Brown rice เป็นส่วนที่ใช้บริโภคประกอบด้วยคัพพะ (Embryo) และส่วนที่เป็นแป้ง (Starchy endosperm) ข้าวกล้องประกอบด้วย

2.1.1.1 เยื่อหุ้มข้าวกล้อง (Caryopsis coat) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่ เยื่อชั้นนอก (Pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat) และเยื่อคั่น (Nucellus)

2.1.1.2 เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (Aleurone layer) อยู่ด้านในต่อจากเยื่อคั่น (Nucellus) เป็นเนื้อเยื่อชนิดเดียวกับเนื้อเมล็ด (Endosperm) เซลล์ของเยื่อหุ้มเมล็ดประกอบด้วย โปรตีน และไขมัน

2.1.1.3 ส่วนที่เป็นแป้ง (Starchy endosperm) หรือส่วนที่เป็นข้าวสารจะอยู่
ชั้นในสุดของเมล็ด ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่ และมีโปรตีนอยู่บ้าง

2.1.1.4 คัพภะ (Embryo) อยู่ติดกับส่วนที่เป็นแป้งทางด้านท้องของเมล็ด
(Ventral side) คัพภะเป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ดังนั้นจึงประกอบด้วย ต้นอ่อน
(Plumule) รากอ่อน (Radicle) เชื้อหุ้มต้นอ่อน (Coleoptile) และเชื้อหุ้มรากอ่อน (Coleorhiza)
เป็นต้น

2.1.2 คุณสมบัติต่างๆ ของข้าว

2.1.2.1 ข้อมูลจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่า
น้ำหนักเมล็ด จากการตรวจสอบน้ำหนักข้าวเปลือก 100 เมล็ดของข้าวไทยพันธุ์ต่างๆ จำนวน
344 พันธุ์ มีน้ำหนักแปรปรวนระหว่าง 1.62-4.17 กรัม ส่วนข้าวพันธุ์ดีที่รัฐบาลส่งเสริมจะมี
น้ำหนัก 100 เมล็ด ระหว่าง 2.25-3.67 กรัม น้ำหนักเมล็ดสามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ คือ

- น้ำหนักต่อปริมาตร ประเมินเป็น กรัมต่อลิตร หรือ กิโลกรัมต่อถัง
- น้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด ประเมินเป็น 100 เมล็ด หรือน้ำหนัก 1,000 เมล็ด
เป็นต้น

2.1.2.2 ขนงรูปร่างเมล็ดขนาดเมล็ด จำแนกตามความยาวของเมล็ด ได้ดังนี้

| | | | |
|---------|----------|---------|-----|
| ยาวมาก | ยาวกว่า | 7.5 | mm. |
| ยาว | | 6.6-7.5 | mm. |
| ปานกลาง | | 5.5-6.6 | mm. |
| สั้น | สั้นกว่า | 5.5 | mm. |

รูปร่างเมล็ด จำแนกโดยใช้สัดส่วนความยาว/ความกว้าง ได้ดังนี้

| | | | |
|----------|----------|---------|-----|
| เรียวยาว | มากกว่า | 3.0 | mm. |
| ปานกลาง | | 2.0-3.0 | mm. |
| ป้อม | น้อยกว่า | 2.0 | mm. |

2.1.2.3 ซอบ (2530) ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ทางความร้อนของ
ข้าวเปลือกพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า ของเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ กข7 และ กข23 เท่ากับ
3.5 mm.

2.1.2.4 ความหนาแน่นของข้าวเปลือก แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความหนาแน่นจริง (ρ_{true}) และความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density, ρ_p) โดยข้าวเปลือกที่รวมเป็นกองนิยมใช้ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density, ρ_p) ในการวิเคราะห์ จากการศึกษาหาความหนาแน่นของกองเมล็ดข้าวเปลือก ชนิดเมล็ดยาว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ กข 7 และ กข 23 ดังนี้ (ชอบ , 2530)

$$\text{ข้าวพันธุ์ กข 7 คือ } \rho_{paddy} = 552 + 282(MC_{db}) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{ข้าวพันธุ์ กข 23 คือ } \rho_{paddy} = 551 + 321(MC_{db}) \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

โดยความหนาแน่น (ρ) มีหน่วยเป็น kg/m^3 เมื่อ MC_{db} คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

2.1.2.5 สัดส่วนช่องว่างของอากาศ (ϵ) คือ สัดส่วนระหว่างความหนาแน่นปรากฏกับความหนาแน่นจริง ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_p}{\rho_{true}} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

ชอบ (2530) ได้ให้ สมการสำหรับการหาสัดส่วนช่องว่างของอากาศของข้าวเปลือกเมล็ดยาวมี ดังนี้

$$\epsilon = 62 + (-25) MC_{db} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

โดย สัดส่วนช่องว่างของอากาศ (ϵ) มีหน่วยเป็น %

2.1.2.5 แฟกเตอร์รูปร่าง (ϕ) คือ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่าเมล็ดข้าวเปลือก ต่อพื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือก หรือหาได้จากสมการ

$$\phi_s = \frac{4.87V_p^{2/3}}{A_p} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

เมื่อ A_p คือ พื้นที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือก, (m^2)

V_p คือ ปริมาตรของเมล็ดข้าวเปลือกเมล็ดเดียว, (m^3)

2.1.2.6 ลักษณะท้องไข่ ลักษณะท้องไข่ในเมล็ดข้าว เกิดจากการจับตัวกันอย่างหลวมๆ ของเม็ดแป้ง (Starch granule) กับ โปรตีน (Protein body) ในส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ด (Endosperm) มีลักษณะขุ่นขาว ข้าวท้องไข่มีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น ข้าวท้องปลาชิว ข้าวทองขาว หรือข้าวจ๊อกก็ เป็นต้น

2.1.3 สิ่งที่กำหนดราคาข้าว

งานชิ้น (2539) ในการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพข้าวในการซื้อขายนั้น สิ่งที่กำหนดราคาข้าว ได้แก่

2.1.3.1 ความชื้น มีบทบาทสำคัญในการกำหนดราคาข้าว ข้าวที่มีการเก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่เหมาะสม และนำมาลดความชื้นให้เหลือประมาณ 13-15 % MC_{db} จะมีราคาสูงกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง เนื่องจากข้าวแห้งที่มีความชื้นเหมาะสม สามารถทำการสีได้ทันทีโดยไม่ต้องนำมาลดความชื้นอีก แต่หากรับซื้อข้าวที่มีความชื้นสูง ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลดความชื้น ดังนั้นข้าวที่มีความชื้นสูงกว่าที่กำหนดจะถูกตัดราคา

2.1.3.2 ลักษณะทางกายภาพของข้าว โดยการกะเทาะและขัดสีเพื่อประเมินสีข้าว กล้อง ท้องไข่ ความขุ่นใสของเมล็ด และสิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น ข้าวแดง ข้าวเหลือง ข้าวเสีย ข้าวปนชนิดอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดราคาข้าวด้วย

2.1.3.3 คุณภาพการสี เพื่อประเมินผลการแปรสภาพของข้าว จากข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร ปริมาณข้าวรวม ข้าวเต็มเมล็ด ดันข้าว ข้าวหักขนาดต่าง ๆ และปลายข้าว ซึ่งผลที่ได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อ จะเป็นค่าที่โรงสีใช้ประเมินผลที่ได้จากการแปรสภาพในโรงสีจริง โดยทั่วไปโรงสีจะตั้งเกณฑ์ขั้นต่ำของผลที่ได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อ หากข้าวที่เกษตรกรนำมาจำหน่ายมีผลที่ได้จากการขัดสีต่ำกว่าเกณฑ์จะถูกตัดราคา

2.1.3.4 ประเภทของข้าว ข้าวคุณภาพดี มีความต้องการของตลาดและเป็นที่ยอมรับ มีราคาดีกว่าข้าวคุณภาพต่ำ

2.2 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือกระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย การอบแห้งจะช่วยยืดระยะเวลาการเก็บรักษาของผลิตผลให้นานขึ้น โดยทั่วไปการอบแห้งจะเกิดจากกระบวนการถ่ายเทมวลซึ่งก็คือ การเคลื่อนที่ของมวลของน้ำภายในวัสดุ

ออกมาภายนอกวัสดุ และกระบวนการถ่ายเทความร้อน อันได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยกระบวนการทั้งสามจะเกิดขึ้นพร้อมกัน

ในการอบแห้งทั่วไป มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลาง ในการอบแห้งความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่มักใช้ไปในการระเหยน้ำ โดยในขณะเดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุมายังกระแสอากาศ ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ และเมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงแล้ว อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นจะลดลงซึ่งจะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดลง

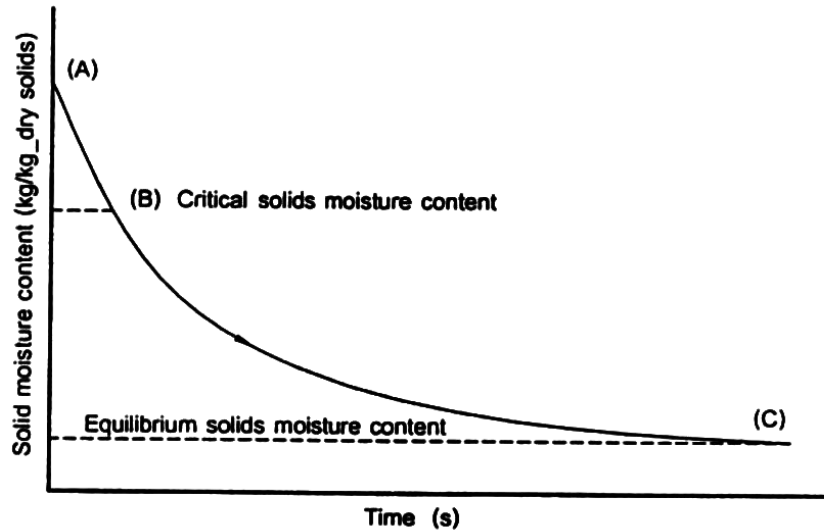
จากข้างต้นจะทำให้เราสามารถแบ่งการอบแห้งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกในขณะที่ยังมีความชื้นสูงอยู่ การอบแห้งมักเป็นแบบอัตราการอบแห้งคงที่ และเมื่อวัสดุมีความชื้นลดต่ำลงจนถึงความชื้นวิกฤต น้ำจากภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของ เหงาหรือไอน้ำ แล้วจึงระเหย แล้วเคลื่อนที่ไปยังกระแสอากาศ ซึ่งการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุในรูปของเหงาจะเกิดขึ้นในระยะแรกขณะที่วัสดุยังมีความชื้นสูงพอประมาณ เมื่อความชื้นลดต่ำลงมากแล้ว น้ำอาจเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ

2.2.1 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

เป็นช่วงที่อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุและอากาศเกิดขึ้นเฉพาะที่รอบๆ ผิววัสดุเท่านั้น และมีลักษณะคล้ายกับการระเหยของน้ำจากผิว (Free water surface) อัตราการลดความชื้นในช่วงนี้จะถูกจำกัดด้วยการระเหยของน้ำบนผิวผลผลิต ปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างมากด้วยอัตราคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 2 ในช่วง A ถึง B ซึ่งการสิ้นสุดของการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ จะเกิดขึ้นเมื่อน้ำภายในผลิตภัณฑ์ ไม่สามารถมาทดแทนน้ำบริเวณผิวที่ระเหยออกไป เพื่อทำผิวหน้าของผลผลิตอิ่มด้วยความชื้นได้

2.2.2 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

หลังจากความชื้นลดลงถึงปริมาณความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) กระบวนการอบแห้งจะดำเนินต่อไปในลักษณะอัตราลดลง เพราะ การเคลื่อนที่ของน้ำออกสู่ผิวจะต่ำกว่าการระเหยของน้ำออกสู่บรรยากาศภายนอก เป็นช่วงที่มีความสำคัญมากเพราะการลดความชื้นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงนี้



A-B คือ การอบแห้งในอัตราคงที่

B คือ ความชื้นวิกฤต

B-C คือ การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของแข็งและเวลาในการอบแห้ง
ที่มา: การุณ (2548)

2.2.3 ความชื้นในวัสดุ

สมชาติ (2540) ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้งการบอกค่าความชื้นในวัสดุสามารถแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนน้ำหนักน้ำในวัสดุก้ำน้ำหนักของวัสดุซึ่งบอกได้เป็น 2 วิธี คือ

2.2.3.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis), %MC_{wb}

$$\%MC_{wb} = \frac{w_w}{w_w + w_d} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

เมื่อ w_w คือ น้ำหนักของน้ำ, (kg)

w_d คือ น้ำหนักแห้งหรือน้ำหนักของแข็งที่อยู่ในวัสดุ, (kg)

2.2.3.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis), MC_{db}

$$\%MC_{db} = \frac{W_w}{W_d} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

สุคนธ์ชื่น (2539) ได้กล่าวว่า การทำแห้งคือ การเคลื่อนย้ายน้ำออกจากผลผลิต ปัจจัยใด ๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายจึงมีผลต่ออัตราการทำให้แห้ง ได้แก่

2.2.4.1 ธรรมชาติของผลผลิต ผลผลิตที่มีเนื้อโปร่งการเคลื่อนที่ของน้ำภายในผลผลิตแบบผ่านช่องแคบ จะเร็วกว่าการแพร่ในผลผลิตที่มีเนื้อแน่น ดังนั้นผลผลิตที่มีเนื้อโปร่งจึงแห้งเร็วกว่าผลผลิตที่มีเนื้อแน่น

2.2.4.2 ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวและน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกันแต่มีขนาดเล็กกว่าทำให้มีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งเร็วกว่า แต่ทั้งสองนี้คำนึงถึงพื้นที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากเกิดการทับถมกันการระเหยจะเกิดได้เฉพาะผิวที่สัมผัสกับอากาศจึงเกิดการระเหยได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมาก

2.2.4.3 ตำแหน่งของผลผลิตในเตา น้ำในผลผลิตที่สัมผัสกับอากาศร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

2.2.4.4 ปริมาณผลผลิต ถ้าปริมาณผลผลิตในเตามากเกินไป ผลผลิตบางส่วนจะสัมผัสกับอากาศร้อนไม่ทั่วถึงหรือได้รับความร้อนแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นผลผลิตออกไปได้จึงทำให้แห้งช้า

2.2.4.5 ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน ถ้าอากาศร้อนมีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำได้น้อย จะมีผลในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

2.2.4.6 อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงด้วย

2.2.4.7 ความเร็วของลมร้อน เมื่อลมร้อนมีหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปจากผลผลิต ถ้าความเร็วเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำจะดีขึ้นตามไปด้วย การเคลื่อนย้ายไอน้ำจะเกิดขึ้นเต็มที่ ที่ความเร็วลม 244 m/min นอกจากนั้นความเร็วลมที่ทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศ จะทำให้อากาศสัมผัสกับผลผลิตดีขึ้น

2.2.5 ประโยชน์ของการอบแห้ง

2.2.5.1 เพื่อการถนอมรักษาอาหาร อาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บไว้ได้นาน โดยไม่เน่าเสียเนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์มีน้อย

2.2.5.2 เพื่อลดปริมาตรและน้ำหนัก อาหารที่แห้งแล้วจะมีปริมาตรและน้ำหนักลดลงทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและขนส่ง

2.2.5.3 เพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตดีขึ้นในกรณีนี้อาจไม่จริงเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตนั้นๆ

2.3 ฟลูอิดไอเซชัน

ฟลูอิดไอเซชัน เป็นกระบวนการหรือวิธีการที่ของแข็ง ซึ่งมีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ด หรือชิ้นสัมผัสกับของไหลซึ่งไหลผ่านเม็ดของแข็งที่มีความเร็วสูงพอ ที่จะทำให้ของแข็ง ดังกล่าวเคลื่อนที่และประพฤติตัวคล้ายของไหล เมื่อนำเม็ดของแข็งกลุ่มหนึ่งมาไว้บนตะแกรง ที่รองรับ แล้วให้ของไหล ไหลผ่านเม็ดของแข็งกลุ่มนั้น หลังจากนั้นทำการเพิ่มความเร็วของ ของไหลขึ้นเรื่อยๆ เมื่อของไหลมีความเร็วค่าหนึ่ง จะเห็นเม็ดของแข็งเริ่มขยับตัวแล้วลอยตัว ขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกันของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้ จะมีคุณสมบัติคล้ายกับของไหล เรียก ของแข็งที่ประพฤติตัวในลักษณะนี้ว่า ฟลูอิดไอเซชัน และเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า ฟลูอิด ไอเซชัน ซึ่งพฤติกรรมที่เกิดฟลูอิดไอเซชันดังแสดงใน ภาพที่ 2.3

2.3.1 ประเภทของฟลูอิดไอเซชัน

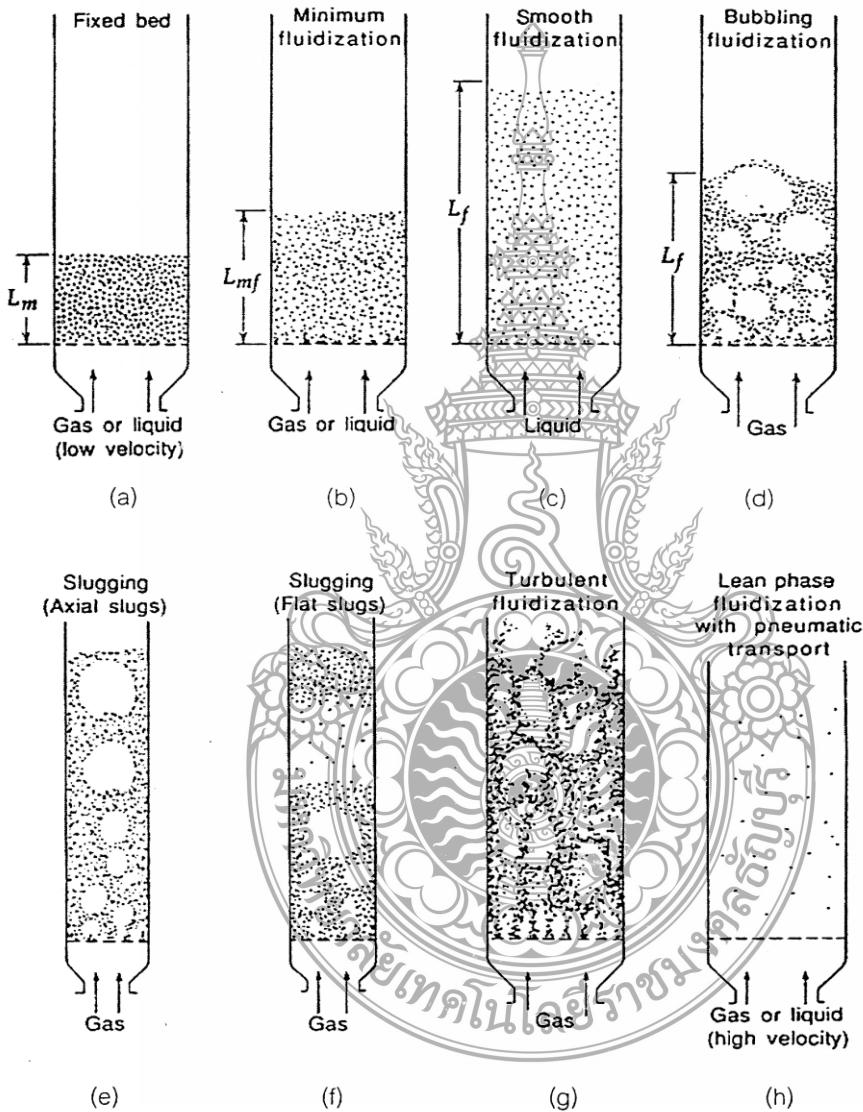
งานของฟลูอิดไอเซชันแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

2.3.1.1 ฟลูอิดไอเซชันแบบสองสถานะ (Two-phase fluidization) หมายความว่า ในหอทดลองหรือในเบดที่ใช้งานจะประกอบไปด้วยสองสถานะ คือ ของแข็งกับของไหล ของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้นฟลูอิดไอเซชันสองสถานะจึงแบ่งออกได้อีก เป็น 2 ประเภท คือ ก๊าซฟลูอิดไอเซชัน (Gas fluidization) และ ฟลูอิดไอเซชันเหลว (Liquid fluidization)

2.3.1.2 ฟลูอิดไอเซชันสามสถานะ (Three phase fluidization) หมายความว่า ในหอทดลองหรือในเบดที่ใช้งานจะประกอบไปด้วยสามสถานะ คือ ของแข็ง ของเหลวและ ก๊าซสำหรับฟลูอิดไอเซชันสามสถานะนั้นเป็นขบวนการที่พัฒนามาจากฟลูอิดไอเซชันสอง สถานะ

2.3.2 ลักษณะของฟลูอิดไดซ์เบด

เบด (Bed) หมายถึง อาณาเขต ในหอทดลองที่มีปริมาณเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ไม่ว่าเม็ดของแข็งนั้นจะอยู่นิ่ง หรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในหอทดลองจะมีระดับตั้งแต่แผ่นโลหะทำเป็นตะแกรงรองรับหรือเป็นตัวกระจายของไหล (Distributor) จนถึงระดับสูงสุด คือ ผิวหน้าของเม็ดแข็งที่อยู่ในหอทดลอง



ภาพที่ 2.3 พฤติกรรมการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด

ที่มา : การุณ (2548)

เมื่อบรรจุเม็ดของแข็งในหอทดลองเรียบร้อยแล้วเริ่มปล่อยของไหลเข้าทางด้านล่างของหอทดลองอย่างช้าๆ ขณะที่ของไหลความเร็วยังน้อยอยู่ เม็ดของแข็งจะไม่ขยับตัวเลย ลักษณะของเบดเช่นนี้ เรียกว่า เบดนิ่ง (Fixed bed) เมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลให้

มากขึ้นที่ละน้อยจนถึงความเร็วระดับหนึ่ง เม็ดของแข็งเริ่มขยับตัว และจัดตัวอย่างเป็นระเบียบ เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยของแข็งจะหลุดออกจากกันลอยตัวเป็นอิสระ ลักษณะนี้เรียกว่า จุดเริ่ม ฟลูอิดไดเซชัน หลังจากจุดนี้ไปแล้วความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นจะไปทำให้เบคขยายตัวตามความเร็วของของไหล เม็ดของแข็งอยู่ชิดกันมาก ดูเหมือนว่าเม็ดของแข็งยังจับกันเป็นกลุ่มก้อน เบคลักษณะนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบค แบบหนาแน่น (Dense-phase fluidized bed) ถ้าความเร็วของไหลมากขึ้นอีกของไหลก็เกือบจะพาเอาเม็ดของแข็งออกไปจากหอตลอดอยู่แล้ว เบคลักษณะนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบค เจือจาง (Diluted-phase fluidized bed) หลังจากนั้นเพิ่มความเร็วของไหลอีกเล็กน้อยเม็ดของแข็งก็จะหลุดลอยออกจากหอตลอดไป

ฟลูอิดไดซ์เบค ที่ของไหลเป็นของเหลว การขยายตัวของเบค เป็นไปอย่างสม่ำเสมอการลอยตัวและหมุนรอบตัวเองของเม็ดของแข็งเป็นไปอย่างช้าๆ เราเรียเบคนี้ว่าเบคสม่ำเสมอ หรือเบคที่เป็นเนื้อเดียวกัน ดังภาพที่ (b) ฟลูอิดไดซ์เบค ที่ของไหลเป็นก๊าซ ลักษณะของเบคจะแตกต่างจากที่ใช่ของเหลวมาก เพราะว่าเมื่อความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วที่จะทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบคแล้ว ก๊าซส่วนหนึ่งยังทำหน้าที่ให้เกิดการลอยตัวของเม็ดของแข็งเหมือนเดิมแต่มีอีกส่วนหนึ่งรวมตัวกันแล้วก่อตัวรวมกันเป็นฟองก๊าซขึ้น ฟองก๊าซก็จะแทรกตัวเองขึ้นมาขยับบนผิวหน้าของเบคและแตกตัวเอง ในที่สุด ขณะที่ฟองก๊าซที่ลอยขึ้นมานี้จะทำให้เม็ดของแข็งไหลจากส่วนหลังคาของฟองก๊าซลงมายังส่วนล่าง พร้อมกันนี้ยังมีบางส่วนของเม็ดของแข็งลอยติดตามฟองก๊าซขึ้นไป ภายในเบคจะเห็นว่าการเคลื่อนที่ของเม็ดของแข็งเป็นไปอย่างซุกมุ่นวุ่นวายเบคชนิดนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบค วุ่นวาย ดังภาพที่ (d)

