**รายงานฉบับสมบูรณ์**

# การพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดและลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน โดยผสมผสานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม

**โดย ดร.วีระพล คงนุ่น และคณะ**

**สิงหาคม 2559**

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

# การพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดและการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน โดยผสมผสานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม

โดย ดร.วีระพล คงนุ่น และคณะ

สิงหาคม 2559

สัญญาเลขที่ RDG5850075

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

# การพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดและการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน โดยผสมผสานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม


| คณะผู้วิจัย | สังกัด |
|---|---|
| 1. ดร.วีระพล คงนุ่น | คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทุวงศ์ | คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพโรจน์ นะเที่ยง | คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม |
| 4. นายดุษฎี บุญธรรม | คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม |
| 5. นายอภิศักดิ์ พรหมฝาย | คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม |



สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)



(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

# บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดและลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนโดยผสมผสานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดปริมาณการใช้แก๊สในกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน เป็นนวัตกรรมต้นแบบสำหรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดให้กับผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม นอกจากนี้ยังสามารถสร้างความตระหนักให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องในการอนุรักษ์ธรรมชาติและใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

จากการทดสอบส่วนผสมในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยมีส่วนผสมระหว่างน้ำกับผงแร่ทัลคัมเพื่อหาส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพ พบว่าการหาส่วนผสมที่สุดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัคคัมอัดเม็ดที่เหมาะสมที่สุด คือ ปริมาณผงแร่ทัลคัมร้อยละ 83.54 และปริมาณน้ำร้อยละ 16.46 ส่วนการทดสอบเพื่อหาเวลาในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่เหมาะสมให้มีความชื้นคงค้างต่ำกว่า 5 % คือต้องใช้อุณหภูมิในการอบที่ 227 องศาเซลเซียส และความเร็วของลมดูดความชื้นที่ 10.5 เมตรต่อวินาที จะทำให้ได้ค่าความชื้นตามที่ต้องการ และในการวิเคราะห์พบว่าความเร็วลมของลมดูดความชื้นไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95.0% แต่ไม่สามารถตัดได้ เนื่องจากการไม่ใช้ลมดูดความชื้นเลย จะส่งผลให้แร่ทัลคัมเกิดความชื้นขึ้นเนื่องจากไม่มีลมที่ดูดความชื้นออกไปสู่ภายนอกเตา ส่วนการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สและความร้อนร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าเมื่อใช้ความร้อนที่ต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส จะสามารถประหยัดพลังงานจากแก๊สได้ 20.8 % หรือสามารถลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงานได้ถึง 47.83 บาทต่อตัน

ผลของการถ่ายทอดเทคโนโลยีนวัตกรรมในแต่ละด้าน พบว่า ผู้ที่ได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีเรื่องการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด มีความรู้ ความเข้าใจและเกิดการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนเข้ารับการอบรมในระดับค่อนข้างมาก มีความพึงพอใจของกลุ่มผู้ประกอบการที่มีต่อการใช้งานนวัตกรรมใหม่ของกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 4.29 คะแนน และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.48

# Abstract

This project aims to develop the production process Talcum powder ore pellets and drying with hot air by heating a mixture of gas and solar systems. To reduce the gas dehumidification process in a hot air dryer. There are an innovative prototype for the technology transfer process Talcum powder ore pellets to owners of small and medium enterprises. It can also raise awareness for those involved in conservation and energy for the greatest benefit.

From the test of ingredient in talcum powder ore pellets, a mixture of water and talcum powder, we found that the optimal of efficient production is 83.54 percent of talcum powder ore and 16.46 percent of water content. The best time to bake mineral powder talcum pellets suitable for moisture remaining below 5 percent is required temperature in the oven at 227 degrees Celsius and wind speed of moisture absorption at 10.5 meters per second. Another analysis, we found that the velocity of the wind, humidity, moisture does not affect significantly with the confidence level of 95.0 percent. Because the wind does not absorb and suck moisture to outside of the oven. The comparison of the heat energy from gas energy and solar energy. Once found, the heat that lower than 150 degrees Celsius can save energy by 20.8 percent, or the gas energy can reduce costs up to 47.83 baht per tonne.