2.3.3 กลศาสตร์ของการเกิดฟลูอิดไดเซชัน

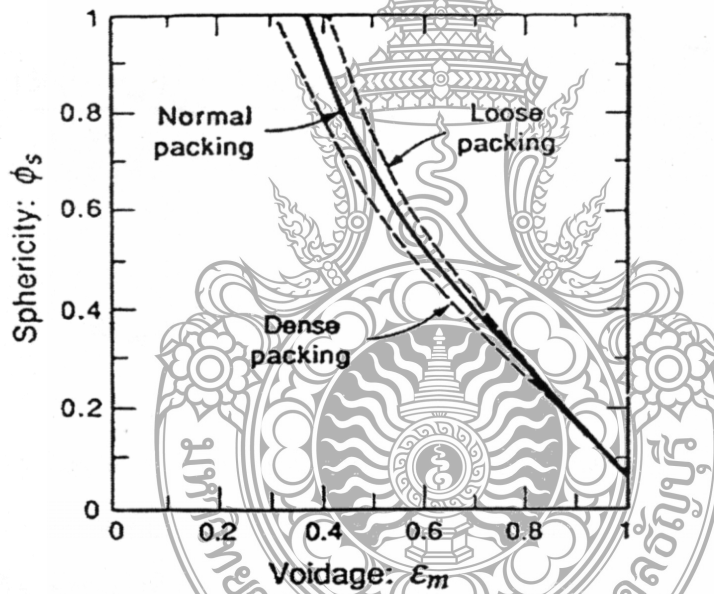
พฤติกรรมของการเกิดฟลูอิดไดเซชันมักมีตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบอย่างมาก เพราะก่อนที่เม็ดของแข็งจะเริ่มขยับตัวหรือเกิดฟลูอิดไดซ์เบค เม็ดของแข็งจะพักตัวอยู่บนตะแกรงรองรับ ปล่อยให้ของไหลไหลผ่านช่องว่างที่อยู่ในเบค ความเร็วของของไหลจึงมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเบค ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.3.3.1 ความเป็นทรงกลมหรือแฟคเตอร์รูปร่าง (Sphericity, ϕ) การวัดความไม่เป็นทรงกลมศึกษา โดย Zenz และ Othmer (1960) ที่อ้างอิงโดย Kunii, D.Levenspiel, O. (1969) โดยความเป็นทรงกลมหมายถึง อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของเม็ดทรงกลมที่มีปริมาตรเท่าเม็ดของแข็งต่อพื้นที่ผิวของเม็ดของแข็งใดๆ โดยที่เม็ดของแข็งเป็นทรงกลมค่า

ความเป็นทรงกลมมีค่าเท่ากับหนึ่ง ($\phi_s = 1$) และถ้าเม็ดของแข็งมีรูปร่างต่างๆ ไปค่าความเป็นทรงกลมมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเสมอ ($\phi_s < 1$)

2.3.3.2 สัดส่วนช่องว่าง (Fraction void, ϵ) กรณีที่เม็ดของแข็งมีรูปร่างเป็นทรงกลมและขนาดสม่ำเสมอตลอด เราสามารถคำนวณหาช่องว่างระหว่างเม็ดทรงกลมเหล่านี้ได้ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ลักษณะการเรียงตัวของเม็ดทรงกลมในเบดทำให้เกิดขนาดของช่องว่างที่มีขนาดแตกต่างกันออกไป แต่ในกรณีที่เม็ดของแข็งมีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม Kunii และ Levenspiel (1969) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นทรงกลมกับสัดส่วน ช่องว่างไว้ดังภาพที่ 2.4

ในขณะที่เริ่มเกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน ช่องว่างในเบดจะมีการขยายตัว ช่องว่างในขณะนั้นเรียกว่าสัดส่วนช่องว่างต่ำที่สุดที่เกิดฟลูอิดไดซ์เบด (ϵ_{mf})



ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นทรงกลมกับสัดส่วนช่องว่าง
ที่มา : Kunii, D และ Levenspiel, O. (1969)

WEN และ YU (1966) ได้เสนอผลคูณช่องว่างต่ำสุดและความเป็นทรงกลม เป็นค่าคงที่และอาจสังเกตได้จากการทดลองของเขาโดยใช้วัสดุชนิดต่างๆ บรรจุลงในเบดแล้วสรุปว่าวัสดุอย่างหนึ่งก็จะมีสัดส่วนช่องว่างอันหนึ่ง ดังสมการ

$$\epsilon_{mf} = \left[\frac{0.071}{\phi_s} \right]^{1/3} \dots\dots\dots (2.8)$$

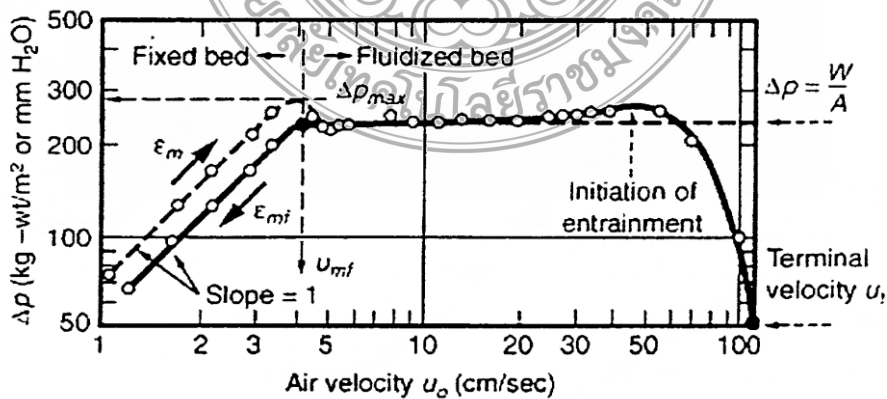
2.3.3.3 การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน (v_{mf}) ในขณะที่เม็ดของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่นั้นอาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า เม็ดของแข็งอยู่ในสภาวะสมดุลของแรงสองแรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดของแข็ง คือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของเม็ดของแข็งเองกับแรงพยุงจากการไหล ในเบดที่ใช้เม็ดของแข็งขนาดเล็ก ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันหาได้จาก (สมศักดิ์, 2523)

$$v_{mf} = \frac{(\phi_s d_p)^2 (\rho_s - \rho_g) g}{150 \mu_g} \frac{(\epsilon_{mf})}{1 - \epsilon_{mf}} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

โดยในการปฏิบัติจริงมักมักใช้สูงกว่าอย่างน้อย 1.5 เท่า

- เมื่อ Re_{mf} คือ Reynolds number ที่ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน ($Re < 20$)
- d_p คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดของแข็ง, (m)
- g คือ อัตราเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก, (m/s^2)
- v_{mf} คือ ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไดซ์เซชัน, (m/s)
- μ คือ ความหนืดของของไหล, (kg/m-s)
- ρ_g คือ ความหนาแน่นของก๊าซ, (kg/m^3)
- ρ_p คือ ความหนาแน่นของของแข็ง, (kg/m^3)

ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันสามารถหาได้อีกวิธีหนึ่ง จากการทดลองโดยพลอตความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับความเร็วกาศ ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับความเร็วกาศ
ที่มา : การุณ (2548)

2.3.3.4 ความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็งในของไหลอยู่นิ่ง, (v_t) ในฟลูอิดไคซ์เซชันนั้นมีขอบเขตความเร็วของไหลอยู่สองอย่างคือ ขอบเขตแรก คือ ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไคซ์เซชัน และขอบเขตที่สองคือ ความเร็วของของไหลที่ทำให้เม็ดของแข็งลอยตัวออกจากหอคอลง ความเร็วนี้มีขนาดเท่ากับความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็ง

Pinchbeck และ Popper (1956) ได้สร้างสมการความสัมพันธ์ของ $\frac{v_t}{v_{mf}}$

ซึ่งมีอยู่ 2 ขอบเขต ดังนี้

สำหรับเม็ดของแข็งขนาดเล็ก ($Re_p > 0.4$)

$$\frac{v_t}{v_{mf}} = 91.6 \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

สำหรับเม็ดของแข็งขนาดใหญ่ ($Re_p > 1000$)

$$\frac{v_t}{v_{mf}} = 8.72 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

เมื่อ v_t คือ ความเร็วตกอิสระของเม็ดของแข็งในของไหลอยู่นิ่ง, (m/s)
 v_{mf} คือ ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไคซ์เซชัน, (m/s)

2.3.4 ข้อได้เปรียบของฟลูอิดไคซ์เซชัน

- 2.3.4.1 เนื่องจากเม็ดของแข็งเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดการผสมกันได้อย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในเบดจะคงที่ตลอด
- 2.3.4.2 มีการจัดเรียงตัวของเม็ดของแข็ง เม็ดที่มีน้ำหนักมากจะอยู่ส่วนล่าง ส่วนเม็ดที่มีน้ำหนักน้อยจะอยู่ส่วนบน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกขนาดได้
- 2.3.4.3 สามารถทำงานในแบบต่อเนื่องได้
- 2.3.4.4 ฟลูอิดไคซ์เซชันเหมาะสมกับขบวนการที่มีปฏิกิริยาที่ทำให้ความร้อนหรือดูดความร้อนจำนวนมาก
- 2.3.4.5 พื้นที่สัมผัสกับความร้อนมีมากกว่าเมื่อเทียบกับแบบอื่น
- 2.3.4.6 การทำงานของฟลูอิดไคซ์เซชันจะเสียพลังงานน้อยกว่าเพราะแรงเสียดทานและความดันตกน้อยมากกว่าในแบบบรรจุมาก
- 2.3.4.7 สามารถใช้ในการขนส่งของแข็งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้

2.4 ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์

มนตรี (2545) กล่าวว่า กฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์สำหรับการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบปิดหรือกฎการอนุรักษ์พลังงาน คือ

$${}_1q_2 - {}_1W_2 = \Delta E \quad \text{..... (2.12)}$$

เมื่อ ${}_1q_2$ คือ ความร้อนถ่ายเทจาก 1 ไป 2 สู่ทิศของระบบ, (kJ)

${}_1W_2$ คือ งานถ่ายเทจาก 1 ไป 2 สู่ทิศของระบบ, (kJ)

ΔE คือ พลังงานทั้งหมดของระบบที่เปลี่ยนแปลง, (kJ)

ซึ่ง ΔE สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการพลังงาน ได้ดังนี้

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad \text{..... (2.13)}$$

ดังนั้น

$${}_1q_2 - {}_1W_2 = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad \text{..... (2.14)}$$

โดยที่

$$\Delta U = m(u_2 - u_1) \quad \text{..... (2.15)}$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) \quad \text{..... (2.16)}$$

$$\Delta PE = mg(Z_2 - Z_1) \quad \text{..... (2.17)}$$

เมื่อ ΔU คือ ความแตกต่างของพลังงานภายใน, (kJ)

ΔKE คือ ความแตกต่างของพลังงานจลน์, (kJ)

ΔPE คือ ความแตกต่างของพลังงานศักย์, (kJ)

u คือ พลังงานภายในจำเพาะ, (kJ/kg)

v คือ ความเร็วของวัตถุหรือระบบ, (m/s)

Z คือ ระดับความสูงเหนือระดับอ้างอิง, (m)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, (9.81 m/s²)

หรือสามารถเขียนให้อยู่ในเทอมของ เอนทัลปี (h) ได้สมการทั่วไป ดังนี้

$${}_1Q_2 - W_{\text{other}} = \Delta H + \Delta KE + \Delta PE \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

เมื่อ W_{other} คือ งานในรูปแบบอื่น ๆ ยกเว้นงานจากการแทน, (kJ)
 ΔH คือ ผลต่างของเอนทัลปี มีค่าเท่ากับ $(m)(h_2-h_1)$, (kJ)

2.4.1 ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

ค่าความจุความร้อนจำเพาะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (c_v) และค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (c_p) ซึ่งความจุความร้อนจำเพาะทั้ง 2 ชนิดสามารถหาได้จากสมการ 2.18 และสมการ 2.19

$$c_v = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta U}{\Delta T} = \frac{\Delta u}{\Delta T} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

เมื่อ ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ, ($^{\circ}\text{C}$)

$$c_p = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta H}{\Delta T} = \frac{\Delta h}{\Delta T} \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

เมื่อ h คือ เอนทัลปีจำเพาะของระบบ, (kJ/kg)
 c_v คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่, (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$)
 c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่, (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$)

และเนื่องจาก ΔU มีค่าเท่ากับ ${}_1q_2$ ที่สภาวะปริมาตรคงที่ และ ΔH มีค่าเท่ากับ ${}_1q_2$ ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี โดยความสัมพันธ์นี้อ้างอิงมาจากสมการของความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ย (c_{av}) ของแก๊สอุดมคติ โดยมีรูปสมการ ดังนี้

$$c_{av} = \frac{{}_1q_2}{m\Delta T} \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

เมื่อ ${}_1q_2$ คือ ความร้อนที่สารรับไว้, (kJ)
 m คือ มวลของสาร, (kg)
 ΔT คือ อุณหภูมิของสารที่เพิ่มขึ้น, ($^{\circ}\text{C}$)

จากกฎของจูลแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ H และ U ของแก๊สอุดมคติไว้
ดังนี้

$$H = U + PV = U + mRT \quad \text{..... (2.22)}$$

| | | |
|---------|-----|-----------------------------------|
| เมื่อ P | คือ | ความดันสัมบูรณ์ของแก๊ส, (kPa) |
| V | คือ | ปริมาตรของแก๊ส, (m ³) |
| m | คือ | มวลของแก๊ส, (kg) |
| R | คือ | ค่าคงที่เฉพาะแก๊ส, (kJ/kg·K) |
| T | คือ | อุณหภูมิสัมบูรณ์ของแก๊ส, (K) |

ข้อมูลข้างต้นจะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ในสภาวะปริมาตร
คงที่ได้จากสมการ 2.22 โดยมีหน่วยเป็น kJ

$$\Delta U = {}_1q_2 = mc_v \Delta T \quad \text{..... (2.23)}$$

และสามารถหาการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีได้จากสมการ

$$\Delta H = {}_1q_2 = mc_p \Delta T \quad \text{..... (2.24)}$$

ลีทริพร (2546) กล่าวว่าในการใช้แก๊สที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์ สำหรับระบบเปิด
ที่เป็นอุปกรณ์การใช้งานมีมวลไหลเข้าและออก ส่วนใหญ่จะตัดเทอมของพลังงานจลน์และ
พลังงานศักย์ออก จะเหลือเป็น

$$\begin{aligned} q - W_{\text{other}} &= \Delta H \\ &= h_2 - h_1 \\ &= mc_p \Delta T \quad , \text{ (kJ)} \end{aligned} \quad \text{..... (2.25)}$$

หรือ

$$Q - \dot{W}_{\text{other}} = \dot{m} c_p \Delta T \quad , \text{ (kW)} \quad \text{..... (2.26)}$$

2.5 การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

วิวุฒิและสุรชัย (2545) กล่าวว่า การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งสามารถ
พิจารณาได้จาก ประสิทธิภาพการทำแห้ง และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ดังนี้

2.5.1 อัตราการทำแห้ง (Drying rate, DR) คัดจากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ ต่อระยะเวลาในการอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/hr

$$DR = \frac{(m_{p,i} - m_{p,f})}{t} \dots\dots\dots (2.27)$$

2.5.2 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER) คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อพลังงานที่ใช้ตลอดการอบแห้ง มีหน่วยเป็น kg/kW-hr

$$SMER = \frac{(m_{p,i} - m_{p,f})}{P_e} \dots\dots\dots (2.28)$$

2.5.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) เป็น ส่วนกลับของ SMER กล่าวคือเป็นพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำที่ระเหย มีหน่วยเป็น MJ/kg

$$SEC = \frac{3.6P_e}{(m_{p,i} - m_{p,f})} \dots\dots\dots (2.29)$$

2.6 การคำนวณหาความดันตกในระบบท่อลม

ความต้านทานการไหลของอากาศในท่อ มีส่วนประกอบคือ ความสูญเสียเนื่องจาก แรงเสียดทาน และการรบกวนการไหลอันเกิดจากข้ออ่ ข้อแยก การเพิ่มหรือลดขนาดท่อ และ อุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งเป็นความสูญเสียเชิงจลน์ โดยการหาความดันสูญเสียรวมของระบบท่อ สามารถทำได้โดยการรวมความดันสูญเสียในจุดต่างๆ ของระบบเข้าด้วยกัน ทั้งนี้ต้องทราบ ความดันสูญเสียของจุดต่างๆ ในระบบเสียก่อน ซึ่งเมื่อทราบการสูญเสียความดันรวมของระบบ ทั้งหมดแล้ว จะสามารถนำไปใช้หาขนาดของพัดลมที่ต้องการได้

2.6.1 ความต้านทานในท่อตรง

ไพรบูลย์ และ เฮอไซ ไชโต (2543) กล่าวว่าขณะที่อากาศไหลในท่อกลมตรง ความดันที่สูญเสียส่วนใหญ่เกิดจากความเสียดทานหาได้จาก สมการของ Darcy-Weisbach ดังนี้

$$\Delta P_f = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot P_v \dots\dots\dots (2.30)$$

เมื่อ ΔP_f คือ ความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน, (kg/m²)

- P_v คือ ความดันไดนามิก, (kg/m^2)
 λ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ
 l คือ ความยาวท่อลม, (m)
 d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อลม, (m)

โดย ความดันไดนามิก (P_v) หาได้จากสมการ 2.31

$$P_v = \frac{\gamma}{2g} \cdot v^2 \quad \text{..... (2.31)}$$

- เมื่อ γ คือ ความหนาแน่นของอากาศมาตรฐาน ที่ 20°C ความชื้นสัมพัทธ์ 60% มีค่าเท่ากับ $1.20 \text{ (kg/m}^3\text{)}$
 v คือ ความเร็วเฉลี่ยภายในท่อลม, (m/s)
 g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีค่าเท่ากับ $9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$

หรือ ความดันไดนามิก อาจหาได้จาก

$$P_v = \frac{1.2}{2 \cdot 9.8} v^2 = \left(\frac{v}{4.05} \right)^2 \quad \text{..... (2.32)}$$

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (λ) แบ่ง 2 กรณี คือ

1. หากเป็นการไหลแบบราบเรียบ ($Re < 2000$) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (λ) หาจาก

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad \text{..... (2.33)}$$

2. หากเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ($Re \geq 10,000$) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (λ) หาจากสมการของ Moody (Moody's approximate equation)

$$\lambda = 0.0055 \left[1 + \left(20,000 \frac{\epsilon}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right] \quad \text{..... (2.34)}$$

- เมื่อ ϵ คือ แฟลคเตอร์ความขรุขระของผิวท่อลม, (mm)
 Re คือ ตัวเลขเรย์โนลด์ส์

ซึ่ง ตัวเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) หาได้จาก

$$Re = \frac{d_h v \rho_a}{\mu_a} \dots\dots\dots (2.35)$$

- เมื่อ ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ, (kg/m³)
- v คือ ความเร็วของอากาศ, (m/s)
- μ คือ ความหนืดพลศาสตร์ของอากาศ, (N-s/m²)
- d_h คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชลศาสตร์ของท่อ, (m)

โดย

$$d_h = \frac{4A_c}{P} \dots\dots\dots (2.36)$$

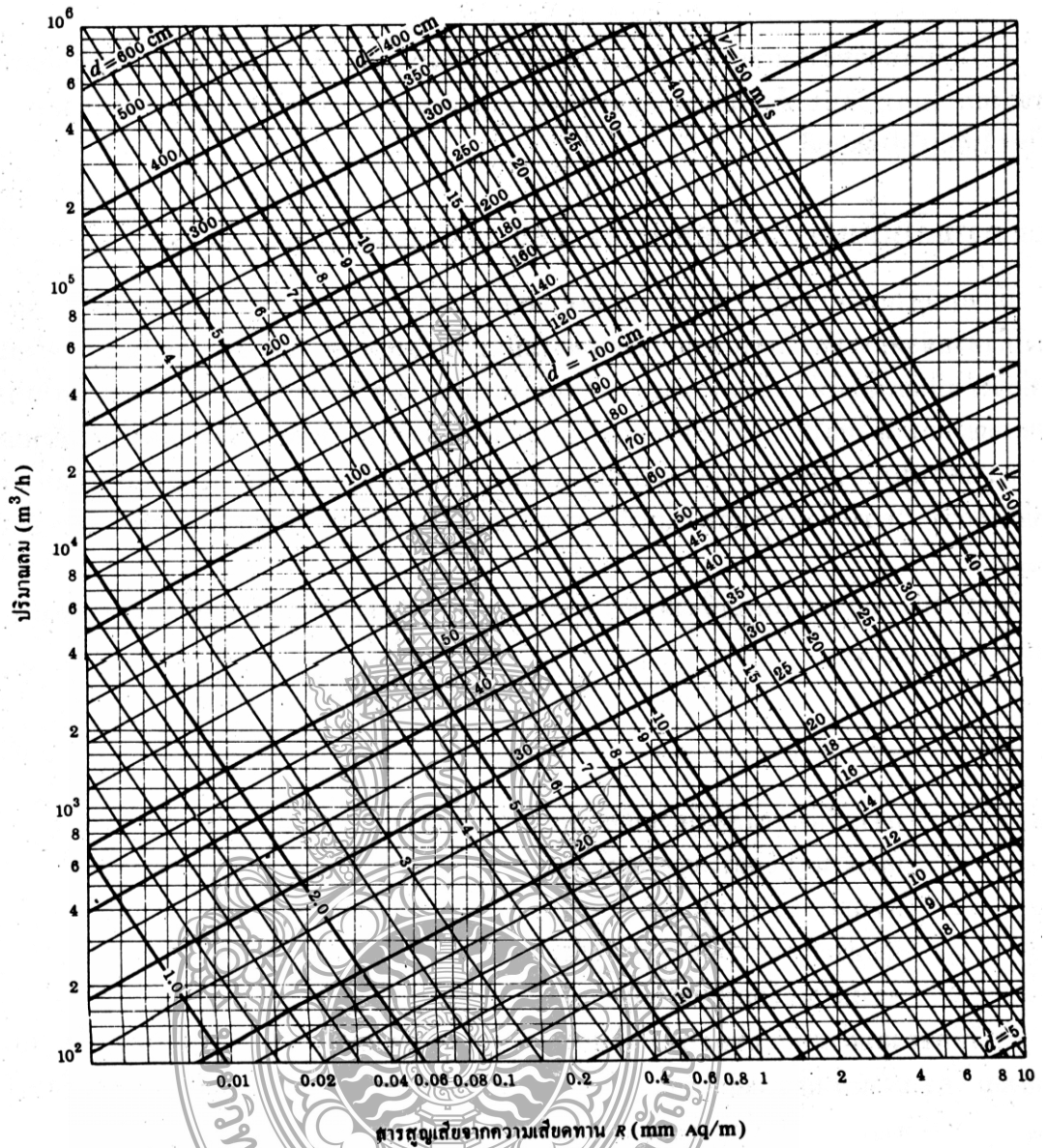
- เมื่อ A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ, (m²)
- P คือ เส้นรอบวง (Perimeter) ของท่อ, (m)

ความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานของการไหลแบบปั่นป่วน อาจหาได้อีกวิธีหนึ่ง คือการหาจาก “แผนภูมิการเสียดทานของท่อลม” ภาพที่ 2.6 ซึ่งเป็นแผนภูมิการเสียดทานของท่อลมสำหรับอากาศมาตรฐาน (ความดัน 760 mmHg, 20 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 60%) ไหลผ่านท่อกลมด้วยเหล็กแผ่นชุบสังกะสี ($\epsilon = 0.18$ mm)

สมชาติ (2540) สำหรับการหาความต้านทานเนื่องจากแรงเสียดทานของท่อสี่เหลี่ยมอาจหาได้โดยการใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (d_e) โดยสามารถหาได้จาก

$$d_e = 1.265 \left[\frac{(ab)^5}{(a+b)} \right]^{1/5} \dots\dots\dots (2.37)$$

- เมื่อ d_e คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของท่อสี่เหลี่ยม, (m)
- a และ b คือ ด้านทั้งสองของสี่เหลี่ยม, (m)



ภาพที่ 2.6 การสูญเสียจากความเสียดทานสำหรับท่อกลม (760 mmHg , 20 °C)
ที่มา : ไพโรบลูย์ และ เออิโซ ไชโต (2543)

2.6.2 ความต้านทานเฉพาะแห่งในท่อลม

ความต้านทานเฉพาะแห่งในท่อลมสามารถแสดงโดยการสูญเสียความดันเนื่องจากความปั่นป่วนเฉพาะแห่ง เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางหรือขนาดท่อและความต้านทานการเสียดทานรวม ในทางปฏิบัติสามารถหาได้จากตารางสัมประสิทธิ์ความต้านทานเฉพาะแห่ง (ตารางผนวกที่ ข.8)

2.7 พัดลม

2.7.1 ลักษณะทั่วไปของพัดลม

อนุตร (2543) พัดลมก็คือเครื่องสูบลมที่ใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน (Working fluid) โดยจะทำการขับเคลื่อนอากาศหรือแก๊สต่างๆ ให้เคลื่อนที่ พัดลมมักจะใช้ในการขับเคลื่อนอากาศในจำนวนปริมาตรน้อยๆ ที่ค่าความดันของอากาศสูงๆ หรืออาจใช้ในการขับเคลื่อนอากาศในจำนวนปริมาตรมากๆ ที่ค่าความดันต่ำๆก็ได้ โดยทั่วไปแล้วพัดลมทุกประเภทสามารถทำงานภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี แต่ก็มีปัจจัยต่างๆ ที่เป็นข้อจำกัดในการใช้งานของพัดลม อาทิ ความดังของเสียงในขณะที่ใช้งาน ค่าประสิทธิภาพของพัดลม เป็นต้น

2.7.2 ประเภทของพัดลม

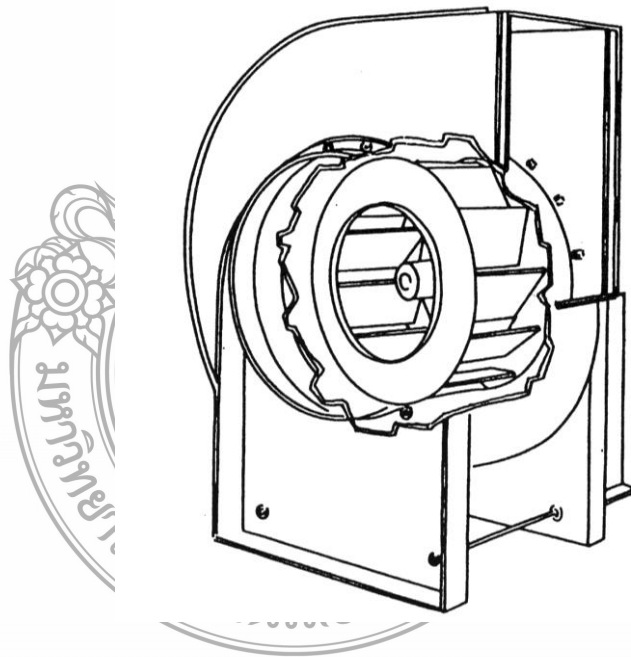
จำแนกพัดลมออกเป็นประเภทใหญ่ๆตามลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศได้เป็น 2 ลักษณะคือ พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal flow or radial fans) พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial flow fans) การเลือกใช้พัดลมแบบนี้ต้องพิจารณาจากกราฟสมรรถนะของพัดลม เพื่อให้ได้พัดลมที่ถูกต้องตรงตามลักษณะการใช้งานมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการทำงานดีที่สุดและไม่รับภาระมากเกินไปนัก ทั้งนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงซึ่งได้เลือกใช้ในการออกแบบ

พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง พัดลมแบบนี้มีการไหลของอากาศในแนวรัศมี จะประกอบด้วยชุดใบพัดหมุนอยู่ภายในตัวเรือนพัดลม ชุดใบพัดประกอบด้วยแผ่นใบเล็กๆ ประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะกึ่งล้อ ค่าความดันของอากาศจะถูกทำให้มีค่าสูงขึ้นภายในตัวเรือนของพัดลม สามารถเพิ่มค่าความดันของอากาศให้มีค่าสูงขึ้นได้ ด้วยการเพิ่มขนาดความยาวของใบพัด ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางภายในระบบมากยิ่งขึ้นอากาศจะไหลผ่านเข้าไปในท่อทางเข้า โดยมีทิศทางขนานกับแกนของใบพัด และไหลออกในทิศทางตั้งฉากกับแกนของใบพัดในท่อทางออก พัดลมประเภทนี้จำแนกตามลักษณะรูปร่างของใบพัดเป็น 3 แบบคือ

2.7.2.1 แบบใบพัดตรง (Straight blade or radial fans) มีจำนวนใบพัดประมาณ 6-12 ใบ และใบพัดจะอยู่ในระนาบรัศมีจากเพลาใบพัดหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำประมาณ 500–3000 rpm เหมาะกับงานที่ต้องการปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนจำนวนน้อยๆ ที่มีค่าความกดดันของอากาศสูงๆ

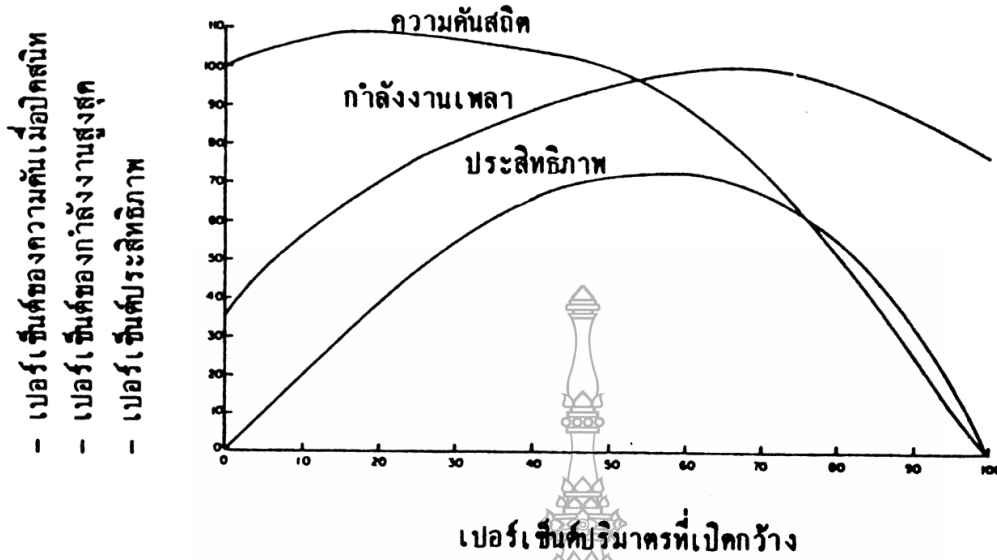
2.7.2.2 แบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า (Forward curved blade fans) พัดลมชนิดนี้มีใบพัดโค้งไปข้างหน้า ในทิศทางเดียวกันกับการหมุนของชุดใบพัด การทำงานจะมีเสียงเบาที่สุดเมื่อเทียบกับพัดลมชนิดอื่นๆ ไม่เหมาะกับการใช้งานที่มีอัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และอากาศที่ใช้งานต้องสะอาดเพียงพอ พัดลมชนิดนี้จะให้ค่าความกดดันลม และอัตราการไหลของอากาศสูงที่สุด

2.7.2.3 แบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง (Backward curved blade fans) พัดลมชนิดนี้มีใบพัดเอียงไปข้างหลัง ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการหมุนของชุดใบพัด มีจำนวนแผ่นของใบพัดประมาณ 10-50 ใบ เป็นพัดลมที่มีความเร็วรอบสูงการทำงานไม่ก่อให้เกิดเสียงดังเกินควร ไม่มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง ไม่มีช่วงการทำงานที่ไม่มีความเสถียรภาพ มีราคาสูงกว่าพัดลมชนิดอื่นเมื่อเทียบกับขนาดเท่าๆ กัน สามารถที่จะทำการควบคุมความกดดันและปริมาณของลมได้ง่าย

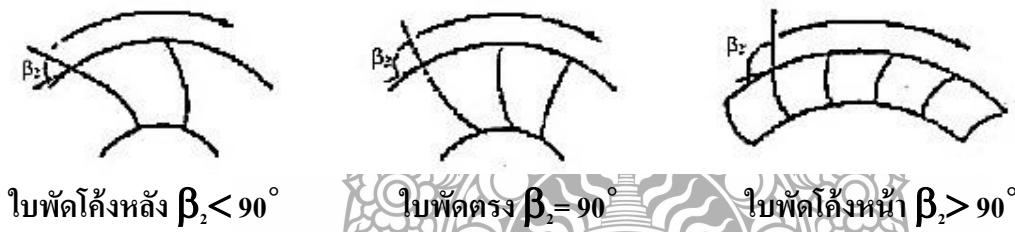


ภาพที่ 2.7 พัดลมแบบแบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง (Backward Curved Blade Fans)

ที่มา : สมชาติ (2540)

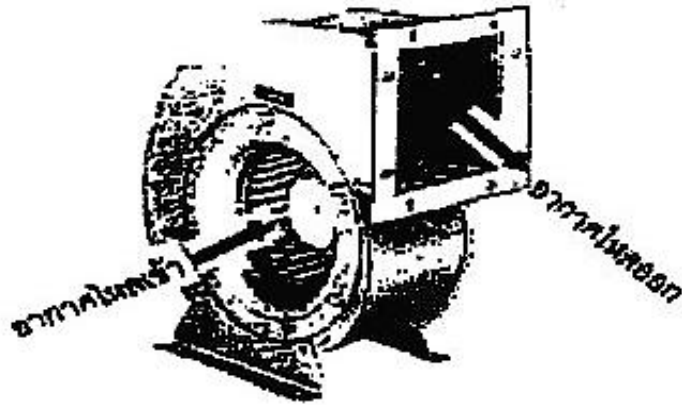


ภาพที่ 2.8 กราฟสมรรถนะของพัลสมแรงเหวี่ยงแบบใบโค้งหลัง
ที่มา : สมชาติ (2540)



ภาพที่ 2.9 แสดงลักษณะการเอียงทำมุมของใบพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดต่างๆ
ที่มา : อนุตร (2543)

ลักษณะการเอียงทำมุมของใบพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดต่างๆ ในภาพที่ 2.9 โดยที่มุมใบพัด (β_2) ของพัลลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลังจะมีค่าน้อยกว่า 90 องศา ชนิดใบพัดตรงจะมีค่าเท่ากับ 90 องศา และชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้าจะมีค่ามากกว่า 90 องศา



ภาพที่ 2.10 แสดงการไหลของอากาศผ่านตัวพัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
ที่มา : อนุตร (2543)

2.8 การส่งกำลังด้วยสายพาน

วริทธิ์ และ ชาญ (2521) กล่าวว่า การส่งกำลังทางกลจากเพลลาอันหนึ่งไปยังเพลลาอีกอันหนึ่งอาจทำได้ 3 วิธี คือ โดยใช้เฟือง ใช้สายพาน หรือใช้โซ่ การส่งกำลังโดยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ (Flexible) ซึ่งมีข้อดี คือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลลาที่อยู่ห่างกันมากๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ เป็นต้น แต่ก็มีข้อเสียคือ อัตราทดไม่แน่นอนนักเนื่องจากการสลิป (Slip) และการครีป (Creep) ของสายพาน และต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลลาหรือปรับแรงตึงในสายพานระหว่างใช้งาน นอกจากนี้ยังไม่อาจใช้งานที่มีอัตราทดสูงมากได้ ซึ่งมักใช้กับอัตราทดไม่เกิน 5

2.8.1 ชนิดและวัสดุสายพาน

กิตติ (2529) กล่าวว่าสายพานแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือ สายพานแบน (Flat belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ้ม (V-belts) มีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลม (Ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และ ไทม์มิ่งเบิ้ลท์ (Timing belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่จะทำเป็นร่องคล้ายฟันเพื่อตลอดความยาวของสายพาน สายพานแต่ละชนิดจะมีลักษณะในการใช้งานต่างกัน

วัสดุที่ใช้ทำสายพานซึ่งใช้งานกันมากก็คือหนัง (Oak-leather) แต่ถ้าใช้งานเป็นพิเศษ เช่นมีความชื้นสูง ถูกไอสารเคมี หรือถูกน้ำมัน มักใช้สายพานแบบ Chrome leather เพื่อ

ยี่ดอายุการใช้งาน ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานหนังจะมีค่าประมาณ 0.40-0.50 และความเร็วใช้งานของสายพานควรอยู่ในช่วง 1000–2000 m/min

สายพานยาง (Rubber belts) สายพานประเภทนี้จะมีฝ้ายหรือผ้าใบเป็นไส้ภายใน และมียางหุ้มอยู่ภายนอก เหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีน้ำมันหรือแสงแดด สายพานยางจะมีราคาถูกและทนต่อสภาพบรรยากาศกว่าสายพานหนัง แต่อายุการใช้งานสั้นกว่า ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของสายพานยางจะมีค่าประมาณ 0.30-0.40 และรับแรงดึงได้ประมาณ 20 นิวตัน/ชั้น/ความกว้างสายพาน 1 mm

สายพานบาลาตา (Balata belts) ทนต่อการครูดและความชื้นได้ดี แต่อ่อนหภูมิใช้งานไม่ควรเกิน 400°C สายพานชนิดนี้ความต้านทานแรงมากกว่าสายพานยางประมาณ 25%

สายพานผ้าดัก (Textile belts) ทำจากฝ้ายหรือผ้าใบซ้อนกันเป็นชั้นๆ แล้วยึดติดกัน จากนั้นจึงเคลือบด้วยน้ำมันลินซีด (Linseed) ใช้กันน้ำได้มักใช้กับงานประเภทชั่วคราว

2.8.2 ชนิดของพูลเลย์

พูลเลย์เป็นชิ้นส่วนประกอบการใช้งานของสายพานส่งกำลังทุกชนิด โดยพูลเลย์จะเปลี่ยนชนิดไปตามลักษณะและขนาดของสายพานที่ใช้ ขนาดของอัตราทด ซึ่งจะมีให้เลือกตามขนาดของผู้ผลิตสายพาน หรือสั่งทำตามแบบที่ผู้ผลิตเครื่องจักรออกแบบไว้ก็ได้ วัสดุที่ใช้ทำพูลเลย์มีหลายชนิดดังนี้ (ชัยวัฒน์, 2546)

2.8.2.1 เหล็กหล่อสีเทาและเหล็กหล่อเหนียว เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำพูลเลย์มากที่สุด โดยมีราคาถูกทนทานต่อการสึกหรอดี นิยมใช้ทำพูลเลย์ขนาดกลางและพูลเลย์ขนาดใหญ่

2.8.2.2 เหล็กกล้า เป็นวัสดุที่นิยมใช้ทำพูลเลย์ขนาดเล็ก มีราคาแพงและมีความแข็งแรงสูง

2.8.2.3 โลหะซินเตอร์ (Sintered metal) เป็นวัสดุที่มีคุณภาพดีพอๆ กับเหล็กกล้า แต่มีราคาแพงจะคุ้มทุนต่อเมื่อมีการผลิตเป็นจำนวนมากๆ

2.8.2.4 อะลูมิเนียม เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา เหมาะกับงานที่ต้องการกำหนดน้ำหนักของพูลเลย์หรือเมื่อต้องการใช้กับงานเบา

2.8.2.5 พลาสติก เป็นวัสดุที่ใช้ทำพูลเลย์ของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ มีน้ำหนักเบาทนทานต่อการสึกหรอ

2.8.3 การคำนวณหาอัตราทดของการส่งกำลังด้วยสายพาน

กิตติ (2529) กล่าวว่า การหาอัตราทดของการส่งกำลังด้วยสายพาน สามารถคำนวณได้จาก

$$m_{\omega} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{RPM_1}{RPM_2} \quad \dots\dots\dots(2.38)$$

- เมื่อ D_2 คือ ขนาดความ โทสุดของพูลเลย์ตัวตาม
- D_1 คือ ขนาดความ โทสุดของพูลเลย์ตัวขับ
- m_{ω} คือ อัตราทดของสายพาน
- RPM_2 คือ ความเร็วรอบของพูลเลย์ชุดตัวตาม
- RPM_1 คือ ความเร็วรอบของพูลเลย์ชุดตัวขับ

โดยทั่วไปแล้ว สายพานจะสามารถส่งกำลังได้โดยการอาศัยความเสียดทานระหว่างพูลเลย์กับสายพาน เพื่อให้ได้มาซึ่งความเสียดทานดังกล่าวจำเป็นต้องติดตั้งสายพานบนพูลเลย์ให้มีความตึงพอประมาณ การตรวจสอบความตึงของสายพานมีหลายวิธีแต่การตรวจสอบที่ง่ายที่สุดคือ พิจารณาจากคำแนะนำของผู้ผลิต ในการใช้แรงกดจำนวนหนึ่งลงบนสายพาน ซึ่งจะยอมให้ตกลงได้เป็นระยะทางหนึ่งต่อความยาวของสายพาน

การใช้พูลเลย์ขับขนาดเล็กเป็นการเพิ่มการส่งกำลังของสายพาน แต่จะทำให้เกิดโมเมนต์ตัดสูงกระทำต่อเพลามอเตอร์รวมทั้งแบร์ริงของมอเตอร์ได้ หากว่าพูลเลย์ขับมีขนาดเล็กเกินไป ความเสียหายอาจเกิดขึ้นกับต้นกำลังขับได้

2.8.4 การคำนวณหาความยาวของสายพาน

ความยาวของสายพานเปิด (Open belt) อาจประมาณค่าได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} \quad \dots\dots\dots(2.39)$$

- เมื่อ L คือ ความยาวพิตช์ของสายพาน
- C คือ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของพูลเลย์ขับและพูลเลย์ตาม
- D_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ชุดตัวขับ
- D_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ชุดตัวตาม

การกำหนดระยะ C นับว่ามีความยืดหยุ่นมากพอสมควร กิตติ (2529) ได้ให้คำแนะนำว่า ระยะ C ที่ใช้ควรเลือกจากค่าที่อยู่ระหว่างค่า C_{max} และ C_{min}

โดย

$$C_{max} = 2(D_2 + D_1) \quad \dots\dots\dots (2.40)$$

$$C_{min} = 0.7(D_1 + D_2) \quad \dots\dots\dots (2.41)$$

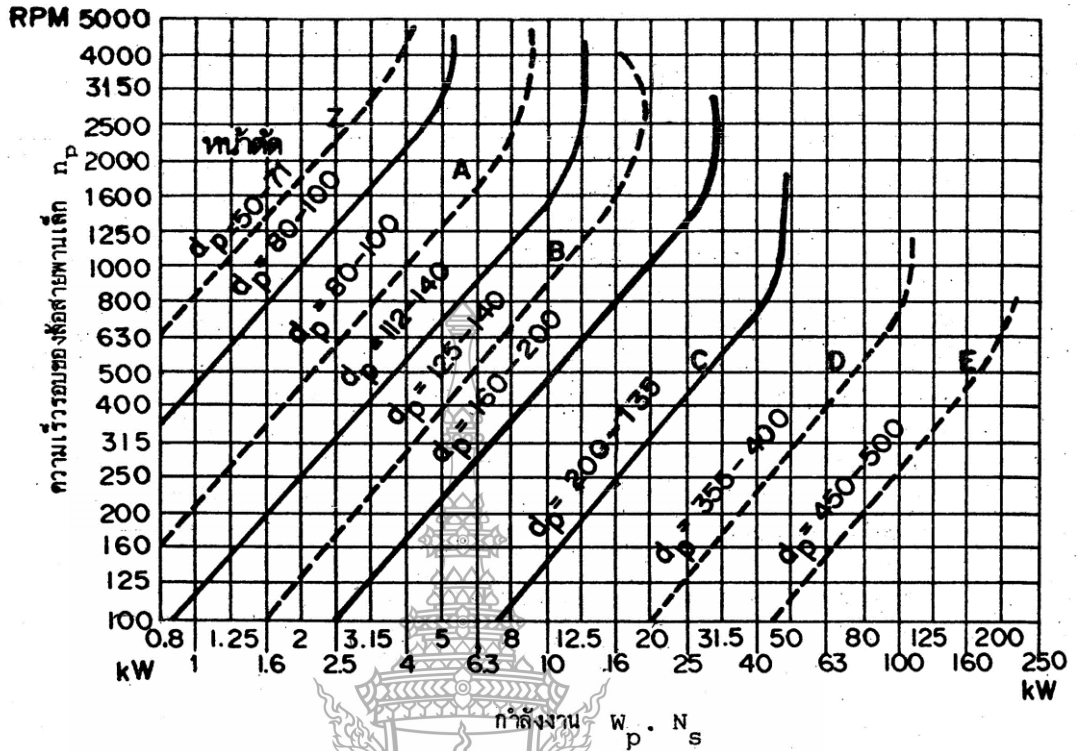
การกำหนดค่า C ควรเลือกระยะปรับ (ควรเป็นด้านมอเตอร์) ความห่างของเพลาทิ้งสองด้วย เพื่อให้มีความตึงของสายพานเพียงพอ เนื่องจากค่า C อาจเป็นพิกัดจำกัด (Limiting Factor) ได้เพราะมีที่ว่างจำกัด

2.8.5 การเลือกใช้สายพาน

สายพานลิ่ม ถูกผลิตขึ้นมาหลายแบบและหลายขนาด การกำหนดขนาดใช้ความกว้างพิตซ์ ISO ได้แบ่งสายพานลิ่มแบบใช้งานอุตสาหกรรมเป็นขนาด Y, Z, A, B, C, D และ E ซึ่งทุกขนาดก็มีการเสริมความแข็งแรงภายในด้วยในลอนหรือเส้นใยอย่างอื่น สายพานลิ่มยังมีการหุ้มวัสดุเพื่อให้มีการทนทานต่อน้ำมันและการสึกหรอ

การเลือกใช้สายพานอาจพิจารณาจากกราฟในภาพที่ 2.12 เพื่อเลือกรูปหน้าตัดของสายพานที่เหมาะสมได้ ข้อมูลที่ต้องการคือความเร็วรอบของพูลเลย์เล็ก (RPM₁) และกำลังเพื่อการออกแบบ (Design KW) และถ้ามีแนวโน้มว่าพูลเลย์จำเป็นต้องใช้สายพานหลายเส้นช่วยในการส่งกำลัง อาจจะลองเอาจำนวนเส้นที่คาดว่าจะใช้หาค่ากำลังที่จะส่งถ่าย ตัวเลขที่ได้รับจะเป็นกำลังที่สายพานลิ่มแต่ละเส้นส่งถ่ายไป โดยปกติแล้วอาจต้องบวกเพิ่มไปอีก 10–15 % เพื่อไว้

กำลังเพื่อการออกแบบ คือ ผลคูณของกำลังที่ส่งถ่ายได้โดยเฉลี่ย (KW_u) กับตัวประกอบ การใช้งาน (N_s) ตัวประกอบการใช้งานนี้เป็นตัวเลขจำนวนไร้มิติ เป็นพิกัดความปลอดภัยในการใช้งาน (Safety factor) ชนิดพิเศษ เพื่อรับแรงกระแทกตอนเริ่มหมุนใหม่หรือระหว่างการหมุน (ตารางผนวกที่ ข.10 และ 11 แสดงถึงตัวประกอบใช้งานสำหรับการใช้งานประเภทต่างๆ)



ภาพที่ 2.11 แผนภูมิที่ใช้ในการเลือกหน้าตัดของสายพานลิ่ม
ที่มา: วรวิทย์และชาญ (2525)

2.9 แก๊สหุงต้ม (LPG)

นิรนาม (2521) ประกอบไปด้วย แก๊ส โพรเพนและบิวเทน หรืออาจเป็นอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้แต่ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน จึงเหมาะที่จะใช้บิวเทนผสมโพรเพนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีค่าความร้อนประมาณ 49.3 MJ/kg จุดเดือดของแก๊สจะต่ำประมาณ 0 °C แต่อุณหภูมิเฉลี่ยของบ้านเราประมาณ 20 °C ดังนั้นเมื่อแก๊สถูกปล่อยออกจากภาชนะบรรจุก็จะเดือด โดยเปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่ถูกกดดันอยู่กลายเป็นไอทันที

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมโชคติ (2542) ได้ทำการพัฒนาต้นแบบเครื่องอบข้าวเปลือกขนาดเล็ก โดยใช้ระบบหมุนเวียนด้วยลม (Re-circulating batch grain dryer with pneumatic conveyor) ประกอบด้วยถังอบทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m ส่วนให้ความร้อนโดยหัวเผาแก๊ส LPG และส่วนระบบหมุนเวียนเมล็ดด้วยลม โดยทำการอบข้าวครั้งละ 700-1000 kg ใช้อากาศร้อนอุณหภูมิ 90-10 °C เข้าห้องอบ ความเร็วของอากาศผ่านชั้นข้าว 5 m/s มีอัตราการ

หมุนเวียนของเมล็ดคืออยู่ที่ 5-7 kg/min พบว่าอุณหภูมิภายในถังรักษาระดับอยู่ที่ 38-43 °C อย่างสม่ำเสมอ สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้ระหว่าง 2-4 %MC_{wb} ต่อการหมุนวนของเมล็ด 1 รอบ

จิรวัดน์ (2531) ได้ศึกษาการจำลองการใช้สมการการอบแห้งข้าวเปลือก 4 สมการ ในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลตามกัน เพื่อหาตัวแปรที่สำคัญของการอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลตามกัน ปรากฏว่าสมการของ Page ที่สร้างโดย Wange และ Singh สามารถแสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงความชื้นได้ จากการจำลองได้ตัวแปรที่สำคัญต่อการอบแห้งในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลตามกัน คือ อัตราการไหลของลมร้อน อัตราการไหลของเมล็ดข้าวเปลือก และอุณหภูมิของลมร้อนซึ่งจากงานวิจัยนี้ได้ค่า อัตราการไหลของลมร้อนที่เหมาะสม เท่ากับ 40 m³/m²-min อัตราการไหลของเมล็ดข้าวเปลือก เท่ากับ 2.0 m³/m²-hr อุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับ 120 °C โดยข้าวเปลือกลดความชื้นจาก 17 % เหลือ 13 %(MC_{wb}) ภายในระยะอบแห้งที่มีความลึก 1.2 m