The effect of technology innovation in the field found that people who have inherited the technology development process, Talcum powder ore pellets, got the knowledge and understanding more than before the training. The satisfaction of the innovative manufacturing processes operator is high level at 4.29 of an average score with 0.48 of a standard deviation.

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | ก |
| สารบัญ | ข |
| สารบัญภาพ | จ |
| สารบัญตาราง | ซ |
| **บทที่ 1 บทนำ** | |
| 1.1 ความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.5 สมมติฐานของโครงการวิจัย | 3 |
| 1.6 กรอบแนวความคิดของการวิจัย | 3 |
| 1.7 แผนงานของโครงการ | 4 |
| 1.8 การนำไปใช้ประโยชน์ | 5 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง** | |
| 2.1 ความรู้เกี่ยวกับแร่ทัลคัม | 6 |
| 2.2 เทคโนโลยีการอัดขึ้นรูปวัสดุ | 10 |
| 2.3 เทคโนโลยีการลดความชื้น | 13 |
| 2.4 ความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ | 14 |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 17 |
| **บทที่ 3 วิธีดำเนินการ** | |
| 3.1 การสำรวจปัญหาและความต้องการ | 20 |
| 3.2 การศึกษาดูงานกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัม | 21 |
| 3.3 การสำรวจพื้นที่ติดตั้งกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 22 |
| 3.4 การวางผังโรงงานและตำแหน่งของเครื่องจักร | 23 |
| 3.5 เครื่องผสมและขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 24 |
| 3.6 เครื่องลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบเป่าลมร้อน | 27 |
| 3.7 ระบบทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ | 31 |

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

**บทที่ 4 การวิเคราะห์ผล**

4.1 การหาอัตราส่วนผสมสำหรับแร่ทัลคัมอัดเม็ด 38

4.2 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานแก๊สในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 51

4.3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 58

**บทที่ 5 สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ**

5.1 สรุปผลการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 66

5.2 สรุปผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานแก๊สในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 67

5.3 สรุปผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 68

5.4 ข้อเสนอแนะ 68

**บรรณานุกรม**

**ภาคผนวก**

# สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย 3
ภาพที่ 2.1 ลักษณะของแร่ทัลคัมหรือหินสบู่ 6
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของแร่ทัลคัม 7
ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตวัสดุทนไฟ 9
ภาพที่ 2.4 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ 10
ภาพที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแบบเกลียวกรวย 11
ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแบบเกลียวให้ความร้อนที่หัวดาย 11
ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบของเครื่องอัดเม็ดเป็นแท่งเล็กๆ 12
ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบของเครื่องอัดเม็ดแบบลูกกลิ้ง 12
ภาพที่ 2.9 กระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน 13
ภาพที่ 2.10 การลดความชื้นด้วยภาชนะบรรจุแบบเบดเคลื่อนไหว 13
ภาพที่ 2.11 กระบวนการลดความชื้นด้วยภาชนะบรรจุแบบเบดเคลื่อนไหว 14
ภาพที่ 2.12 ส่วนประกอบของตัวกักเก็บความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ 14
ภาพที่ 2.13 ลักษณะมุมเอียงและทิศทางสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์กักเก็บความร้อน 15
ภาพที่ 2.14 เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบแอ็คทีฟ 15
ภาพที่ 2.15 เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบพาสซีฟ 16
ภาพที่ 3.1 การลงพื้นที่สำรวจปัญหาและความต้องการของผู้ประกอบการโรงงานหล่อวัฒนา 20
ภาพที่ 3.2 ศึกษาดูงานกระบวนการผลิตและการจำหน่ายผงแร่ทัลคัมของโรงงาน 21
ภาพที่ 3.3 การสำรวจพื้นที่ติดตั้งกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 22
ภาพที่ 3.4 การออกแบบผังโรงงานสำหรับติดตั้งกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 23
ภาพที่ 3.5 เครื่องผสมผงแร่ทัลคัมกับน้ำแบบถังคู่ 24
ภาพที่ 3.6 เครื่องอัดขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมแบบใช้ลูกกลิ้งถ่วงน้ำหนัก 25
ภาพที่ 3.7 ลักษณะการปั้นคลึงผงแร่ทัลคัมให้เป็นรูปเม็ดกลม 26
ภาพที่ 3.8 สายพานลำเลียงวัตถุดิบจากถาดเหวี่ยงเครื่องผสมและขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 27
ภาพที่ 3.9 สายพานลำเลียงวัตถุดิบจากสายพานหน้าถาดเข้าท่อเตาอบ 28
ภาพที่ 3.10 ชุดปรับความเร็วลมร้อนและชุดลำเลียงทางเข้าวัตถุดิบ 28

# สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์ปรับความเร็วของลมร้อน 29
ภาพที่ 3.12 เตาอบลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบถังหมุน 29
ภาพที่ 3.13 หัวพ่นไฟระบบเชื้อเพลิงแก๊ส 30
ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ 30
ภาพที่ 3.15 สายพานลำเลียงวัตถุดิบเข้าระบบการบรรจุถุง 31
ภาพที่ 3.16 รูปแบบการนำระบบสะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการลดความชื้น 32
ภาพที่ 3.17 รูปแบบการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดเดวาร์ 32
ภาพที่ 3.18 การเตรียมหลอดสุญญากาศและการประกอบเข้ากับชุดแลกเปลี่ยนความร้อน 33
ภาพที่ 3.19 การติดตั้งชุดแผงรับความร้อนชนิดหลอดสุญญากาศบนหลังคาโรงงาน 33
ภาพที่ 3.20 การติดตั้งระบบการไหลเวียนน้ำสำหรับการนำความร้อนออกมาเก็บไว้ในถังเก็บความร้อน 34
ภาพที่ 3.21 การติดตั้งถังกักเก็บน้ำร้อนขนาด 300 ลิตร และอุปกรณ์ควบคุมระบบการทำงาน 35
ภาพที่ 3.22 การนำอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน 36
ภาพที่ 3.23 การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน 37
ภาพที่ 4.1 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง 40
ภาพที่ 4.2 แผนภูมิกระจายของส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูล 40
ภาพที่ 4.3 แผนภูมิกระจายส่วนตกค้างในแต่ละระดับของปัจจัย 41
ภาพที่ 4.4 พื้นผิวผลตอบประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 43
ภาพที่ 4.5 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของส่วนผสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 44
ภาพที่ 4.6 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างในการวิเคราะห์ความชื้น 45
ภาพที่ 4.7 แผนภูมิกระจายของส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูลความชื้น 46
ภาพที่ 4.8 แผนภูมิกระจายส่วนตกค้างในแต่ละระดับของปัจจัย 47
ภาพที่ 4.9 พื้นผิวผลตอบค่าความชื้นในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 49

# สารบัญภาพ (ต่อ)

**หน้า**

ภาพที่ 4.10 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 50
ภาพที่ 4.11 การวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 52
ภาพที่ 4.12 ข้อมูลอุณหภูมิและค่าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในวันที่ 24 เมษายน 2559 53
ภาพที่ 4.13 ข้อมูลอุณหภูมิและค่าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในวันที่ 25 เมษายน 2559 53
ภาพที่ 4.14 ข้อมูลอุณหภูมิและค่าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในวันที่ 26 เมษายน 2559 54
ภาพที่ 4.15 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นในโรงงานของวันที่ 26 เมษายน 2559 55
ภาพที่ 4.16 การทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 55
ภาพที่ 4.17 เครื่องมือวัดอุณหภูมิของลมร้อนที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน 56
ภาพที่ 4.18 ลักษณะของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 56
ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบต้นทุนด้านพลังงานของการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดต่อตัน 57

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนงานของโครงการที่เป็นไปตามข้อเสนอโครงการ 4
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพส่วนผสมระหว่างน้ำกับผงแร่ทัลคัม 39
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์การถดถอยของพื้นที่ผิวตอบสนอง 42
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการผลิต ผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 42
ตารางที่ 4.4 ค่าความชื้นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่ผ่านกระบวนการอบ ของแต่ละหน่วยการทดลอง 44
ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์การถดถอยของพื้นที่ผิวตอบสนอง 48
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นของกระบวนการอบ ผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 48
ตารางที่ 4.7 การวัดรอบเวลาและอัตราการผลิตในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 51
ตารางที่ 4.8 ปริมาณการใช้แก๊สในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 51
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติปริมาณการใช้แก๊สในกระบวนการอบ ผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 52
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามเพศ 58
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามอายุ 59
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามสถานสภาพสมรส 59
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามระดับการศึกษา 60
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความต้องการคุณลักษณะ ของนวัตกรรมการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 60
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความต้องการคุณลักษณะที่ เหมาะสมกับการใช้งานของกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 61
ตารางที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประสิทธิภาพของนวัตกรรม การผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 62
ตารางที่ 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหาสาระในคู่มือ 63
ตารางที่ 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ของผู้รับ การถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 64
ตารางที่ 4.19 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความพึงพอใจของ ผู้ประกอบการต่อการใช้งานของนวัตกรรมการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด 65