สรายุทธ์ (2541) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือก โดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันเชิงอุตสาหกรรม ใช้เครื่องขนาดกำลังผลิต 10 ton/hr โดยทำการเปรียบเทียบการทำงานสองกรณี ระหว่างการใช้เตาเผาแลกเปลี่ยนแบบไซโคลน กับการใช้หัวเผาน้ำมันดีเซลเป็นแหล่งให้ความร้อน ในการอบแห้ง เพื่อหาสภาวะการทำงานที่สภาวะที่เหมาะสม ผลการทดลองพบว่า สภาวะการทำงานที่เหมาะสมกรณีใช้หัวเผา น้ำมันดีเซล มีอัตราส่วนอากาศเวียนกลับอยู่ในช่วง 45-60% มีปริมาณการใช้พลังงานป้อนภูมิจำเพาะค่าอยู่ระหว่าง 5-5.7 MJ/kg-water evap. มีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งรวม 1.61 Baht/kg-water evap กรณีใช้เตาเผาแลกเปลี่ยนแบบไซโคลน มีประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 75% มีปริมาณการใช้พลังงานป้อนภูมิจำเพาะเฉลี่ย 9.3 MJ/kg-water evap. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งรวม 0.83 Baht/kg-water evap ซึ่งกรณีเปลี่ยนจากการใช้หัวเผา น้ำมันดีเซลเป็นการใช้เตาเผาแลกเปลี่ยนแบบไซโคลน มีระยะเวลาคืนทุน 1,176 ชั่วโมง

อิสเรศ (2543) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยพิจารณาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ต่อการอบแห้ง และคุณภาพข้าวเปลือก สภาวะต่างๆ ของการศึกษามีดังนี้ ความชื้นเริ่มต้น 25-43% MC_{db} ความชื้นสุดท้าย 16-28% MC_{db} ความสูงเบดข้าวเปลือก 10-15 cm อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 150-170 °C ความดันไอน้ำในระบบอบแห้ง 106.1 kPa พบว่า ความเร็วต่ำสุดของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ทำให้ข้าวเปลือกเกิดฟลูอิดไดซ์เบดมีค่าประมาณ 2.6 m/s อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าความสูงของเบดข้าวเปลือก ที่ความสูงเบด 10 cm ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 1.3 เท่าของความเร็วต่ำสุดที่เกิด ฟลูอิดไดซ์เบด อุณหภูมิอินเวอร์ชัน (Inversion

temperature) มีค่าต่ำกว่า 150°C เล็กน้อย โดยในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยังคงสามารถลดความชื้นได้ต่ำถึง $18\% \text{MC}_{\text{db}}$ โดยที่ เปรอเซ็นต์ต้นข้าวไม่เปลี่ยนแปลง

สุชาติ (2541) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าการปรับระดับของค่า Entrance height มีผลโดยตรงต่อปริมาณการใช้พลังงานของพัดลม โดยค่า Entrance height ที่ 10 cm มีปริมาณการใช้พลังงานต่ำที่สุด และหาอัตราการไหลของอากาศต่ำที่สุดที่ทำให้ข้าวเปลือกเกิด Spout ได้คงที่ คือที่ $0.079\text{ m}^3/\text{s}$ หรือเมื่อคิดเป็นความเร็วของอากาศเท่ากับ 13.17 m/s จากการศึกษา ทำการอบแห้งข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้นที่ $24\text{-}26\% \text{MC}_{\text{db}}$ ในอุณหภูมิต่างๆ 3 ค่าคือ $100, 125, 150^{\circ}\text{C}$ ในแต่ละอุณหภูมิปรับค่า Hold up ของข้าวเปลือกภายในเบด 3 ค่าคือ $10, 15, 20\text{ kg}$ และปรับความกว้างของ spout 3 ค่าคือ $6, 8, 10$ เซนติเมตรตามลำดับ จากการศึกษาด้านคุณภาพข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง พบว่า ที่ความชื้นสุดท้ายในช่วง $16\text{-}17\% \text{MC}_{\text{db}}$ เปรอเซ็นต์ข้าวต้นสัมพัทธ์มีค่า $28.24\text{-}73.95\%$ ที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ และที่ความชื้นสุดท้าย $20\text{-}21\% \text{MC}_{\text{db}}$ ข้าวต้นสัมพัทธ์มีค่า $84\text{-}85\%$ ที่ค่าอุณหภูมิ $100\text{-}125^{\circ}\text{C}$ ส่วนอุณหภูมิ 150°C ข้าวต้นสัมพัทธ์มีค่า 59.95% ส่วนผลของค่า Hold up และความกว้างของ Spout ต่อ %ข้าวต้นสัมพัทธ์ ไม่ให้ผลที่แตกต่างกันชัดเจน





บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องมีการใช้วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรายการต่อไปนี้

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้าง

1. โลหะรูปพรรณต่างๆ และสแตนเลสแผ่น สำหรับสร้างเครื่อง
2. เครื่องยนต์ คูโบต้า ขนาด 12 แรงม้า 1 เครื่อง
3. ท่อสแตนเลสไร้ตะเข็บ Ø 1 นิ้ว
4. แก๊ส LPG ขนาด 15 k จำนวน 5 ถัง
5. วาล์วควบคุมความดัน
6. หัวเผาแก๊ส ยี่ห้อ OKURA
7. พัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ใบพัดแบบโค้งหลัง
8. ตะแกรงมุงลวด
9. ฉนวนกันความร้อน ชนิด โยแก้วหนา 2 นิ้ว

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างเครื่อง

1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า
2. เครื่องเชื่อมแก๊ส
3. เครื่องเจาะไฟฟ้า
4. เครื่องมือตัดท่อ
5. เครื่องพับโลหะแผ่น
6. เครื่องตัดเหล็ก
7. ค้อน คีม ฉาก ตลับเมตร เกจวัดมุม

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบ

1. เครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลม ยี่ห้อ Testo รุ่น 350-M/XL
2. เครื่องวัดความเร็วรอบชนิด Microprocessor tachometer ยี่ห้อ Compact

3. เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช ยี่ห้อ Kett รุ่น PM-400
4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบลูกตุ้ม
5. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง
6. หลอดตวงขนาด 200 มิลลิลิตร
7. ชุด Aerodynamics characteristic tester

3.2 วิธีการ

3.2.1 แผนการทดลอง

ระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่อง ตลอดจนทดสอบและประเมินความสามารถของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่องนั้น ใช้เวลาในการดำเนินงานทั้งสิ้น 9 เดือน คือตั้งแต่เดือน มิถุนายน 2549 จนกระทั่งเดือน กุมภาพันธ์ 2550 ซึ่งขั้นตอนในการดำเนินงาน ได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 3.1

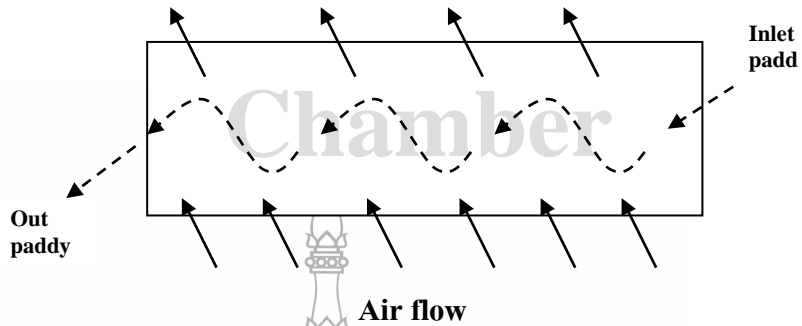
ตารางที่ 3.1 แผนการและระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | พ.ศ. 2549 — พ.ศ. 2550 | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | ม.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | |
| 1. ศึกษาเอกสารและข้อมูลประกอบการดำเนินงาน | | | | | | | | | | |
| 2. การคำนวณและออกแบบ | | | | | | | | | | |
| 3. จัดหาวัสดุอุปกรณ์ | | | | | | | | | | |
| 4. ดำเนินการสร้างชิ้นงานและแก้ไข ปรับปรุง | | | | | | | | | | |
| 5. ทำการทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพ | | | | | | | | | | |
| 6. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ | | | | | | | | | | |
| 7. เขียนรายงาน / จัดทำรูปเล่ม | | | | | | | | | | |

3.3 หลักการออกแบบเครื่องอบแห้ง

ในการออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งแบบไหลต่อเนื่อง มีจุดประสงค์เพื่อลดความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือกให้ได้อย่างรวดเร็ว จากข้าวเปลือกที่ถูกส่งมาจากแปลงนาโดยรถเกี่ยว ซึ่งมีอัตราการเก็บเกี่ยวประมาณ 2 ton/hr ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการเก็บเกี่ยว จึงกำหนดให้มีอัตราการไหลของข้าวเปลือกผ่านห้องอบที่ 2 ton/hr ความชื้นเริ่มต้น ของข้าวเปลือกมากกว่า 25 %wb และในการออกแบบห้องอบแห้งนั้น เพื่อให้ข้าวเปลือกสัมผัสกับ

อากาศร้อนให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ จึงเลือกเป่าลมร้อนเข้าไปด้านล่างของห้องอบแห้ง เพื่อดันให้ข้าวเปลือกลอยขึ้นไป และหมุนตัวสัมผัสกับลมร้อนในห้องอบในลักษณะดังนี้



ภาพที่ 3.1 ทิศทางการไหลของข้าวเปลือกในห้องอบ

โดยลมร้อนที่ได้นั้นเกิดจากพัดลมที่ใช้ต้นกำลังซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว โดยเป็นพัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ลักษณะใบพัดแบบโค้งหลัง เนื่องจากให้ความเร็วรอบสูงไม่ก่อให้เกิดเสียงดังเกินควร ไม่มีลักษณะที่ต้นกำลังจะทำงานเกินกำลัง ไม่มีช่วงการทำงานที่ไม่มีความเสถียรภาพ สามารถทำการควบคุมความกดดันและปริมาณของลมได้ง่าย และใช้แก๊ส LPG เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน เนื่องจากสามารถให้ความร้อนได้สูง จัดหาได้สะดวก รวดเร็ว และเป็นพลังงานที่มีราคาไม่สูงมาก โดยต้องการให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 100-150 °C

3.3.1 การหาค่าความหนาแน่นของข้าวเปลือก

โดยการทำการทดลองเบื้องต้นในห้องทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการตวงข้าวเปลือกลงในบีกเกอร์ ในปริมาณ 1 lt
2. ทำการชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ตวงไว้แล้วด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล

จากผลการทดลองพบว่า ข้าวเปลือก 1 lt มีน้ำหนัก 0.507 kg

ฉะนั้นค่า Bulk density (ρ_p) มีค่า

$$\begin{aligned}\rho_p &= 0.507 && \text{kg/lt} \\ &= 507 && \text{kg/m}^3\end{aligned}$$

3.3.2 การหาขนาดของห้องอบแห้ง และการหาความเร็วลมต่ำที่สุดที่ทำให้เกิด ฟลูอิดไคซ์เซชัน

จากการออกแบบขนาดของโครงสร้างหลักหรือ ช่วงล่าง ที่มีความกว้าง 1.8 m และความยาว 2.5 m เพื่อให้สามารถทำการลากจูงได้อย่างสะดวก และเพื่อให้สามารถทำการติดตั้งห้องอบที่เหมาะสมกับการวางอุปกรณ์อื่นๆ จึงกำหนดให้ ห้องอบมีขนาดกว้าง 30 cm และความยาว 150 cm

การหาความเร็วลมต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันนั้นอาจใช้สมการที่ 2.9 ได้ แต่เพื่อให้ได้ผลที่มีความถูกต้อง และสามารถใช้งานจริงได้ จึงได้ทำการทดสอบเบื้องต้น โดยวิธีทดสอบการลอยตัวของข้าวเปลือก ในชุดทดสอบคุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics characteristic tester) ในห้องปฏิบัติการแทนการใช้สมการ 2.9 ซึ่งได้ค่าความเร็วลมที่สามารถทำให้ข้าวเปลือกลอยตัว อยู่ที่ 3.2 m/s



ภาพที่ 3.2 การทดสอบการลอยตัวของข้าวเปลือก

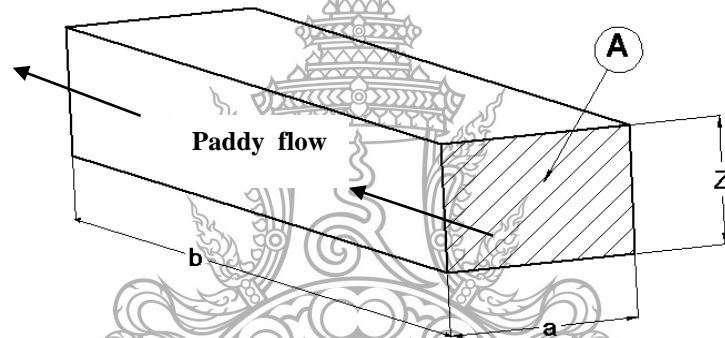
3.3.3 การหาความสูงของห้องอบ

หาได้จากการหาความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่ผ่านห้องอบแห้ง โดยที่ข้าวเปลือกมีอัตราการไหล 2000 kg/hr หรือ เท่ากับ 33.33 kg/min หมายความว่าในเวลา 1 นาทีข้าวเปลือกจะต้องไหลผ่านเครื่องอบแห้งได้อย่างน้อยที่สุด 33.33 kg หรือ ที่ปริมาตรข้าวเปลือก

$$V_{\text{paddy}} \text{ ที่ } 33.33 \text{ kg} = (33.33 \text{ kg}) / (507 \text{ kg/m}^3) \text{ m}^3$$

$$= 0.066 \text{ m}^3$$

ดังนั้น ใน 1 นาที ค้อห้องอบต้องสามารถจุข้าวเปลือกได้มากที่สุด 0.066 m³ เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนห้องอบ



ภาพที่ 3.3 สัดส่วนของพื้นที่ภายในห้องอบ

โดยที่

$$V_{\text{paddy}} \text{ ที่ } 33.33 \text{ kg} = a \times b \times Z \text{ m}^3 \dots\dots\dots(3.1)$$

- เมื่อ
- a คือ ความกว้างของห้องอบ เท่ากับ 0.3 m
 - b คือ ความยาวของห้องอบ เท่ากับ 1.5 m
 - Z คือ ความสูงของชั้นข้าวเปลือก, m

แทนค่าในสมการ (3.1)

$$0.066 = 0.3 \times 1.5 \times Z \text{ m}^3$$

$$Z = 0.15 \text{ m}$$

ฉะนั้นได้ความหนาของชั้นข้าวเปลือกเท่ากับ 15 cm จะสามารถหาค่าความเร็วของ เม็ดข้าวเปลือกที่ผ่านห้องอบแห้งได้ดังนี้

จาก

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{paddy}} &= v_{\text{paddy}} A \\ &= v_{\text{paddy}} (a \times Z) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

| | | | |
|-------|--------------------------|-----|---|
| เมื่อ | \dot{V}_{paddy} | คือ | อัตราการไหลเชิงปริมาตร, m ³ /s |
| | v_{paddy} | คือ | ความเร็วของเมล็ดข้าวเปลือก, m/s |
| | A | คือ | พื้นที่หน้าตัดของชั้นข้าวเปลือก, m ² |
| | a | คือ | ความกว้างของห้องอบ, m |
| | Z | คือ | ความสูงหรือความหนาของชั้นข้าวเปลือก, m |

จากข้าวเปลือก 33.33 kg มีค่าเท่ากับ 0.066 m³

ดังนั้นมีอัตราการไหลข้าวเปลือกที่ 33.33 kg/min มีค่าเท่ากับ

$$\frac{(33.33 \text{ kg})}{(1 \text{ min})} \times \frac{(0.066 \text{ m}^3)}{(33.33 \text{ kg})} = 0.066 \text{ m}^3/\text{min}$$

หรือ

$$\dot{V}_{\text{paddy}} = \frac{0.066 \text{ m}^3/\text{s}}{60}$$

ดังนั้นจะหาความเร็วข้าวเปลือกที่ไหลผ่านห้องอบได้จากสมการที่ 3.2 ดังนี้

$$\begin{aligned} v_{\text{paddy}} &= \frac{(0.066/60)}{(0.15 \times 0.3)} \\ &= 0.024 \text{ m/s} \end{aligned}$$

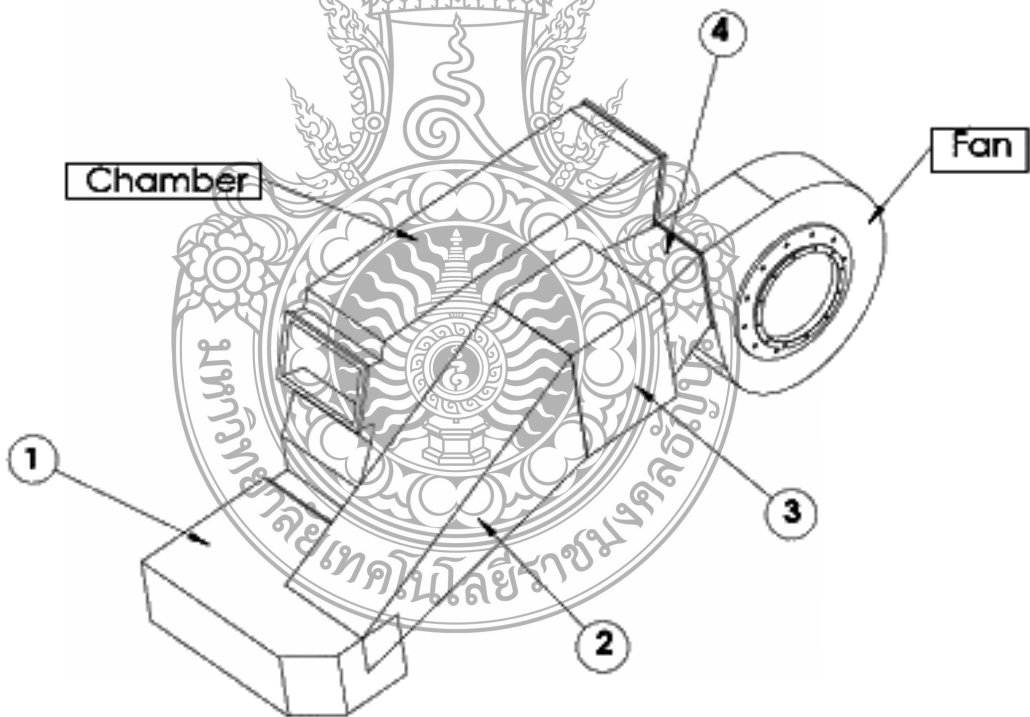
จากการทดสอบเบื้องต้นทำให้ทราบค่าความเร็วลมต่ำที่สุดที่ทำให้ข้าวเปลือก ลอยตัวเท่ากับ 3.2 m/s และจากการคำนวณจะได้ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 15 cm ความเร็ว ของข้าวเปลือกที่ผ่านห้องอบ 0.024 m/s ซึ่งความหนาของชั้นข้าวเปลือกจะถูกนำมาพิจารณา เพื่อใช้ในการออกแบบขนาดความสูงของห้องอบ โดยพิจารณาให้เป็นความสูงต่ำที่สุดที่จะ เป็นไปได้ของห้องอบ ในการสร้างจริงจะใช้ขนาดสูงกว่านี้มาก เนื่องจากต้องเผื่อพื้นที่ในการ ขยายตัวของชั้นข้าวในขณะที่ลอยอยู่ในอากาศ เพราะต้องการให้ข้าวเปลือกได้มีการพลิกตัว

ขณะลอยอยู่ในอากาศ เพื่อที่จะได้สัมผัสลมร้อนอย่างทั่วถึงและนานขึ้น เพื่อสะดวกในการปรับแต่งการไหลของอากาศ

3.3.4 การหาค่าความดันลดของระบบ

การคำนวณหาค่าความดันลดในระบบ ตั้งอยู่บนพื้นฐานของความต้องการอัตราการไหลของอากาศ (\dot{V}_a) ที่บริเวณห้องอบคงที่ ที่ความเร็วของอากาศที่ต้องการในการทำให้ข้าวเปลือกกลอยตัว ซึ่งหาได้จากการทดลอง (มีค่าเท่ากับ 3.2 m/s) โดยอัตราการไหลของอากาศ (\dot{V}_a) ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\dot{V}_a &= v_a A \\ &= (3.2)(0.3 \times 1.5) \\ &= 1.44 \quad \text{m}^3/\text{s}\end{aligned}$$



ภาพที่ 3.4 ส่วนประกอบของระบบท่อลม

ทำการคำนวณหาสูญเสียในระบบแยกเป็นจุด แล้วจึงนำมารวมกันเพื่อหาขนาดพัดลมที่ต้องการ ได้ดังนี้

จุดที่ 1 ช่องสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีกริปเล็กๆ (2 ชั้น) พื้นที่หน้าตัด $0.4 \times 0.25 \text{ m}^2$

$$\Delta P_T = \zeta \frac{v_a^2}{2g} \gamma \quad (\text{ตารางผนวกที่ ข.8 ภาพที่ 3})$$

เมื่อ

$$\zeta = 0.35$$

$$\gamma = 1.16 \quad \text{ที่ } 30^\circ \text{C}$$

$$\begin{aligned} v_a &= \dot{V}_a / A \\ &= 1.44 / (0.1) \\ &= 14.4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

จะได้

$$\Delta P_T = 4.3 \text{ N/m}^2$$

แต่เนื่องจากมี 2 ชั้นประกบกัน ดังนั้น

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= 2(4.3) \\ &= 8.6 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

จุดที่ 2 ข้อต่อท่อ ยุกต มุม 60° พื้นที่หน้าตัด $0.2 \times 0.4 \text{ m}^2$

$$\Delta P_T = \zeta \frac{v_a^2}{2g} \gamma \quad (\text{ตารางผนวกที่ ข.8 ภาพที่ 8})$$

เมื่อ

$$v_a = 18 \text{ m/s}$$

$$\zeta = 0.07$$

$$\gamma = 1.16 \quad \text{ที่ } 30^\circ \text{C}$$

จะได้

$$\Delta P_T = 1.34 \text{ N/m}^2$$

จุดที่ 3 การสูญเสียในท่อตรง พื้นที่หน้าตัด $0.4 \times 0.5 \text{ m}^2$ ยาว 0.51 m

$$\Delta P_f = \lambda \cdot \frac{l}{d_c} \cdot P_v \quad (\text{จากสมการที่ 2.30})$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}v_a &= 7.2 \text{ m/s} \\ \gamma &= 1.16 \text{ ที่ } 30^\circ \text{C} \\ d_e &= 1.265 \left[\frac{(0.4 \times 0.5)^5}{(0.4 + 0.5)} \right]^{1/5} \text{ (จากสมการที่ 2.37)} \\ &= 0.26 \text{ m} \\ d_h &= (4 \times 0.2) / 1.8 \text{ (จากสมการที่ 2.36)} \\ &= 0.44 \text{ m} \\ P_v &= (7.2 / 4.05)^2 \text{ (จากสมการที่ 2.32)} \\ &= 3.16 \text{ N/m}^2 \\ Re &= \frac{(0.44 \times 7.2 \times 1.16)}{(1.86 \times 10^{-5})} \text{ (จากสมการที่ 2.35)} \\ &= 197,574.19 > 10,000 \text{ เป็นการไหลแบบปั่นป่วน}\end{aligned}$$

เมื่อเป็นการไหลแบบปั่นป่วน λ หาได้จากสมการที่ 2.34

$$\begin{aligned}\lambda &= 0.0055 \left[1 + \left(20,000 \frac{0.15}{0.26} + \frac{10^6}{197,574.19} \right)^{1/3} \right] \\ &= 0.13\end{aligned}$$

แทนค่าในสมการที่ 2.30 จะได้

$$\Delta P_T = 0.806 \text{ N/m}^2$$

จุดที่ 4 ข้อต่อค้อย ๆ ขยายมุม 16.32° พื้นที่หน้าตัดด้านนอก $0.4 \times 0.5 \text{ m}^2$
พื้นที่หน้าตัดด้านเข้า $0.27 \times 0.41 \text{ m}^2$

$$\Delta P_T = \zeta \frac{\lambda}{2g} (v_{a,1} - v_{a,2})^2 \text{ (ตารางผนวกที่ ข.8 ภาพที่ 7)}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}\zeta &= 0.307 \\ v_{a,1} &= 13 \text{ m/s} \\ v_{a,2} &= 7.2 \text{ m/s}\end{aligned}$$

จะได้

$$\Delta P_T = 0.61 \text{ N/m}^2$$

ดังนั้น การสูญเสียความดันรวมของระบบทั้งหมด คือ

$$\begin{aligned}\Delta P &= 8.6 + 1.34 + 0.806 + 0.61 \quad \text{N/m}^2 \\ &= 11.356 \quad \text{N/m}^2\end{aligned}$$

การสูญเสียความดันที่ตะแกรงห้องอบ เนื่องจากสัดส่วนระหว่างพื้นผิวตะแกรงกับพื้นที่ ที่เป็นรูของตะแกรงมีค่าน้อยมาก จึงไม่คิดความดันสูญเสียในส่วนนี้

3.3.5 การคำนวณหาขนาดของพัดลม

เนื่องจากการสูญเสียความดันเนื่องจากส่วนต่างๆ ของระบบมีค่าเท่ากับ 11.356 N/m^2 คิด Safety factor จากความผิดพลาดเนื่องจากสูตรการคำนวณ 10% ควรเลือกใช้พัดลมที่สามารถทำ อัตราการไหลของอากาศได้ไม่ต่ำกว่า $1.44 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่ Static pressure ไม่น้อยกว่า 12.5 N/m^2 หรือขนาดพัดลมเท่ากับ อัตราการไหลของอากาศไม่ต่ำกว่า 3049.8 cfm ที่ Static pressure 0.00127 in.wg

3.3.6 การคำนวณหาค่าพลังงานความร้อน

$$\begin{aligned}\text{จาก } \dot{V}_a &= v_a A \\ \dot{V}_a &= 0.45 \times 3.2 \\ &= 1.44 \quad \text{m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่หน้าตัดห้องอบ (A)} &= 0.45 \quad \text{m}^2 \\ \text{ความเร็วลมที่ทำให้ข้าวลอย (v}_a) &= 3.2 \quad \text{m/s}\end{aligned}$$

เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้เพื่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในห้องอบเท่ากับ 130°C และอุณหภูมิของอากาศภายนอกมีค่าเท่ากับ 30°C ดังนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างช่วง $3 - 130^\circ\text{C}$ คือ 80°C ดังนั้น

$$\begin{aligned}\text{ที่อุณหภูมิ } 80^\circ\text{C} \text{ อากาศมีความหนาแน่น} & 1.00 \quad \text{kg/m}^3 \\ \dot{m}_a &= 1.44 \times 1.00 \\ &= 1.44 \quad \text{kg/s}\end{aligned}$$

$$Q_a = \dot{m}_a c_p \Delta T \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ (ΔT) เท่ากับ $(130-30)^\circ\text{C}$

ความจุความร้อนของอากาศที่อุณหภูมิ 80°C ($c_{p,a}$) $80^\circ\text{C} = 1.019 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$

เมื่อแทนค่าลงในสมการ (3.4) จะสามารถหาค่าพลังงานความร้อนที่ต้องการในห้องอบ ขณะที่ทำการอบข้าวเปลือก ได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} Q_a &= 1.44 \times 1.019 \times 100 \\ &= 146.736 \quad \text{kJ/s} \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาภาคผนวกที่ ข.1 พบว่า 1 kg ของ แก๊ส LPG ให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ เท่ากับ 11154 kcal/kg ดังนั้นสามารถหาปริมาณการใช้แก๊ส LPG อย่างคร่าวๆ ได้จาก

$$\begin{aligned} Q_a &= \frac{146736}{4186} \cdot 3600 \quad \text{kcal/hr} \\ &= 126194.36 \quad \text{kcal/hr} \end{aligned}$$

ดังนั้นต้องใช้แก๊ส LPG ในปริมาณ

$$\frac{126194.36}{11154} = 11.31 \quad \text{kg/hr}$$

เมื่อได้ขนาดของอุปกรณ์ทั้งหมดแล้ว จึงทำการออกแบบโครงสร้างรองรับอุปกรณ์ ภายใต้พื้นที่ที่กำหนดไว้ และต้องสามารถเคลื่อนที่ได้

3.4 การดำเนินการสร้าง

ในด้านวิธีการสร้างเครื่องนั้นสามารถแบ่งขั้นตอน ตามลำดับดังต่อไปนี้

1. สร้างโครงรองรับตามแบบ ที่ได้ออกแบบไว้ และทำการสร้างห้องอบแห้งในเวลาเดียวกัน
2. สั่งซื้อพัคลมและเครื่องยนต์ต้นกำลัง
3. สร้างห้องเผาไหม้ พร้อมทั้งท่อส่งลม ตามที่ได้ออกแบบไว้
4. เมื่อติดตั้ง ต้นกำลัง ระบบส่งกำลังพร้อมทั้งอุปกรณ์ ทั้งหมดลงในโครงสร้างรองรับแล้ว จึงเริ่มทำการทดสอบดังนี้

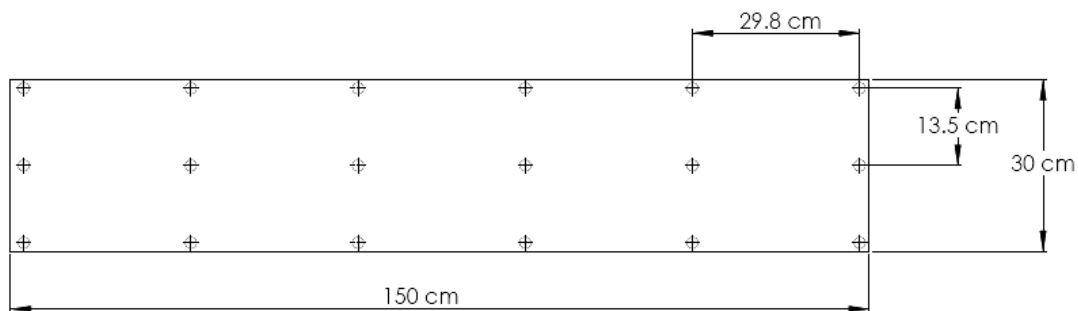
3.5 การทดสอบ

3.5.1 การทดสอบสถานะของเครื่องเบื้องต้น

การทดสอบสถานะของเครื่องเบื้องต้นนี้ เพื่อหาความเร็วลมที่ไหลผ่านห้องอบแห้ง และอุณหภูมิที่เครื่องสามารถทำได้ โดยมีวิธีการดังนี้

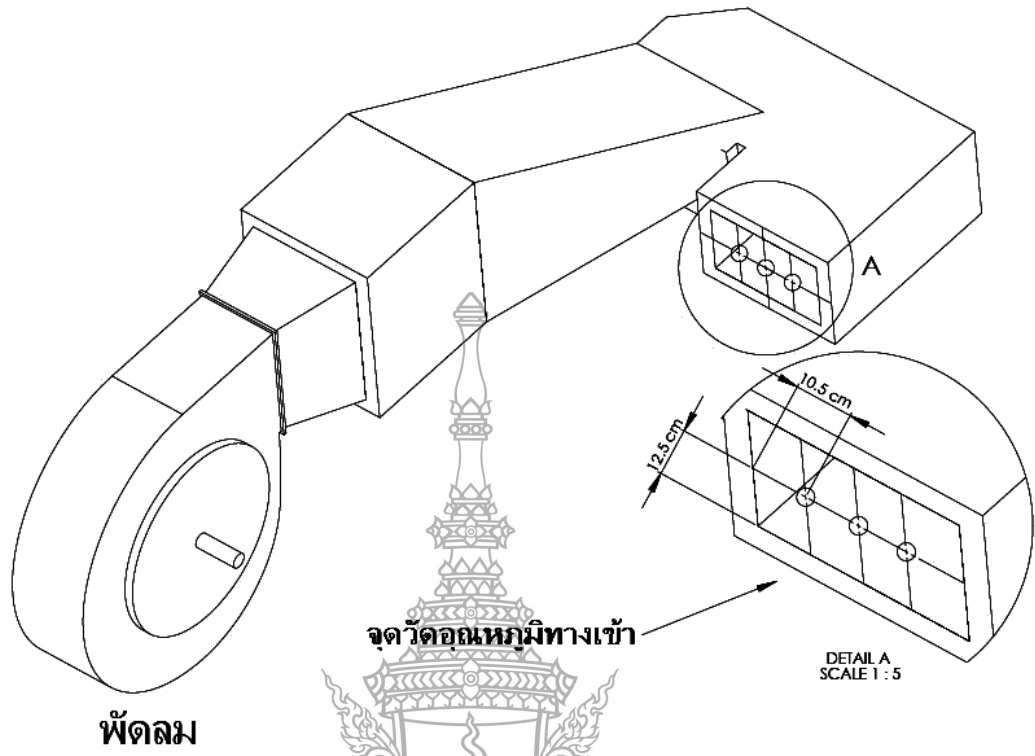
1. ทำการเดินเครื่องยนต์เล็กขนาด 12 hp ที่เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน โดยแบ่งรอบเครื่องออกเป็น 4 ระดับ คือ 1900, 2100, 2300, และ 2500 rpm โดยเริ่มการทดสอบที่ 1900 rpm

2. วัดความเร็วลม ที่พื้นที่ทางเข้าห้องอบบริเวณเหนือตะแกรงมุ้งลวด ด้วยเครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ Testo รุ่น 350-M/XL ความละเอียด ทศนิยม 2 ตำแหน่งโดยวางตำแหน่งการวัดทั้งหมด 18 จุด ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมบริเวณพื้นที่ทางเข้าห้องอบ

3. ทำการบันทึกผลของค่าความเร็วที่วัดได้
4. เปิดวาล์วแก๊ส แล้วจุดไฟที่ระดับแก๊สสูงสุด ในขณะที่พัดลมยังทำงานอยู่ในความเร็วรอบต่าง ๆ
5. ทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิ ที่บริเวณทางเข้าได้ห้องอบ โดยวางตำแหน่งการวัดทั้งหมด 3 จุด ดังภาพที่ 3.6

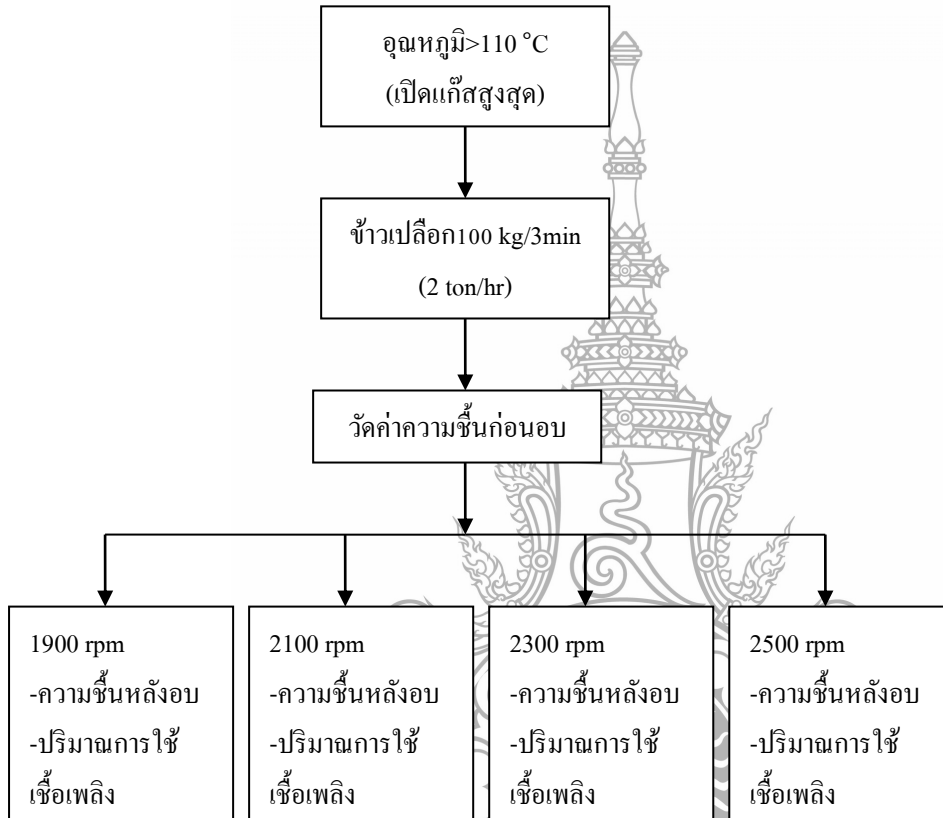


ภาพที่ 3.6 แสดงจุดวัดอุณหภูมิทางเข้าห้องอบ



3.5.2 การทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือก

เมื่อทำการทดสอบเบื้องต้นว่าเป็นไปตามที่ทำการคำนวณมาแล้ว จึงได้ทำการทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยมีวิธีการ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.7 แผนผังการดำเนินการทดสอบ

จากภาพที่ 3.6 ซึ่งมีรายละเอียดของการทดสอบดังต่อไปนี้

1. เตรียมข้าวเปลือกที่ความชื้นมากกว่า 25 %wb พร้อมทั้งทำการคลุกเพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสม่ำเสมอ แล้วนำไปใส่กระสอบๆ ละประมาณ 33.50 kg และวัดค่าความชื้นก่อนอบโดยวัดกระสอบละ 3 จุด หากว่าความชื้นของข้าวเปลือกที่จะนำมาทดสอบไม่สูงพอ ให้ทำการพรมน้ำแล้วทิ้งไว้หนึ่งคืนเพื่อเพิ่มความชื้นข้าวเปลือกให้ได้ตามต้องการ
2. เดินเครื่องยนต์เล็กขนาด 12 hp ที่เป็นต้นกำลังขับเคลื่อน โดยเร่งเครื่องที่ระดับ 1900 rpm ทำการเทข้าวลงไปเพื่อปรับใบปรับลม

3. ทำการชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดระดับน้ำมัน เปิดวาล์วแก๊สแล้วจุดไฟและวัดอุณหภูมิทางเข้าห้องอบ
4. ทำการป้อนข้าวโดยป้อนในอัตรา กระสอบละ 1 นาที่
5. วัดค่าความชื้นข้าวเปลือกหลังอบโดยวัดกระสอบละ 3 จุด
6. หลังจากทดลอง 1 ชั่วโมง ทำการดับเครื่องและปิดแก๊ส แล้วชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดระดับน้ำมัน
7. ทำการทดลองแบบเดิมจนครบ 3 ชั่วโมงเปลี่ยนความเร็วรอบในข้อ 2 เป็น 2100, 2300 และ 2500 rpm ตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำแบบเดิม

3.5.3 การทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้ง

เมื่อทราบปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกก่อนและหลัง การลดความชื้นผ่านห้องอบที่ความเร็วรอบต่างๆ แล้ว จะสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการอบแห้งที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ได้ โดยการคำนวณที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

3.5.3.1 การทดสอบหาอัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) ได้จากสมการ

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก (kg)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง}}$$

3.5.3.2 การหาอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER) ได้จากสมการ

$$\text{อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก (kg)}}{\text{พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}}$$

3.5.3.3 หาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ได้จากสมการ

$$\text{ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ} = \frac{(3.6) \text{ พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง (kJ)}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก (kg)}}$$



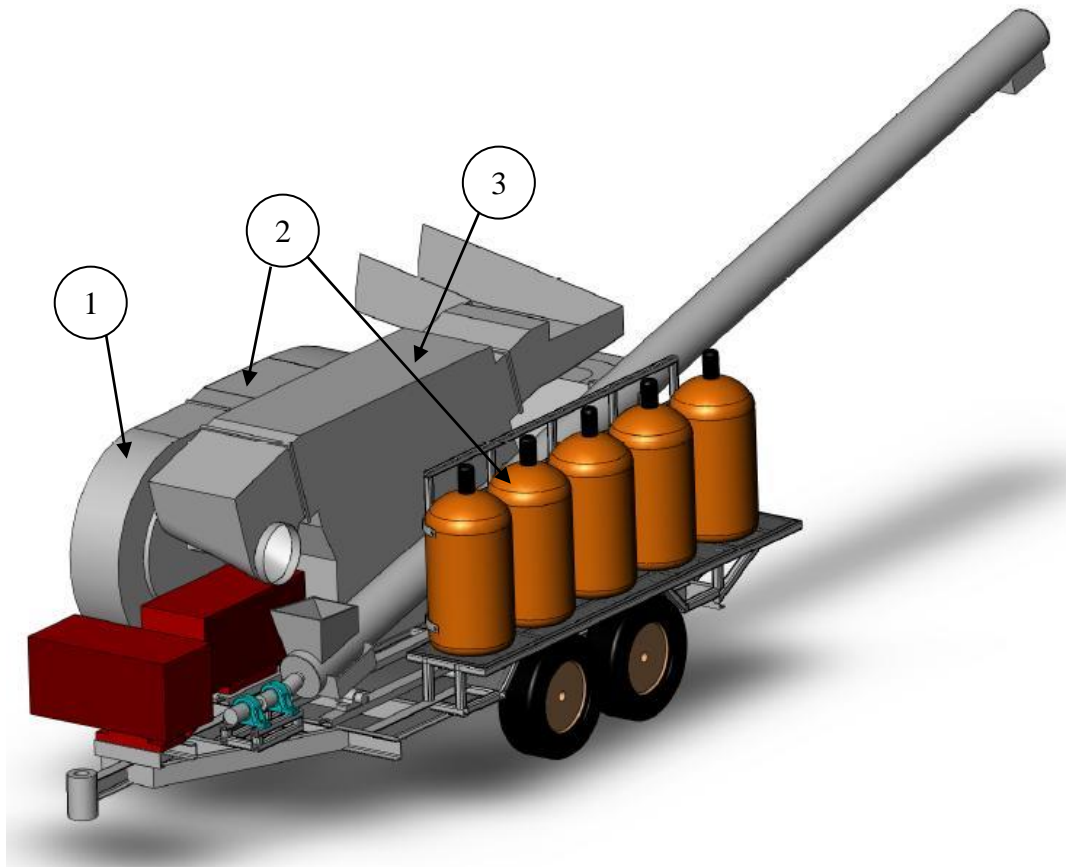
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์

จากการออกแบบและสร้างเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่อง โดยใช้แก๊ส แอล พี จี เป็นตัวให้ความร้อน และใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวเป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งต้องการอัตราการอบแห้ง 2000 kg/hr ได้ผลต่างๆ ดังนี้

4.1 ผลการดำเนินการออกแบบ

จากผลการออกแบบเครื่องลดความชื้นแบบไหลต่อเนื่อง มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ส่วนให้แรงดันลม ส่วนให้ความร้อน และห้องอบแห้ง ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ลักษณะการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบไหลต่อเนื่อง

1. ส่วนให้แรงดันลม จากการคำนวณในหัวข้อที่ 3.3 ได้อัตราการไหลของอากาศ $1.44 \text{ m}^3/\text{s}$ และปริมาณอากาศ 1.483 kg/s จึงได้เลือกใช้พัดลมรุ่น AV-3.5BCS-T ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 นิ้ว ความดันสถิต 9.05 นิ้วน้ำ ที่ปริมาณลม 4400 cfm แบบใบพัดโค้งหลัง โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว ขนาด 12 hp เป็นตัวขับพัดลม

2. ส่วนให้ความร้อน ใช้แก๊ส แอล พี จี จำนวน 5 ถัง และมีวาล์วควบคุมความดัน เพื่อควบคุมความดันแก๊สที่ใช้ในระบบ วาล์วกันกลับเพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สไหลย้อนกลับ และวาล์วกระจายแก๊สเพื่อให้แก๊สกระจายไปยังหัวเผาสม่ำเสมอ

3. ห้องอบแห้ง มีขนาดกว้าง 30 cm ยาว 150 cm สูง 50 cm โดยในส่วนของห้องอบแห้งประกอบด้วยใบปรับลม 2 ชั้น ซึ่งอยู่ทางด้านล่างของห้องอบไว้คอยปรับทิศทางลมให้เหมาะสม

4.2 ผลการดำเนินการสร้าง

ทำการดำเนินการสร้างตามผลที่ได้จากการออกแบบซึ่งมีลักษณะดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 4.2 ลักษณะการส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังพัดลม



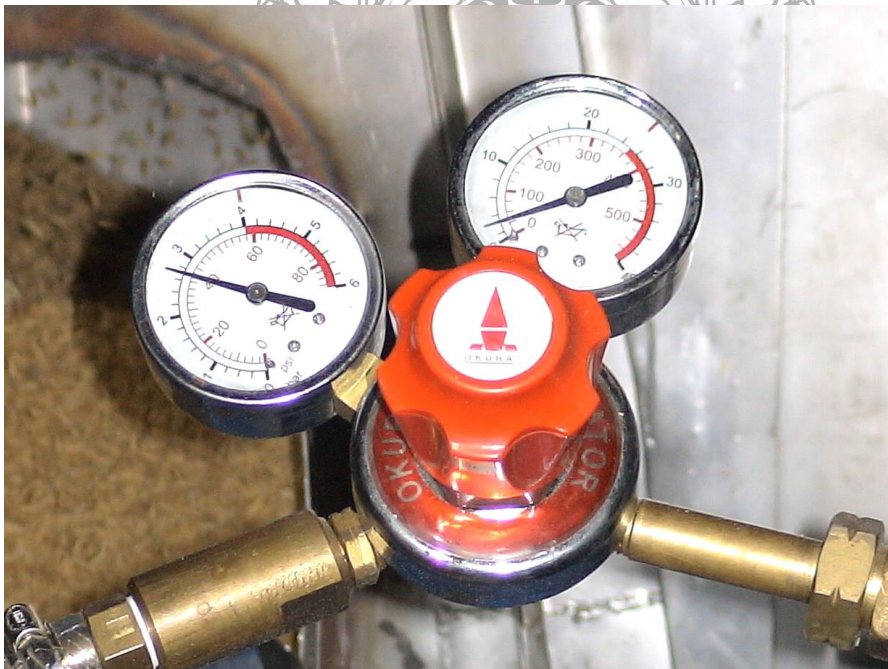
ภาพที่ 4.3 ลักษณะภายในห้องอบ



ภาพที่ 4.4 ลักษณะของใบปรับลม



ภาพที่ 4.5 ลักษณะการติดตั้งถังแก๊ส แอล พี จี

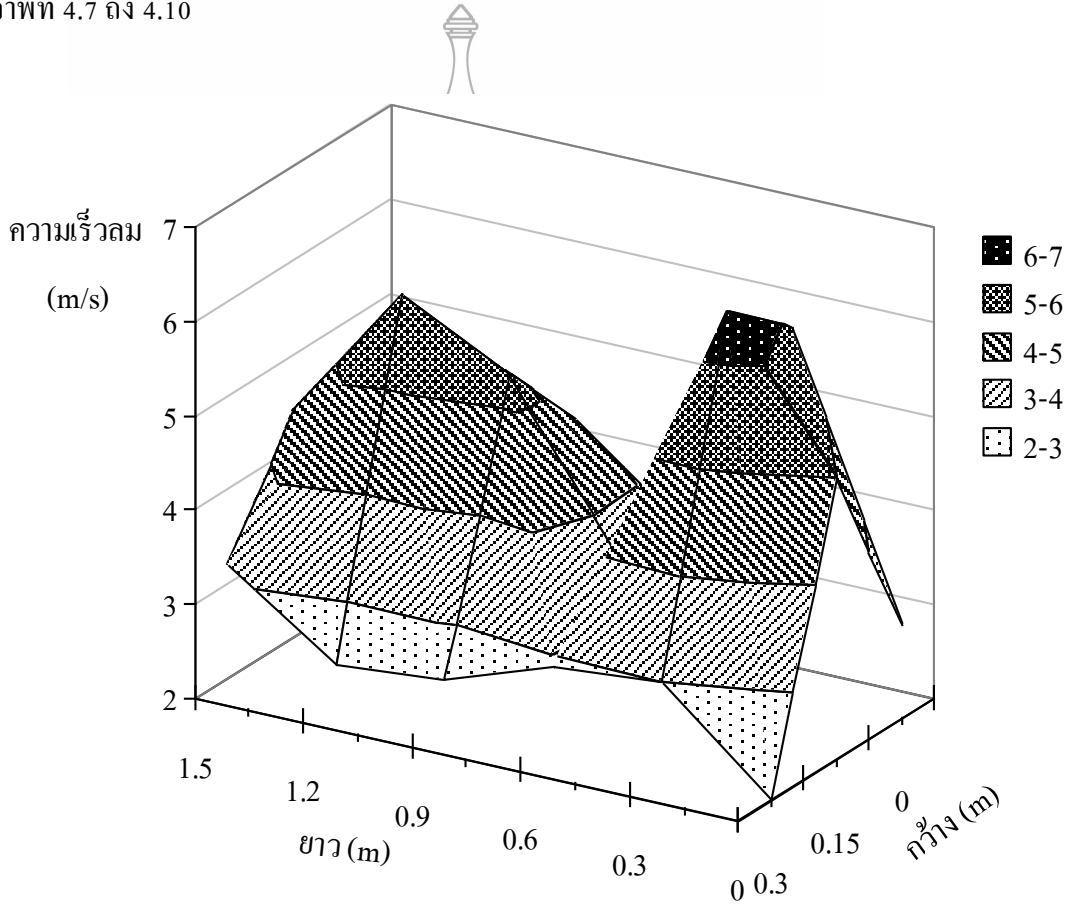


ภาพที่ 4.6 ลักษณะของวาล์วควบคุมความดัน

4.3 การทดสอบเบื้องต้น

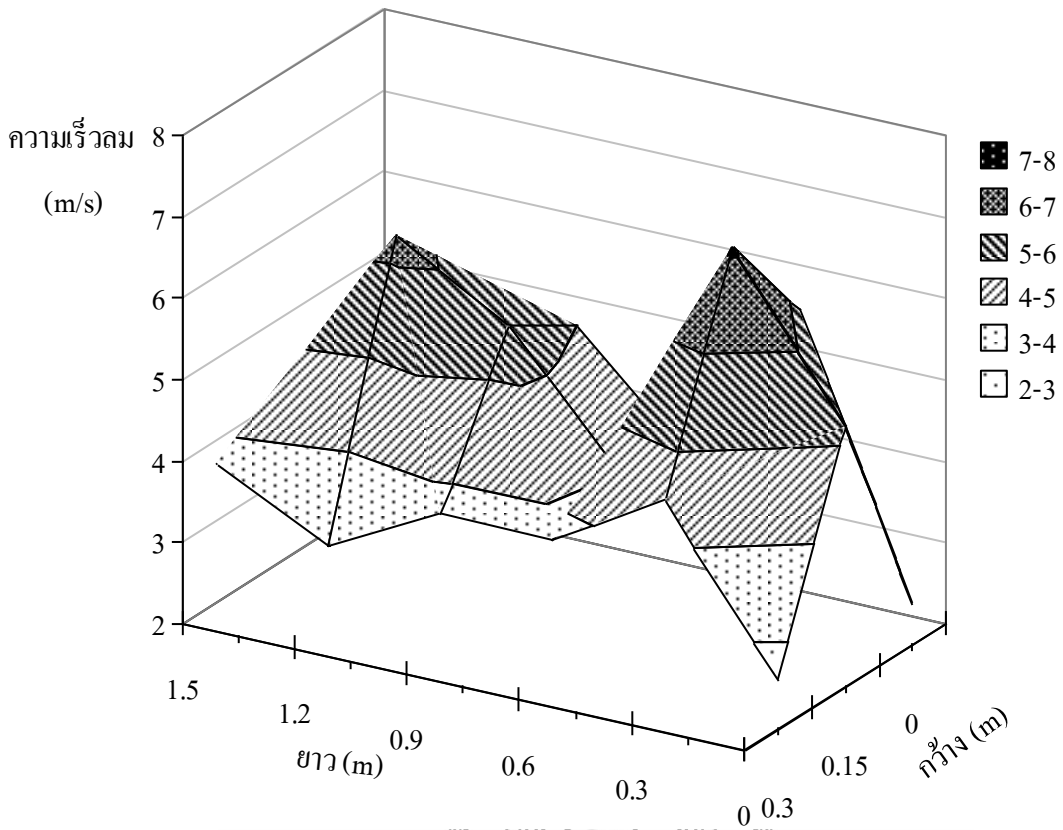
เมื่อดำเนินการสร้างแล้วเสร็จ จึงทำการทดสอบเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบว่าได้ผลตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ ซึ่งได้ผลทดสอบดังนี้

1. ส่วนให้แรงดันลม จากการวัดความเร็วลมบริเวณพื้นที่ทางเข้าห้องอบ 18 จุด ซึ่งได้แสดงตำแหน่งการวัดไว้ดังภาพที่ 3.5 ได้ผลการทดสอบของแต่ละความเร็วรอบดังแสดงภาพที่ 4.7 ถึง 4.10



ภาพที่ 4.7 รูปแบบความเร็วลมภายในห้องอบแห้งที่ความเร็วพัดลม 1900 rpm

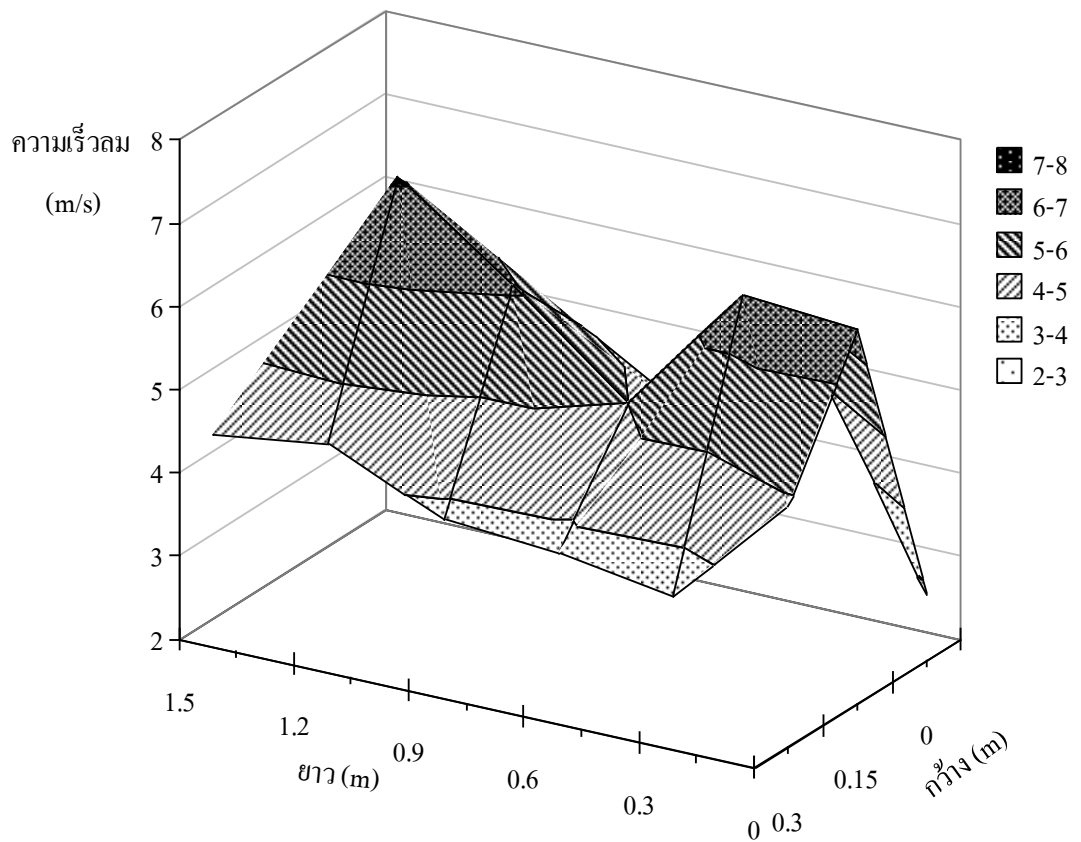
สำหรับที่ความเร็วพัดลม 1900 rpm มีค่าความเร็วลมเฉลี่ย 3.95 m/s และมีอัตราการไหลอากาศเฉลี่ย 1.77 m³/s



ภาพที่ 4.8 รูปแบบความเร็วมวลภายในห้องอบแห้งที่ความเร็วรอบพัดลม 2100 rpm

สำหรับที่ความเร็วพัดลม 2100 rpm มีค่าความเร็วมวลเฉลี่ย 4.29 m/s และมีอัตราการไหลอากาศเฉลี่ย 1.93 m³/s

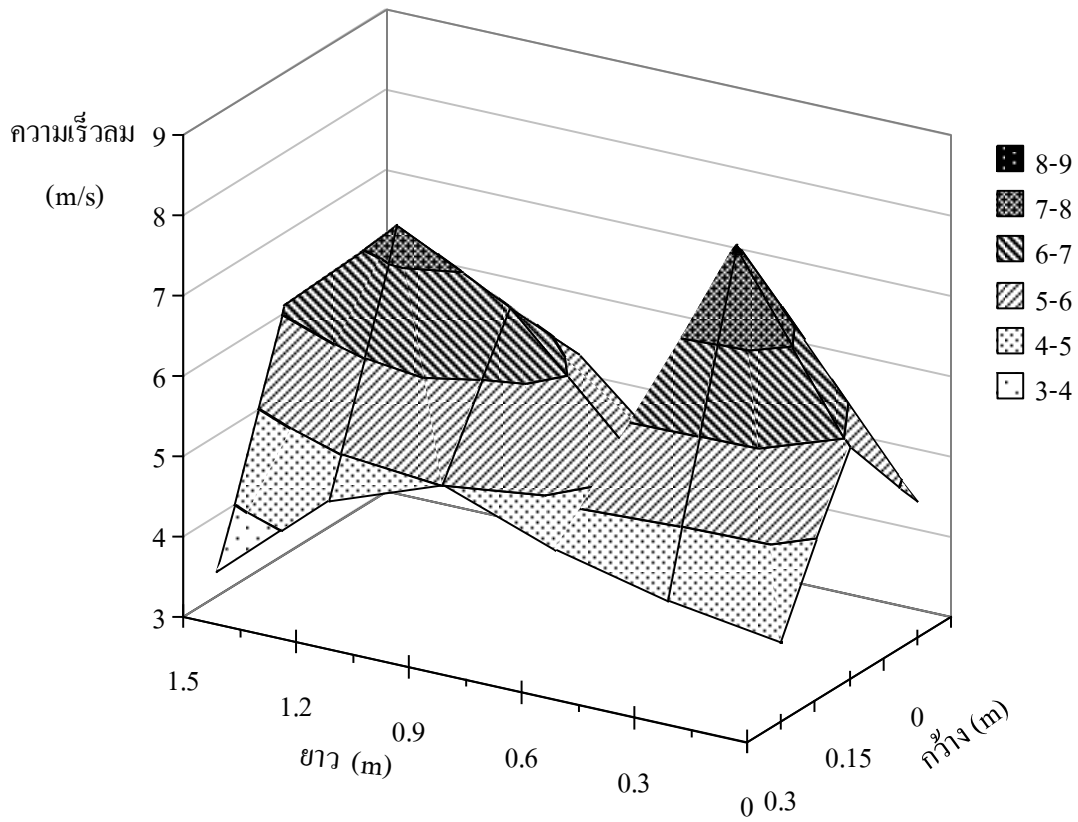




ภาพที่ 4.9 รูปแบบความเร็วลมภายในห้องอบแห้งที่ความเร็วรอบพัดลม 2300 rpm

สำหรับที่ความเร็วพัดลม 2300 rpm มีค่าความเร็วลมเฉลี่ย 4.78 m/s และมีอัตราการไหลอากาศเฉลี่ย 2.15 m³/s



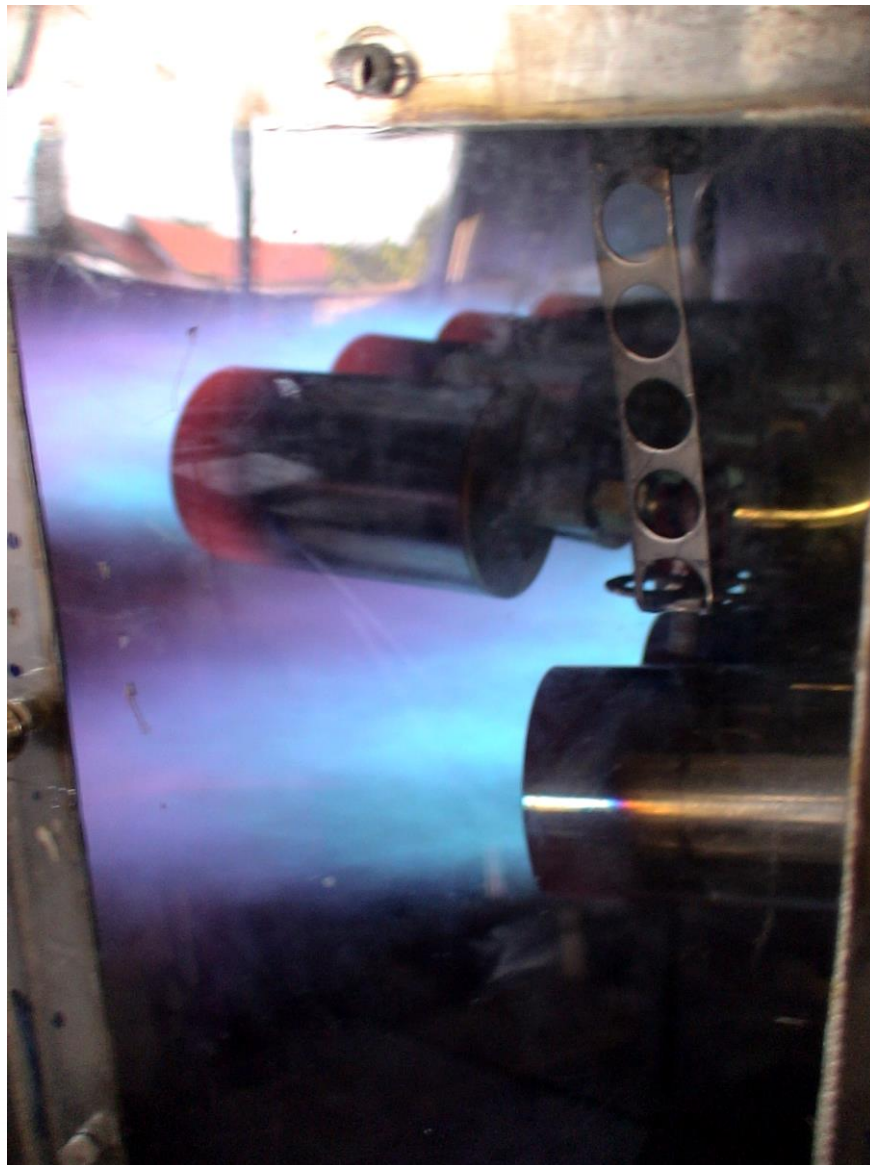


ภาพที่ 4.10 รูปแบบความเร็วลมภายในห้องอบแห้งที่ความเร็วรอบพัดลม 2500 rpm

สำหรับที่ความเร็วพัดลม 2500 rpm มีค่าความเร็วลมเฉลี่ย 5.27 m/s และมีอัตราการไหลอากาศเฉลี่ย 2.37 m³/s



2. ส่วนให้ความร้อน ใช้หัวเผาแก๊ส แอล พี จี จำนวน 8 หัว ที่ต่อมาจากถังแก๊ส โดยที่ความเร็วรอบ 1900, 2100, 2300 และ 2500 rpm สามารถทำอุณหภูมิได้ 138, 126, 118, และ 106 °C ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 100 – 150°C



ภาพที่ 4.11 ลักษณะการทำงานของหัวเผาแก๊ส แอล พี จี

3. ส่วนของห้องอบ จากการทดสอบป้อนข้าวเปลือกพบว่า ข้าวเปลือกไหลออกจากห้องอบเร็วเกินไปและเกิดการอุดตันที่บริเวณตะแกรงด้านบนของห้องอบ ทำให้ลมร้อนพาความชื้นออกไปได้น้อย จึงได้ทำการแก้ไขโดยเพิ่มขนาดความสูงของห้องอบเป็น 110 cm ซึ่งจากเดิมมีความสูง 50 cm เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการระบายความชื้นและระยะเวลาที่ข้าวเปลือกจะได้สัมผัสกับลมร้อนได้นานขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.12 – 4.13



ภาพที่ 4.12 ลักษณะของห้องอบที่ยังไม่ได้ทำการแก้ไข



ภาพที่ 4.13 ลักษณะของห้องอบที่ได้ทำการแก้ไข

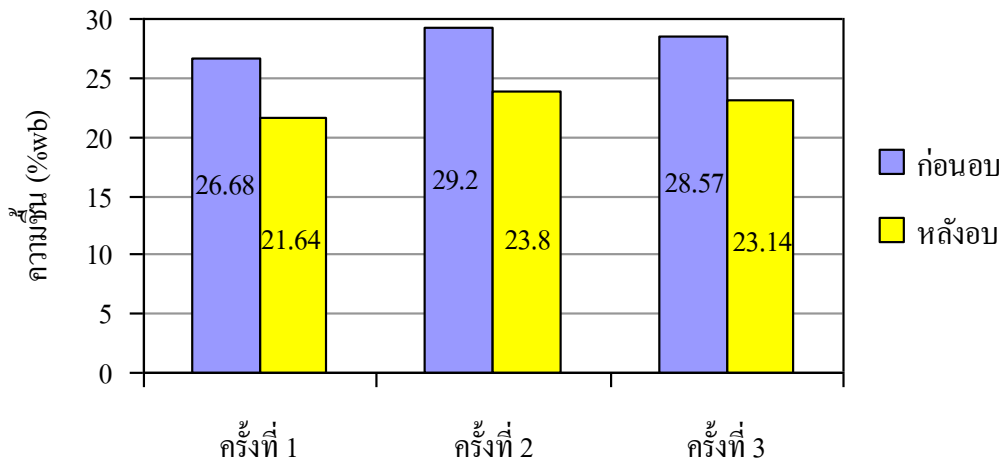
จากการดำเนินการแก้ไขพบว่า ข้าวเปลือกมีการกระจายตัวสัมผัสกับลมร้อนได้อย่างทั่วถึง ลมในห้องอบมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ดังแสดงภาพที่ 4.14



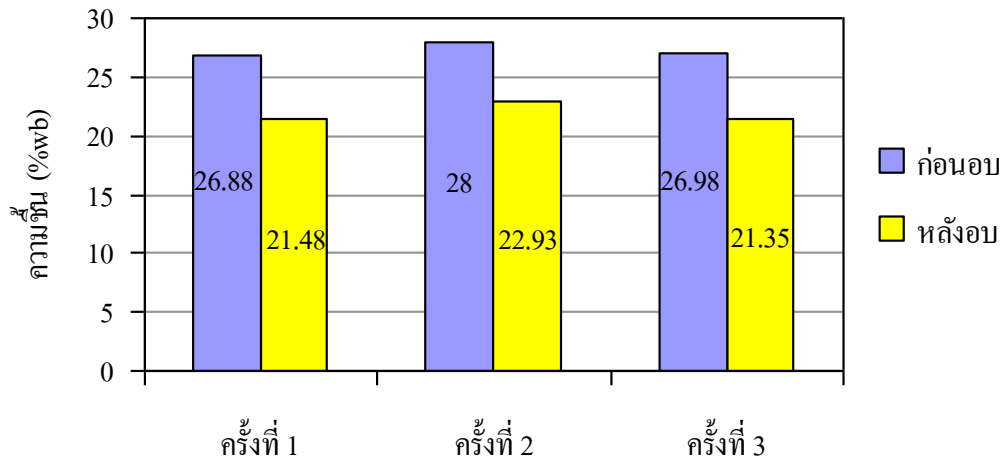
ภาพที่ 4.14 ลักษณะการกระจายตัวของข้าวเปลือก

4.4 ผลการทดสอบการลดความชื้น

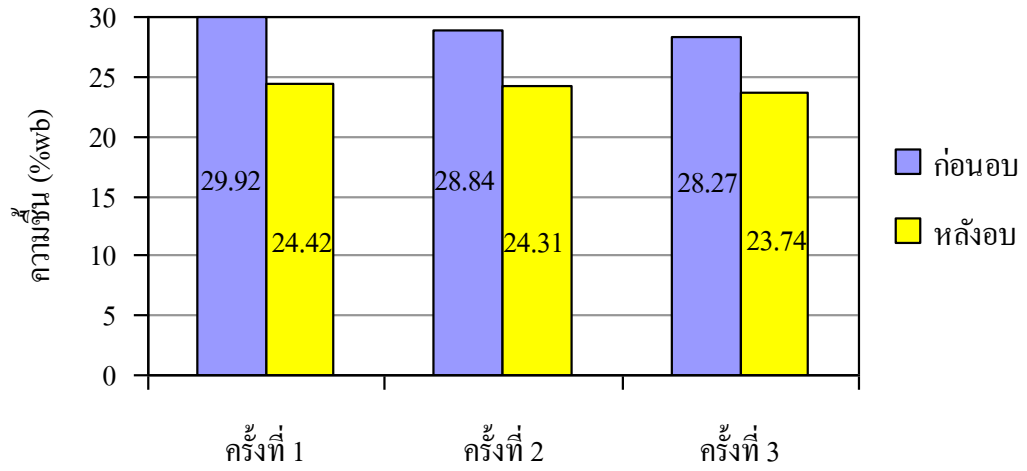
จากการทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือก ที่ความเร็วพัดลม 1900, 2100, 2300 และ 2500 rpm ได้ผลการทดสอบจาก 3 ชั่วโมงต่อความเร็วรอบ ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 4.15 - 4.19



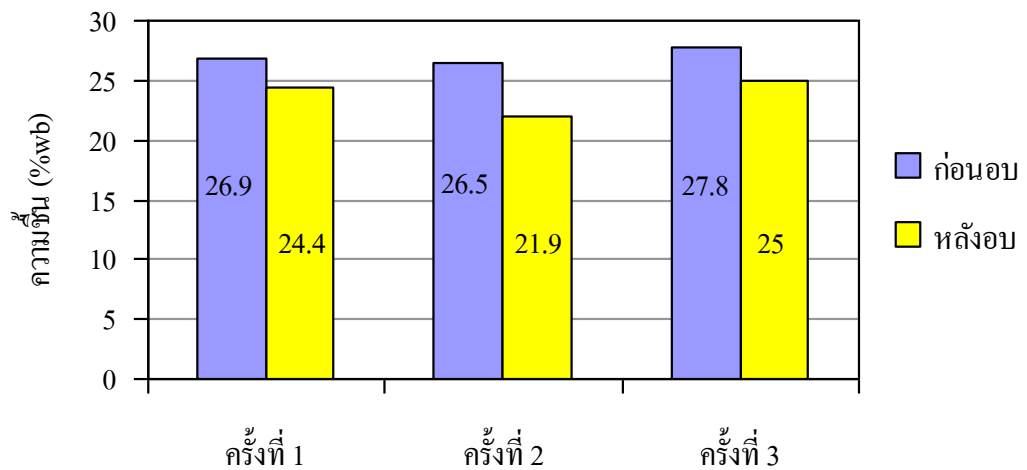
ภาพที่ 4.15 ผลการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วพัดลม 1900 rpm



ภาพที่ 4.16 ผลการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วพัดลม 2100 rpm

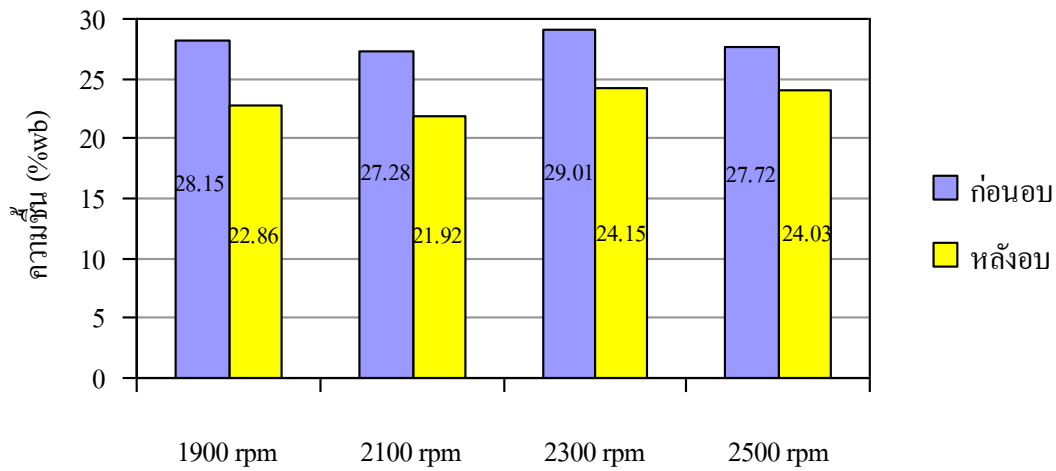


ภาพที่ 4.17 ผลการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วพัดลม 2300 rpm



ภาพที่ 4.18 ผลการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ความเร็วพัดลม 2500 rpm





ภาพที่ 4.19 ผลการทดสอบการลดความชื้นข้าวเปลือกเฉลี่ยที่ความเร็วพัดลมต่างๆ

จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าความชื้น พบว่าที่ความเร็วรอบ 2100 rpm สามารถลดความชื้นได้สูงสุด เพราะเวลาที่ความเร็วรอบต่ำกว่าทำให้ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบนานกว่าจึงสัมผัสกับอากาศร้อนได้นานกว่าที่ความเร็วรอบสูง และประกอบกับอุณหภูมิในรอบความเร็วต่ำจะสูงกว่าอุณหภูมิในรอบสูง ส่วนที่ความเร็วรอบ 1900 rpm ลดความชื้นได้น้อยกว่านั้นเนื่องจากแรงลมที่น้อยเกินไปทำให้ข้าวเปลือกเกิดการไหลไม่ดี มีการรวมกองกันเป็นผลให้ข้าวเปลือกสัมผัสกับอากาศร้อนไม่ทั่วถึง



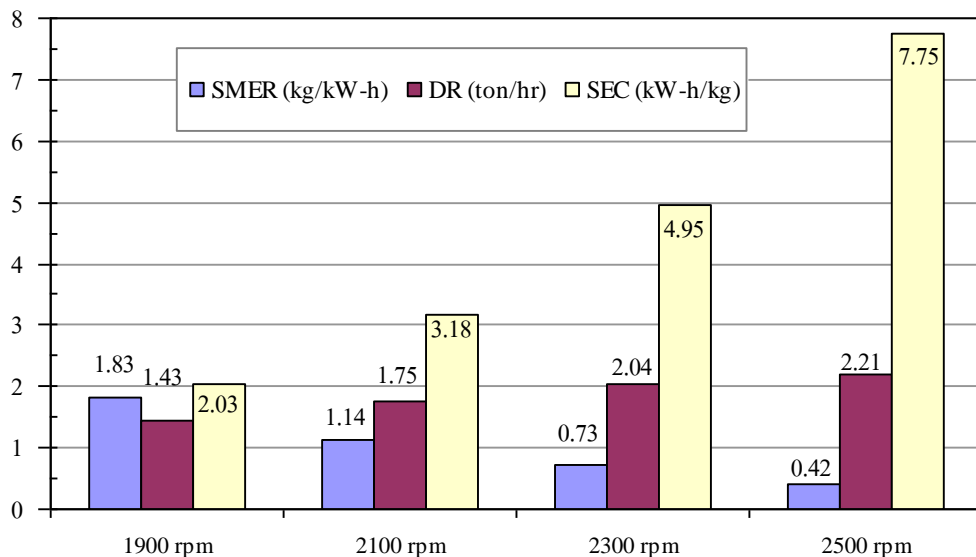
4.5 ผลการทดสอบสมรรถนะ

จากการทดสอบได้ผลทดสอบ ดัง ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องลดความชื้นแบบไหลต่อเนื่อง

| รายการ | ความเร็วพัดลม (rpm) | | | |
|-------------------------|---------------------|------|------|-------|
| | 1900 | 2100 | 2300 | 2500 |
| อุณหภูมิทางเข้า (°C) | 130 | 123 | 116 | 108 |
| เวลาในการอบ (min) | 4.13 | 3.26 | 2.58 | 2.43 |
| ปริมาณแก๊สที่ใช้ (kg) | 0.28 | 0.39 | 0.55 | 0.72 |
| ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (kg) | 0.05 | 0.07 | 0.13 | 0.17 |
| พลังงานที่ใช้ (kW-h) | 3.73 | 6.04 | 8.78 | 11.46 |
| ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg) | 6.72 | 6.85 | 6.42 | 4.8 |

จากตารางที่ 4.1 นำค่าที่ได้มาทำการหาค่า อัตราการควบแน่นน้ำจำเพาะ (SEC), อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (SMER) และอัตราการอบแห้ง (DR) ได้ผลดังภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 การเปรียบเทียบค่า SMER, SEC และ DR ที่ความเร็วรอบพัดลมต่างๆ จากภาพที่ 4.20 จะเห็นว่าอัตราการควบแน่นน้ำจำเพาะ (SMER) และอัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) นั้นมีแนวโน้มตรงข้ามกันเพราะ มีค่าผกผันกัน และจะเห็นว่าค่า SEC และ DR จะเพิ่มขึ้นและลดลงตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์

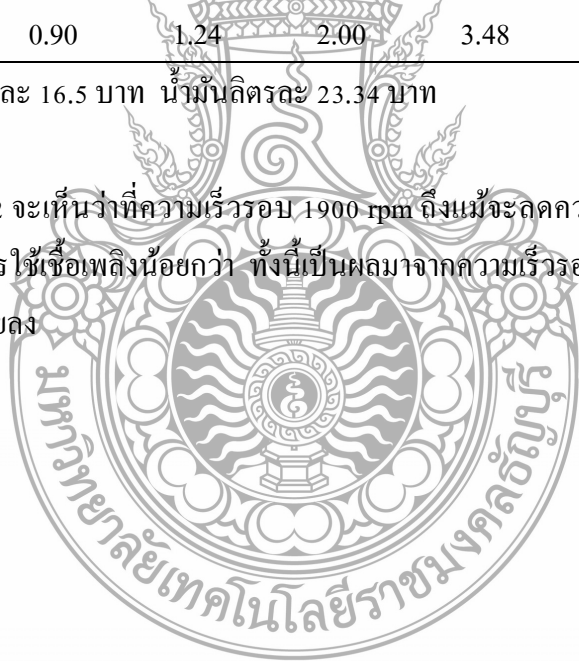
4.6 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

| รายการ | ความเร็วพัดลม (rpm) | | | |
|-----------------------------|---------------------|-------|-------|-------|
| | 1900 | 2100 | 2300 | 2500 |
| อุณหภูมิทางเข้า (°C) | 130 | 123 | 116 | 108 |
| ปริมาณแก๊สที่ใช้ (kg) | 0.28 | 0.39 | 0.55 | 0.72 |
| ค่าแก๊สที่ใช้ (บาท) | 4.62 | 6.43 | 9.01 | 11.88 |
| ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (lt) | 0.062 | 0.087 | 0.16 | 0.21 |
| ค่าน้ำมันที่ใช้ (บาท) | 1.45 | 2.03 | 3.73 | 4.9 |
| ราคารวม (บาท) | 6.07 | 8.46 | 12.74 | 16.78 |
| ปริมาณน้ำระเหย (kg) | 6.72 | 6.85 | 6.42 | 4.8 |
| ค่าใช้จ่ายรวม / กก.น้ำระเหย | 0.90 | 1.24 | 2.00 | 3.48 |

หมายเหตุ แก๊สราคา กิโลกรัมละ 16.5 บาท น้ำมันลิตรละ 23.34 บาท

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบ 1900 rpm ถึงแม้จะลดความชื้นได้มากเท่ากับที่ 2100 rpm แต่มีการใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากความเร็วรอบที่ต่ำทำให้มีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่น้อยลง



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่อง โดยใช้ แก๊ส แอล พี จี เป็นตัวให้ความร้อน ได้ห้องอบแห้งที่มีขนาด กว้าง 30 cm ยาว 150 cm และสูง 110 cm ใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวขนาด 12 แรงม้า เป็นต้นกำลังของพัดลม สำหรับระบบให้ความร้อนใช้แก๊ส แอล พี จี จำนวน 5 ถัง สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 130°C ที่ความเร็วรอบพัดลม 1900 rpm โดยตัวเครื่องมีขนาดโดยรวม กว้าง 180 cm ยาว 350 cm สูง 210 cm และที่ความเร็วรอบพัดลม 2500 rpm มีอัตราการอบแห้งสูงสุด คือ 2212 kg/hr

เนื่องจากอัตราการขนถ่ายข้าวเปลือกจากเครื่องเกี่ยวขนาดไปยังรถบรรทุกประมาณ 2000 kg/hr จึงได้ทำการทดสอบที่อัตราการอบแห้ง 2000 kg/hr ได้ความเร็วรอบพัดลมที่เหมาะสมคือ 2300 rpm ทำอุณหภูมิได้ 116°C มีอัตราการไหลอากาศเฉลี่ย $2.15 \text{ m}^3/\text{s}$ มีความเร็วอากาศเข้าเครื่องอบเฉลี่ย 4.78 m/s สามารถลดความชื้นได้ 4.86%wb มีค่า SMER 0.73 kg/kW-h ค่า SEC 4.95 MJ/kg และค่า DR 2040 kg/hr ตามลำดับ มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลดความชื้น คือ 2 บาท/ กิโลกรัมน้ำระเหย หรือมีค่าใช้จ่ายเป็นค่าเชื้อเพลิงทั้งหมด 127.4 บาท/ตันข้าวเปลือก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการปรับปรุงตรงช่องป้อนข้าวเปลือกให้มีมุมเอียงมากกว่าเดิม หรือมีชุดป้อนข้าวเปลือกเข้าเครื่องอัตโนมัติ เนื่องจากแบบเดิมการไหลเข้าห้องอบของข้าวเปลือกเป็นไปได้ช้า
2. ถ้าสามารถนำอุณหภูมิที่ปล่อยทิ้งไปกลับมานำใช้ใหม่ได้ก็จะเป็นการช่วยลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงได้



เอกสารอ้างอิง

- การุณ เลาะมาน. 2548. คุณลักษณะเครื่องอบแห้งแบบหมุนควงโดยมีผิวลูกคลื่น. ปรินญา
วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 18 น.
- กิตติ อินทรานนท์. 2529. การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสำหรับช่างอุตสาหกรรม.
สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดบุ๊กส์, กรุงเทพฯ. 276 น.
- งามชื่น คงเสรี. 2539. คุณภาพข้าวและผลิตภัณฑ์. การสัมมนาวิชาการครบรอบ 80 ปี
ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี วันที่ 13-14 พฤศจิกายน 2539 : 241-259 น.
- ชัยวัฒน์ โกศลศิริ. 2546. งานชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.
198 น.
- ชอบ ลายทอง. 2530. การศึกษาคุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ความร้อนของข้าวเปลือก. วิทยานิพนธ์
ศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 76 น.
- นิรนาม. 2521. คู่มือวิศวกรเครื่องกล. บริษัท เอ็มแอนด์ดี จำกัด, กรุงเทพฯ. 132-151 น.
- บุญหงส์ จงคิด. 2547. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,
กรุงเทพฯ. 5 น.
- ไพโรบลย์ หังสพฤกษ์ และเฮอิช โซโต. 2543. การปรับอากาศ. สำนักพิมพ์ดวงกมล(2520),
กรุงเทพฯ. 187-202 น.
- มนตรี พิรุณเกษตร. 2545. อุณหพลศาสตร์ (เล่ม 1). บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
193,445,446 น.

- วิบูลย์ อ้อมนอก และสุรชัย วาริชนันท์. 2545. การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้พลังงานจากเครื่องยนต์สันดาปภายในร่วมกับหัวเผาแก๊ส แอล พีจี. วิทยานิพนธ์บัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ปทุมธานี.
- สิทธิพร พึ่งใหญ่. 2546. พื้นฐานอุณหพลศาสตร์- กลศาสตร์ของไหล. ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ. 14, 363 น.
- ศุคนันท์ ศรีงาม. 2539. กระบวนการทำแห้งอาหาร. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 164-172 น.
- สุชาติ สุทธิเจริญพานิชย์. 2541. การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคเป่าเต็ดเบดสองมิติ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 70 น.
- สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 63-83 น.
- สมศักดิ์ ดำรงเลิศ. 2523. เทคโนโลยีทางอาหารและเชื้อเพลิง. ผลงานวิจัยลงพิมพ์ในวารสารเคมีวิศวกรรม ปีที่ 2 ฉบับที่ 2.
- อิสเรศ รุชกัลยา. 2543. การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 163 น.
- อนุตร จำลองกุล. 2543. เครื่องสูบ เครื่องอัด พัดลม. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, ปทุมธานี. 39-50 น.
- Juliano, J.B. 1980. Morphology of *Oryza sativa* Linnaeus. Philipp Agric 26. 1-134 p.
- Kunii, D. Levenspiel, O. 1969. Fluidization Engineering. John Wiley and Toppan. pp.

Pinchbeck,P.H. and Popper, F. 1956. Chem.Eng. Sci. 6,57p.

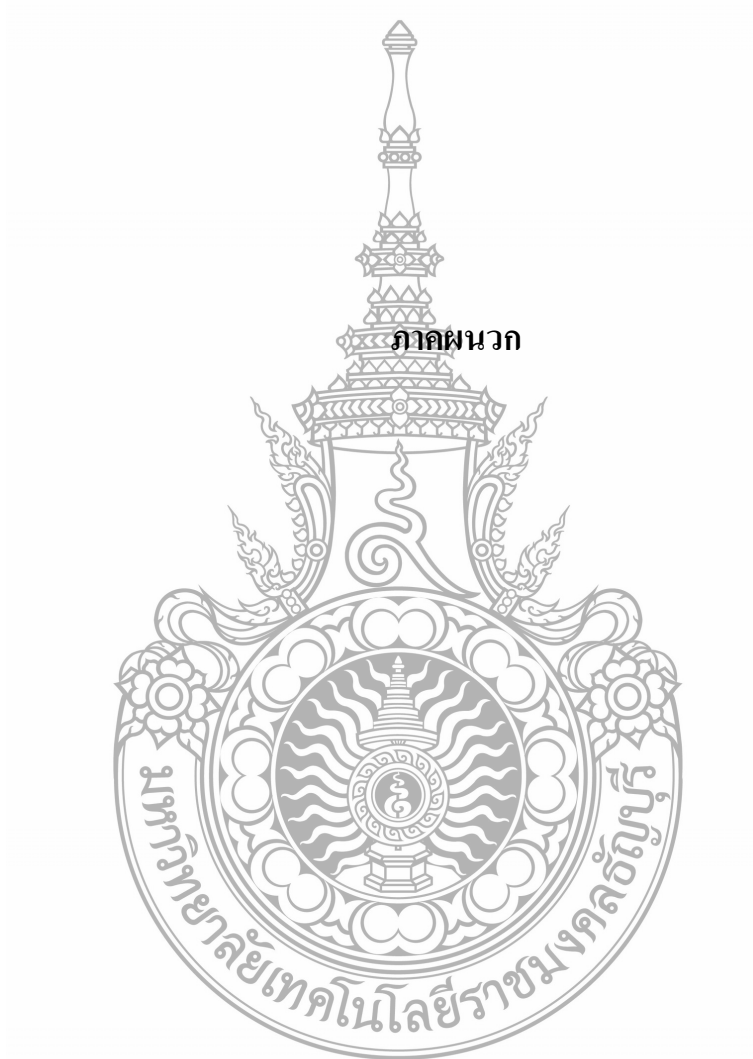
WEN,C.Y. and YU, Y.H. 1966. A.I. CH.E.Joural.

Yunus, A. and Michael, A. 2002. Thermodynamics an engineering approach. 4th ed
McGraw-Hill, New York. 826 p.

Zenz ,F.A., Othmer ,D.F. 1960. Fluidizaion and Fluid-Particle. ReinHold Publishing
Corp.N.Y.









ภาคผนวก ก

ตารางผนวกที่ ก.1 ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1900 rpm

| รายการ | ผลความชื้นจากการทดสอบ (%wb) | | | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | ครั้งที่ 1 | | ครั้งที่ 2 | | ครั้งที่ 3 | |
| | ก่อนอบ | หลังอบ | ก่อนอบ | หลังอบ | ก่อนอบ | หลังอบ |
| กระสอบที่ 1 | 27.4 | 21.3 | 28.5 | 22.6 | 27.8 | 23.1 |
| | 26.9 | 19.3 | 28.2 | 24.8 | 28.9 | 24.6 |
| | 27.8 | 20.6 | 29.6 | 24.3 | 27.5 | 23.5 |
| กระสอบที่ 2 | 27.0 | 22.0 | 27.5 | 22.3 | 26.2 | 22.7 |
| | 27.2 | 23.6 | 26.9 | 23.5 | 28.3 | 23.8 |
| | 26.5 | 23.4 | 29.3 | 24.1 | 29.6 | 24.0 |
| กระสอบที่ 3 | 25.7 | 21.2 | 30.8 | 26.3 | 29.0 | 23.6 |
| | 25.5 | 21.6 | 33.4 | 22.6 | 29.6 | 21.2 |
| | 26.2 | 21.8 | 28.6 | 23.7 | 30.3 | 21.8 |
| เฉลี่ย | 26.68 | 21.64 | 29.20 | 23.80 | 28.57 | 23.14 |

อุณหภูมิทางเข้า 3 จุด 128°C 129°C 133°C
 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 39.8%RH
 ความเร็วลมทั้ง 18 จุด (m/s) ตั้งตำแหน่งในภาพที่ 3.5

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2.0 | 3.0 | 2.9 | 2.5 | 2.4 | 3.2 |
| 5.0 | 6.5 | 3.6 | 5.3 | 5.9 | 4.4 |
| 3.0 | 5.9 | 3.5 | 4.4 | 4.0 | 3.7 |

ตารางผนวกที่ ก.2 ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rpm

| รายการ | ผลความชื้นจากการทดสอบ (%wb) | | | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | ครั้งที่ 1 | | ครั้งที่ 2 | | ครั้งที่ 3 | |
| | ก่อนอบ | หลังอบ | ก่อนอบ | หลังอบ | ก่อนอบ | หลังอบ |
| กระสอบที่ 1 | 25.5 | 21.1 | 29.4 | 23.0 | 25.3 | 21.6 |
| | 27.3 | 23.6 | 28.5 | 23.2 | 25.9 | 20.4 |
| | 27.6 | 22.0 | 29.6 | 21.5 | 26.2 | 20.3 |
| กระสอบที่ 2 | 25.8 | 18.1 | 26.3 | 22.8 | 28.0 | 23.7 |
| | 25.4 | 20.0 | 26.3 | 21.5 | 27.6 | 23.7 |
| | 26.8 | 21.3 | 27.1 | 22.4 | 28.8 | 23.5 |
| กระสอบที่ 3 | 27.7 | 21.4 | 27.7 | 19.8 | 26.7 | 17.1 |
| | 27.2 | 23.8 | 29.2 | 22.8 | 27.0 | 21.1 |
| | 28.7 | 22.1 | 27.9 | 20.4 | 27.4 | 20.8 |
| เฉลี่ย | 26.88 | 21.48 | 28.0 | 22.93 | 26.98 | 21.35 |

อุณหภูมิทางเข้า 3 จุด 120°C 122°C 126°C
 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 43.7%RH
 ความเร็วลมทั้ง 18 จุด (m/s) ดังตำแหน่งในภาพที่ 3.5

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2.6 | 4.5 | 3.7 | 3.7 | 3.0 | 3.7 |
| 5.2 | 7.1 | 4.0 | 5.5 | 6.3 | 4.0 |
| 2.5 | 5.8 | 3.7 | 5.0 | 3.6 | 3.4 |

ตารางผนวกที่ ก.3 ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2300 rpm

| รายการ | ผลความชื้นจากการทดสอบ (%wb) | | | | | |
|-------------|-----------------------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | ครั้งที่ 1 | | ครั้งที่ 2 | | ครั้งที่ 3 | |
| | ก่อนอบ | หลังอบ | ก่อนอบ | หลังอบ | ก่อนอบ | หลังอบ |
| กระสอบที่ 1 | 30.9 | 24.7 | 29.3 | 25.8 | 28.8 | 25.8 |
| | 30.4 | 26.9 | 28.8 | 25.2 | 27.3 | 25.4 |
| | 29.6 | 23.1 | 28.4 | 24.3 | 29.7 | 24.2 |
| กระสอบที่ 2 | 30.1 | 24.7 | 29.6 | 23.6 | 29.6 | 23.8 |
| | 30.1 | 25.3 | 30.3 | 24.6 | 27.2 | 24.2 |
| | 31.5 | 24.6 | 29.8 | 23.7 | 29.3 | 22.7 |
| กระสอบที่ 3 | 29.1 | 24.0 | 27.9 | 23.5 | 27.1 | 23.5 |
| | 28.0 | 23.8 | 28.3 | 24.4 | 27.4 | 22.7 |
| | 29.6 | 22.7 | 27.2 | 23.7 | 28.6 | 21.4 |
| เฉลี่ย | 29.92 | 24.42 | 28.84 | 24.31 | 28.27 | 23.74 |

อุณหภูมิทางเข้า 3 จุด 110°C 114°C 115°C
 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 44.7%RH
 ความเร็วลมทั้ง 18 จุด (m/s) ตั้งตำแหน่งในภาพที่ 3.5

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 4.9 | 3.5 | 3.7 | 3.8 | 4.4 | 4.2 |
| 6.5 | 6.6 | 5.0 | 6.1 | 7.1 | 4.5 |
| 2.8 | 5.4 | 4.3 | 5.1 | 4.0 | 4.3 |

ตารางผนวกที่ ก.4 ผลการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2500 rpm

| รายการ | ผลความชื้นจากการทดสอบ (%wb) | | | | | |
|------------|-----------------------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | ครั้งที่ 1 | | ครั้งที่ 2 | | ครั้งที่ 3 | |
| | ก่อนอบ | หลังอบ | ก่อนอบ | หลังอบ | ก่อนอบ | หลังอบ |
| ทดสอบที่ 1 | 28.9 | 24.5 | 27.0 | 25.5 | 29.8 | 24.0 |
| | 29.9 | 26.1 | 28.5 | 23.4 | 27.2 | 24.1 |
| | 28.5 | 24.3 | 28.1 | 23.6 | 27.4 | 23.3 |
| ทดสอบที่ 2 | 28.7 | 24.6 | 26.3 | 22.1 | 28.3 | 25.4 |
| | 28.3 | 25.4 | 29.4 | 23.0 | 26.7 | 24.8 |
| | 27.4 | 24.2 | 27.4 | 23.9 | 28.6 | 22.6 |
| ทดสอบที่ 3 | 26.9 | 24.4 | 26.5 | 21.9 | 27.8 | 25.0 |
| | 25.7 | 25.8 | 27.0 | 22.3 | 25.9 | 24.2 |
| | 26.3 | 23.6 | 28.7 | 21.4 | 27.4 | 25.7 |
| เฉลี่ย | 27.84 | 24.76 | 27.65 | 23.01 | 27.67 | 24.34 |

อุณหภูมิทางเข้า 3 จุด 106°C 107°C 111°C
 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 51.3%RH
 ความเร็วลมทั้ง 18 จุด (m/s) ดังตำแหน่งในภาพที่ 3.5

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 4.0 | 4.2 | 4.5 | 5.0 | 4.5 | 3.3 |
| 5.9 | 8.1 | 5.3 | 6.7 | 7.4 | 6.1 |
| 4.7 | 6.4 | 4.4 | 5.6 | 4.4 | 4.4 |

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

| ประเภทของแหล่งพลังงาน และเชื้อเพลิง | ค่าความร้อน (Kcal / Unit) |
|--|--|
| 1. เชื้อเพลิงไม้ | 3218 / kg |
| 2. ถ่านหิน | 6900 / kg |
| 3. แกลบ | 1400 / kg |
| 4. ชานอ้อย | 1910 / kg |
| 5. LPG | 11154 / kg |
| 6. แก๊สโซลีน | 43500 / kg |
| 7. ดีเซล | 9371 / kg |
| 8. น้ำมันก๊าด | 9280 / kg |
| 9. น้ำมันดิบ | 9193 / kg |
| 10. พลังงานไฟฟ้าจาก พลังงานน้ำ | 2605 / kg 252 / scf |
| 11. แก๊สธรรมชาติ | 2605 / kWh |
| 12. ขยะแห้ง | 5500 m ³ |
| 13. แก๊สชีวภาพ | 2605 / kWh |
| 14. หินน้ำมัน | 5374 / lt |
| 15. แอลกอฮอล์ | 405.72 / เชื้อเพลิงไม้ 1 m ³ |
| 16. ไม้ไผ่เร็ว | เท่ากับน้ำมันดิบ 58.133 lt/ m ³ |
| 17. พลังงานแสงอาทิตย์ | |

ตารางผนวกที่ ข.2 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศ

| A Tr K | ρ kg/m ³ | C _p kJ/kg.K | $\mu \cdot 10^6$ N.g/m ² | $r \cdot 10^6$ m ² /s | $k \cdot 10^3$ W/m.k | $\alpha \cdot 10^6$ m ² /s | Pr |
|-----------|-----------------------------|---------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------|--|-------|
| 100 | 3.5562 | 1.032 | 71.1 | 2.00 | 9.34 | 2.54 | 0.786 |
| 150 | 2.3364 | 1.012 | 103.4 | 4.426 | 13.8 | 5.84 | 0.758 |
| 200 | 1.7458 | 1.007 | 132.5 | 7.590 | 18.1 | 10.3 | 0.737 |
| 250 | 1.3947 | 1.006 | 159.6 | 11.44 | 22.3 | 15.9 | 0.720 |
| 300 | 1.1614 | 1.007 | 184.6 | 15.89 | 26.3 | 22.5 | 0.707 |
| 350 | 0.995 | 1.009 | 208.2 | 20.92 | 30.0 | 29.9 | 0.700 |
| 400 | 0.8711 | 1.014 | 230.1 | 26.41 | 33.8 | 38.3 | 0.690 |
| 450 | 0.7740 | 1.021 | 250.7 | 32.39 | 37.3 | 47.2 | 0.686 |
| 500 | 0.6964 | 1.030 | 270.1 | 38.79 | 40.7 | 56.7 | 0.684 |
| 550 | 0.6329 | 1.040 | 228.4 | 45.57 | 43.9 | 66.7 | 0.683 |
| 600 | 0.5804 | 1.051 | 305.8 | 52.69 | 46.9 | 76.9 | 0.685 |
| 650 | 0.5356 | 1.053 | 322.5 | 60.21 | 49.7 | 87.3 | 0.690 |
| 700 | 0.4975 | 1.075 | 338.8 | 68.10 | 52.4 | 98.0 | 0.695 |
| 750 | 0.4643 | 1.087 | 354.6 | 76.37 | 54.9 | 109 | 0.702 |
| 800 | 0.4354 | 1.099 | 369.8 | 84.93 | 57.3 | 120 | 0.709 |
| 850 | 0.4097 | 1.110 | 384.3 | 93.80 | 59.6 | 131 | 0.716 |
| 900 | 0.3868 | 1.121 | 398.1 | 102.9 | 62.0 | 143 | 0.720 |
| 950 | 0.3666 | 1.131 | 411.3 | 112.2 | 64.3 | 155 | 0.723 |
| 1000 | 0.3482 | 1.141 | 424.4 | 121.9 | 66.7 | 156 | 0.726 |
| 1100 | 0.3166 | 1.159 | 449.0 | 141.8 | 71.5 | 195 | 0.728 |
| 1200 | 0.2902 | 1.175 | 473.0 | 162.9 | 76.3 | 224 | 0.728 |
| 130 | 0.2679 | 1.189 | 496.0 | 185.1 | 82 | 238 | 0.719 |
| 1400 | 0.2488 | 1.207 | 530 | 213 | 91 | 303 | 0.703 |
| 1500 | 0.2322 | 1.230 | 557 | 240 | 100 | 350 | 0.685 |
| 1600 | 0.2177 | 1.248 | 584 | 268 | 106 | 390 | 0.688 |
| 1700 | 0.2049 | 1.267 | 611 | 298 | 113 | 435 | 0.685 |

ตารางผนวกที่ ข.3 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของอากาศ (ต่อ)

| ATr K | ρ kg/m ³ | C _p kJ/kg.K | μ ⁶ N.g/m ² | $r \cdot 10^6$ m ² /s | $k \cdot 10^3$ W/m.k | $\alpha \cdot 10^6$ m ² /s | Pr |
|----------|-----------------------------|---------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------|--|-------|
| 1800 | 0.1935 | 1.286 | 637 | 329 | 120 | 482 | 0.683 |
| 1900 | 0.1833 | 1.307 | 663 | 382 | 128 | 534 | 0.677 |
| 2000 | 0.1741 | 1.337 | 689 | 396 | 137 | 589 | 0.672 |
| 2100 | 0.1658 | 1.372 | 715 | 431 | 147 | 646 | 0.667 |
| 2200 | 0.1582 | 1.417 | 740 | 468 | 160 | 714 | 0.655 |
| 2300 | 0.1513 | 1.478 | 766 | 506 | 175 | 783 | 0.647 |
| 2400 | 0.1448 | 1.558 | 792 | 547 | 196 | 869 | 0.630 |
| 2500 | 0.1389 | 1.665 | 818 | 589 | 222 | 960 | 0.613 |
| 3000 | 0.1135 | 2.726 | 955 | 841 | 486 | 1570 | 0.536 |

ตารางผนวกที่ ข.4 ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของอากาศที่ความดันบรรยากาศมาตรฐาน(ระบบSI)

| อุณหภูมิ (°C) | ความหนาแน่น, ρ (kg/m ³) | น้ำหนักจำเพาะ, γ (N/m ³) | ความหนืดพลศาสตร์, μ ($\times 10^{-5}$ N-s/m ²) | ความหนืดจลน์, ν ($\times 10^{-5}$ m ² /s) |
|------------------|---|--|--|--|
| 0 | 1.29 | 12.7 | 1.72 | 1.33 |
| 10 | 1.25 | 12 | 1.77 | 1.42 |
| 20 | 1.20 | 11.8 | 1.81 | 1.51 |
| 30 | 1.16 | 11.4 | 1.86 | 1.60 |
| 40 | 1.13 | 11.0 | 1.91 | 1.69 |
| 50 | 1.09 | 10.7 | 1.95 | 1.79 |
| 60 | 1.06 | 10.4 | 1.99 | 1.89 |
| 70 | 1.03 | 10.1 | 2.04 | 1.99 |
| 80 | 1.00 | 9.80 | 2.09 | 2.09 |
| 90 | 0.972 | 9.53 | 2.13 | 2.19 |
| 100 | 0.946 | 9.28 | 2.17 | 2.30 |

ที่มา : สิทธิพร ,2546

ตารางผนวกที่ ข.5 คุณสมบัติของแก๊ส แอลพีจี (โพรเพน : บิวเทน/ 70 : 30 %vol)

| คุณสมบัติ | มวลโมเลกุล |
|--|--------------------------|
| ความหนาแน่นที่ 15C | 0.5353 kg/m ³ |
| ความถ่วงจำเพาะ (อากาศ = 1)ที่ 15C | 1.705 |
| ค่าความร้อน (Gross Calorific Value) | 50.043 MJ/kg |
| ค่าปรับแก้ปริมาตร (Correction Factor) @ 60/86F | 0.9619 |

ที่มา : การปริโตเลียมแห่งประเทศไทย



ตารางผนวกที่ ข.6 แสดงการเลือกชนิดของพัดลมตามความเหมาะสมของงาน

| ลักษณะงานที่ใช้ | ชนิดของพัดลม | | | | |
|---|----------------|----------------|------------|----------------|-----------------|
| | Tube Axial fan | Vane Axial fan | Radial fan | Forward Curved | Backward Curved |
| 1. ระบบส่งวัสดุด้วยลม | | | ● | | ● |
| 2. ลมสันดาปที่ใช้กับแก๊สหรือน้ำมันในเตา | ● | ● | ● | ● | ● |
| 3. เพิ่มความกดดันแก๊ส | | | ● | | ● |
| 4. ระบายอากาศในโรงงาน | ● | ● | | | ● |
| 5. ลมเป่าอัดเข้าสู่เตาหม้อน้ำ | | ● | | | ● |
| 6. ลมดูดเข้าเตาหม้อน้ำ | | | ● | ● | |
| 7. ลมดูดออกจากเตาเผา | | | ● | ● | |
| 8. ลมเป่าเข้าเตาเผา | | ● | | | ● |
| 9. หอน้ำเย็น | ● | | | | |
| 10. เครื่องดูดฝุ่นและดักฝุ่น | | | ● | ● | |
| 11. ลมอบแห้ง | ● | ● | ● | | ● |
| 12. ลมดูดจากปล่อง | | | ● | ● | |

ตารางผนวกที่ ข.7 ความขรุขระสมบูรณ์ของผิวหน้าตัดท่อ(ϵ)

| วัสดุ | ϵ (mm) |
|--|-----------------|
| 1. ท่อเรียบ(smooth pipe) : ทองแดงหรือแก้ว | 0.0015 |
| 2. ท่อเหล็กเหนียว (steel pipe) | 0.048-0.15 |
| 3. ท่อเหล็กอาบสังกะสี (galvanize steel pipe) | 0.15 |
| 4. ท่อเหล็กหล่อ | 0.25 |
| 5. ท่อคอนกรีต | 1.0-3.0 |

ที่มา : ไพโรบลูย์ และ เฮอิโซ ไชโต , 2543

ตารางผนวกที่ ข.8 สัมประสิทธิ์ความต้านทานเฉพาะแห่งของข้อต่อในท่อลม

| ชื่อเรียก | รูปร่าง | สูตร | สัมประสิทธิ์ความต้านทาน | | | | |
|---|---------|---|--|---|----------------------------------|---|----------------------|
| | | | H/W | r/W = 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.5 |
| (1) ข้อต่อเหลี่ยม ผืนผ้า (90°) | | $\Delta p_T = \lambda \frac{l_e}{d} \times \frac{v^2}{2g} \gamma$ | 0.25 0.5 1.0 4.0 | $l_e/W = 25$ 33 45 90 | 12 16 19 35 | 7 9 11 17 | 3.5 4 4.5 6 |
| (2) ข้อต่อเหลี่ยม ผืนผ้า (90°) | | " ditto | $H/W = 0.25$ 0.5 1.0 4.0 | | $l_e/W = 25$ 49 75 110 | | |
| (3) ข้อต่อเหลี่ยม ผืนผ้ามีครึ่งเล็ก ๆ | | $\Delta p_T = \zeta \frac{v^2}{2g} \gamma$ | R/W 0.5 0.75 1.0 1.5 | R1/W 0.2 0.4 0.7 1.3 | R2/W 0.4 0.7 1.0 1.6 | ζ 0.45 0.12 0.10 0.15 | |
| (4) ข้อต่อเหลี่ยม ผืนผ้ามีครึ่งเล็ก ๆ | | " ditto | ครึ่งชิ้นเดียว (One - piece vane) $\zeta = 0.35$ ครึ่งเข้ารูป (Modeled vane) $\zeta = 0.10$ | | | | |
| (5) ข้อต่อทอกลม (ตัด) | | $\Delta p_T = \lambda \frac{l_e}{d} \times \frac{v^2}{2g} \gamma$ | $R/d = 0.75$ 1.00 1.5 2.0 | | $l_e/d = 23$ 17 12 10 | | |
| (6) ข้อต่อทอกลม | | " ditto | R/d 0.5 1.0 1.5 2.0 | $l_e/d = 65$ 65 21 17 12 9.7 | | | |
| (7) ข้อต่อค่อย ๆ ขยาย | | $\Delta p_T = \zeta \frac{\gamma}{2g} \times (v_1 - v_2)^2$ | $\Theta = 5^\circ$ $\zeta = 0.17$ | 10 0.28 | 20 0.45 | 30 0.59 | 40 0.73 |
| (8) ข้อต่อค่อย ๆ ลด | | $\Delta p_T = \zeta \frac{v^2}{2g} \gamma$ | $\Theta = 30^\circ$ $\zeta = 0.02$ | | 45° 0.04 | 60° 0.07 | |

ที่มา : ไพรบูลย์ และ เฮอโซ ไชโต (2543)

เมื่อ Δp_T คือ ความดันสูญเสียเฉพาะแห่งของข้อต่อ, (kg/m² หรือ mm.w)

ζ คือ สัมประสิทธิ์ความต้านทานเฉพาะแห่ง

l_e คือ ความยาวเทียบเท่าของความต้านทานเฉพาะแห่ง โดย $l_e = \frac{\zeta}{\lambda} \cdot d$

ตารางผนวกที่ ข.9 ขนาดสายพานลิ้มและพูลเลย์สายพานลิ้ม ตามมาตรฐาน ISO/R 52-1957 (E) และ ISO/R 256-1962 (E) ขนาดเป็น mm.

| หน้าตัดสายพาน | | Y | Z | A | B | C | D | E | |
|---------------|--------------------------------------|-------|--------|--------|----------|----------|--------|----------|-------|
| l_p | | 5.3 | 8.5 | 11 | 14 | 19 | 27 | 32 | |
| h | | 4 | 6 | 8 | 11 | 14 | 19 | 25 | |
| b_w | | 5.3 | 8.5 | 11 | 14 | 19 | 27 | 32 | |
| b_1 | | 6.3 | 9.7 | 12.7 | 16.3 | 22 | 32 | 40 | |
| c | | 1.6 | 2 | 2.8 | 3.5 | 4.8 | 8.1 | 12 | |
| e | | 8±0.3 | 12±0.3 | 15±0.3 | 19±0.4 | 25.5±0.5 | 37±0.6 | 44.5±0.7 | |
| f | | 6±0.5 | 8±0.6 | 10±0.6 | 12.5±0.8 | 17±1 | 24±2 | 29±2 | |
| t_{min} | | 7 | 11 | 14 | 18 | 24 | 28 | 33 | |
| 32° | v สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางพิตซ์ d_p | ≤ 63 | - | - | - | - | - | - | |
| 34° | | - | 63-80 | 90-118 | 140-190 | 224-315 | - | - | |
| 36° | | 63 | - | - | - | - | ≤500 | ≤630 | |
| 38° | | - | >80 | >118 | >190 | >315 | >500 | >630 | |
| b_2 | จำนวนร่องบนล้อสายพาน | 1 | 12 | 16 | 20 | 25 | 34 | 48 | 58 |
| | | 2 | 20 | 28 | 35 | 44 | 59.5 | 85 | 102.5 |
| | | 3 | 28 | 40 | 50 | 63 | 85 | 122 | 147 |
| | | 4 | 36 | 52 | 65 | 82 | 110.5 | 159 | 191.5 |
| | | 5 | 44 | 64 | 80 | 101 | 136 | 196 | 236 |
| | | 6 | 52 | 76 | 95 | 120 | 161.5 | 233 | 280.5 |
| | | 7 | 60 | 88 | 110 | 139 | 187 | 270 | 325 |
| | | 8 | | 100 | 125 | 158 | 212.5 | 307 | 369.5 |
| | | 9 | | 112 | 140 | 177 | 238 | 344 | 411 |
| | | 10 | | 124 | 155 | 196 | 263.5 | 381 | 458.5 |
| | | 11 | | 136 | 170 | 215 | 289 | 418 | 503 |
| | | 12 | | 148 | 185 | 234 | 314.5 | 455 | 547.5 |
| d_{pmin} | | 28 | 50 | 80 | 125 | 200 | 355 | 500 | |

ที่มา : วัทธิทธิและชาญ (2525)

ตารางผนวกที่ ข.10 ตัวประกอบการใช้งาน N_s สำหรับสายพายล์

| ชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการจับ | ชนิดของอุปกรณ์จับ | | | | | |
|---|---|---------|------|--|---------|------|
| | ชั่วโมงการทำงานต่อวัน | | | ชั่วโมงการทำงานต่อวัน | | |
| | ≤ 10 | 10 – 16 | > 16 | ≤ 10 | 10 – 16 | > 16 |
| ตัวประกอบการใช้งานนี้พิจารณาเฉพาะช่วงเวลาใช้งานและชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการจับแต่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะการทำงาน ดังนั้นจึงอาจเพิ่มค่าได้อีกในกรณีพิเศษ | <u>มอเตอร์กระแสสลับ</u> : normal torque , squirrel cage , synchronas and spilt phase. <u>มอเตอร์กระแสตรง</u> : shunt wound <u>เครื่องยนต์สันดาปภายใน</u> : ที่มีหลายลูกสูบ ความเร็วรอบสูงกว่า 600 rpm | | | <u>มอเตอร์กระแสสลับ</u> : high torque , high slip , repulsion – induction , single phase , series wound and slip ring <u>มอเตอร์กระแสตรง</u> : series wound และ compound wound <u>เครื่องยนต์สันดาปภายใน</u> : ที่มีหนึ่งลูกสูบ ความเร็วรอบต่ำกว่า 600 rpm เฟลามาเนน คลัตช์ | | |
| | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| งานเบา : เครื่องกวาดของเหลว,เครื่องเป่าลม,เครื่องอัดลมและเครื่องสูบบแบบหอยโข่ง,พัดลมที่มีกำลังสูงถึง 7.5 kW ,สายพานลำเลียงงานเบา | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| งานปานกลาง : สายพานลำเลียงทรายหรือเมล็ดพืช,เครื่องผสมของขี้เถ้า,พัดลมที่มีกำลังสูงกว่า 7.5 kW ,เครื่องกำเนิดไฟฟ้า,เฟลามาเนน, เครื่องชักผ้า,เครื่องมือกล PUNCHES Presses–shears, เครื่องพิมพ์ , Positive displacement rotary pump,เครื่องเขย่า | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |

ที่มา : วิธีวิธีและ ชาญ (2525)

ตารางผนวกที่ ข.11 ตัวประกอบการใช้งาน N_s สำหรับสายพานลิ้ม (ต่อ)

| ชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการจับ | ชนิดของอุปกรณ์ขับ | | | | | |
|---|---|---------|--------|--|---------|--------|
| | มอเตอร์กระแสสลับ : normal torque , squirrel cage , synchroas and spilt phase. | | | มอเตอร์กระแสสลับ : high torque , high slip , repulsion – induction , single phase , series wound and slip ring | | |
| | มอเตอร์กระแสตรง : shunt wound | | | มอเตอร์กระแสตรง : series wound และ compound wound | | |
| พิจารณาเฉพาะช่วงเวลาใช้งานและชนิดของอุปกรณ์ที่ต้องการจับแต่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะการทำงาน ดังนั้นจึงอาจเพิ่มค่าได้อีกในกรณีพิเศษ | เครื่องยนต์สันดาปภายใน : ที่มีหลายลูกสูบ ความเร็วรอบสูงกว่า 600 rpm | | | เครื่องยนต์สันดาปภายใน : ที่มีหนึ่งลูกสูบ ความเร็วรอบต่ำกว่า 600 rpm เพลาเมน คลัตช์ | | |
| | ชั่วโมงการทำงานต่อวัน | | | ชั่วโมงการทำงานต่อวัน | | |
| | ≤ 10 | 10 – 16 | > 16 | ≤ 10 | 10 – 16 | > 16 |
| งานหนัก : เครื่องทำอิฐ, bucket elevator, exciters เครื่องอัดลมและเครื่องสูบบแบบลูกสูบ, สายพานลำเลียง, hammer mills, paper mill beaters , Positive displacement blower, เครื่องบด, เครื่องเลื่อยและเครื่องจักรกลงานไม้, เครื่องทอผ้า | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.6 |
| งานหนักพิเศษ: Crushers (Gyratory – Jaw – Roll), Mills(Ball– Rod – Tube) รอกไฟฟ้า rubber calendars – extruders – mil | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.8 |

ที่มา : วริทธิ์และ ชาญ (2525)

ตารางผนวกที่ ข.12 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอิสระประกอบไฮโดรคาร์บอนบางประเภท

| Fuel (phase) | Formula | Molar mass, kg/kmol | Density ¹ , kg/L | Enthalpy of vaporization ² , kJ/kg | Specific heat ¹ , C _p , kJ/kg · C | Higher heating value ³ , kJ/kg | Lower heating value ³ , kJ/kg |
|---------------------|--|---------------------|-----------------------------|---|---|---|--|
| Carbon (s) | C | 12.011 | 2 | — | 0.708 | 32,800 | 32,800 |
| Hydrogen (g) | H ₂ | 2.016 | — | — | 14.4 | 141,800 | 120,000 |
| Carbon monoxide (g) | CO | 28.013 | — | — | 1.05 | 10,100 | 10,100 |
| Methane (g) | CH ₄ | 16.043 | — | 509 | 2.20 | 55,530 | 50,050 |
| Methanol (ℓ) | CH ₄ O | 32.042 | 0.790 | 1168 | 2.53 | 22,660 | 19,920 |
| Acetylene (g) | C ₂ H ₂ | 26.038 | — | — | 1.69 | 49,970 | 48,280 |
| Ethane (g) | C ₂ H ₆ | 30.070 | — | 172 | 1.75 | 51,900 | 47,520 |
| Ethanol (ℓ) | C ₂ H ₆ O | 46.069 | 0.790 | 919 | 2.44 | 29,670 | 26,810 |
| Propane (ℓ) | C ₃ H ₈ | 44.097 | 0.500 | 420 | 2.77 | 50,330 | 46,340 |
| Butane (ℓ) | C ₄ H ₁₀ | 58.123 | 0.579 | 362 | 2.42 | 49,150 | 45,370 |
| 1-Pentene (ℓ) | C ₅ H ₁₀ | 70.134 | 0.641 | 363 | 2.20 | 47,760 | 44,630 |
| Isopentane (ℓ) | C ₅ H ₁₂ | 72.150 | 0.626 | — | 2.32 | 48,570 | 44,910 |
| Benzene (ℓ) | C ₆ H ₆ | 78.114 | 0.877 | 433 | 1.72 | 41,800 | 40,100 |
| Hexene (ℓ) | C ₆ H ₁₂ | 84.161 | 0.673 | 392 | 1.84 | 47,500 | 44,400 |
| Hexane (ℓ) | C ₆ H ₁₄ | 86.177 | 0.660 | 366 | 2.27 | 48,310 | 44,740 |
| Toluene (ℓ) | C ₇ H ₈ | 92.141 | 0.867 | 412 | 1.71 | 42,400 | 40,500 |
| Heptane (ℓ) | C ₇ H ₁₆ | 100.204 | 0.684 | 365 | 2.24 | 48,100 | 44,600 |
| Octane (ℓ) | C ₈ H ₁₈ | 114.231 | 0.703 | 363 | 2.23 | 47,890 | 44,430 |
| Decane (ℓ) | C ₁₀ H ₂₂ | 142.285 | 0.730 | 361 | 2.21 | 47,640 | 44,240 |
| Gasoline (ℓ) | C _n H _{1.87n} | 100–110 | 0.72–0.78 | 350 | 2.4 | 47,300 | 44,000 |
| Light diesel (ℓ) | C _n H _{1.8n} | 170 | 0.78–0.84 | 270 | 2.2 | 46,100 | 43,200 |
| Heavy diesel (ℓ) | C _n H _{1.7n} | 200 | 0.82–0.88 | 230 | 1.9 | 45,500 | 42,800 |
| Natural gas (g) | C _n H _{3.8n} N _{0.1n} | 18 | — | — | 2 | 50,000 | 45,000 |

¹At 1 atm 20°C.

²At 25°C for liquid fuels, and 1 atm and normal boiling temperature for gaseous fuels.

³At 25°C. Multiply by molar mass to obtain heating values in kJ/kmol.

ที่มา : Yunus และ Michael (2002)



ภาพผนวก ค



ภาพผนวกที่ ค.1 แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลต่อเนื่อง





ภาพผนวกที่ ค.2 แสดงลักษณะฮอปเปอร์ ช่วงข้าวเข้า



ภาพผนวกที่ ค.3 แสดงลักษณะฮอปเปอร์ ช่วงข้าวออก



ภาพผนวกที่ ค.4 แสดงการติดตั้งถังแก๊ส LPG



ภาพผนวกที่ ค.5 แสดงลักษณะการติดตั้งพัดลมเข้ากับห้องเผาไหม้



ภาพผนวกที่ ค.6 แสดงการติดตั้งชุดหัวเผาแก๊ส



ภาพผนวกที่ ค.7 แสดงการตรวจเช็คอุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมก่อนเข้าห้องอบ



ภาพผนวกที่ ค.8 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์



ภาพผนวกที่ ค.9 การวัดความชื้นข้าวเปลือกก่อนการอบแห้ง



ภาพผนวกที่ ค.10 แสดงลักษณะภายในห้องอบ



ภาพผนวกที่ ค.11 การวัดปริมาณการใช้แก๊ส



ภาพผนวกที่ ค.12 การวัดความเร็วลม



ภาพผนวกที่ ค.13 การวัดอุณหภูมิ



ภาพผนวกที่ ค.14 การวัดปริมาณการใช้น้ำมัน

ภาคผนวก ง

หน่วยวัดทั่วไป

| | | |
|-------------------------|---|--|
| 1 Litre of LPG | = | 0.57 kg |
| 1 kcal | = | 396824 Btu |
| 1 kWh | = | 860 kcal |
| 1 kg of Equivalent | = | 6655 kcal |
| 1 kg of Coal Equivalent | = | 158.984 Litter of Crude Oil Equivalent |

แสดงตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ใช้

ที่ความเร็วรอบ 1900 rpm ครั้งที่ 1
การคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ใช้ ณ อุณหภูมิ 128 °C ที่น้ำหนักข้าว 100 Kg

| | | | |
|---------------------|---|------|----|
| น้ำหนักแก๊สที่ใช้ | = | 0.28 | Kg |
| น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ | = | 0.05 | Kg |

1. ปริมาณพลังงานความร้อนจาก LPG

ปริมาณพลังงานความร้อนจาก LPG

| | | | |
|-----------------------|---|---------------|------|
| | = | 11,154 | kcal |
| พลังงานความร้อนที่ใช้ | = | 11,154 x 0.28 | |
| | = | 3123.12 | kcal |

| | | | | |
|-----|---------------------|---|---------------|------|
| จาก | 1 kWh | = | 860 | kcal |
| | ปริมาณพลังงานที่ใช้ | = | 3123.12 / 860 | |
| | | = | 3.6 | kWh |

2. ปริมาณพลังงานความร้อนของน้ำมัน

ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง

$$= 44150 \text{ kJ/kg}$$

จาก 1 kcal = 4.186 kJ

ดังนั้นค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง = 44150/4.186

$$= 10547 \text{ kcal/kg}$$

น้ำหนักน้ำมัน 0.05 Kg = 527.35 kcal

จาก 1 kWh = 860 kcal

$$= 527.35/860$$

$$= 0.62 \text{ kWh}$$

ดังนั้นพลังงานที่ใช้ทั้งหมด = 3.6 + 0.62 kWh

Pe = 4.22 kWh

คำนวณหา SMER ที่ 128 °C ที่น้ำหนักข้าว 100 Kg

$$\text{SMER} = (100 - 94.04) / (4.22)$$

$$= 1.41 \text{ kWh}$$

คำนวณหาค่า SEC ที่อุณหภูมิ 128°C ที่น้ำหนักข้าว 100 kg

$$\text{SEC} = (3.6 \times 4.22) / (100 - 94.04)$$

$$= 2.54 \text{ MJ/kg}$$

แสดงตัวอย่างการคำนวณหา Capacity

ที่อุณหภูมิ 130°C ปริมาณข้าวที่ใช้อบแห้ง ที่ 100 kg (โดยเฉลี่ย)

น้ำหนักข้าว = 100 kg

เวลาที่ใช้ในการอบ = 4.13 min

$$= 0.07 \text{ hr}$$

Capacity = 100/0.07

$$= 1428 \text{ kg/hr}$$