# บทสรุปผู้บริหาร

แร่ทัลคัมหรือหินสบู่มีอีกชื่อว่าทัลค์ (talc) สูตรเคมี ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) ประเภทแร่หินสบู่ เป็นแร่ไฮเดรต แมกนิเซียมซิลิเกตุคุณสมบัติมีลักษณะผลึกเป็นแผ่นหนา มีรูปผลึกเป็นระบบโมโนคลินิกรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนและหกเหลี่ยม ซึ่งจังหวัดอุตรดิตถ์เป็นแหล่งต้นกำเนิดแร่ทัลคัมที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย จึงมีการทำเหมือแร่ทัลคัมและโรงงานแปรรูปแร่ทัลคัมขึ้นในพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ มาเป็นระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แต่เนื่องจากในกระบวนการเพื่อนำแร่ทัลคัมไปใช้ประโยชน์นั้น โรงงานในจังหวัดอุตรดิตถ์ส่วนใหญ่เป็นเพียงโรงงานแปรรูปขั้นต้นเท่านั้น โดยกระบวนการผลิตจะเป็นเพียงการนำก้อนแร่ทัลคัมที่ขุดได้จากเหมืองแร่มาทำการบดเป็นผงละเอียดและบรรจุถุงส่งโรงงานนอกพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยรูปแบบการขนส่งผงแร่ทัลคัมที่ผู้ผลิตใช้อยู่ในปัจจุบันนั้น ยังเป็นการขนส่งในรูปแบบถุงกระดาษขนาด 50 กิโลกรัม ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายและการปนเปื้อนได้ง่ายในระหว่างการขนส่ง รวมถึงในกระบวนการผลิตของกลุ่มผู้ซื้อด้วย

ซึ่งผงแร่ทัลคัมถือว่าเป็นแร่ที่เป็นอันตรายต่อมุนษย์ชนิดหนึ่ง หากสูดดมเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดเป็นโรคมะเร็งได้จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้ประกอบการที่ผลิตผงแร่ทัลคัมมีความต้องการที่จะลดปัญหาการฟุ้งกระจายของผงแร่ทัลคัมในระหว่างการขนส่ง และเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยทางด้านสิ่งแวดล้อมทางอุตสาหกรรมตามอนุกรมมาตรฐาน 14000 ที่เป็นมาตรฐานสากล ที่โรงงานที่เป็นผู้รับช่วงวัตถุดิบไปผลิตต่อนั้นมีการควบคุมอยู่ ซึ่งแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดปัญหาการฟุ้งกระจายของผงแร่ทัลคัมในระหว่างการขนส่งคือการขนส่งในรูปแบบของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ซึ่งการผลิตผงแร่ทัลคัมแบบอัดเม็ดนอกจากจะช่วยให้เกิดการลดอัตราการฟุ้งกระจายของผงแร่ทัลคัมในระหว่างการขนส่งแล้วยังสามารถทำให้ผู้ประกอบการขนส่งสินค้าได้มากขึ้น และทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่าในการแปรรูปผงแร่ทัลคัม โดยมีกระบวนการของการหาประสิทธิภาพดังเช่น การวัดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยผสมผสานความร้อนร่วมจากพลังงานแก๊สกับพลังงานแสงอาทิตย์ มาทำการวัดประสิทธิภาพของเครื่องจักร โดยมีการทดสอบหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ทดสอบเวลาอบที่เหมาะสมในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด วัดอัตราการผลิตและรอบเวลาในกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยมี 3 การทดสอบ ได้แก่

การทดสอบหาส่วนผสมที่เหมาะสม ซึ่งในการทดสอบส่วนผสมในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยมีส่วนผสมระหว่างน้ำกับผงแร่ทัลคัม เพื่อหาส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพ (Yield) ที่ดีที่สุด จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer พบว่าการหาส่วนผสมที่สุดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่เหมาะสมที่สุด คือ ปริมาณผงแร่ทัลคัมร้อยละ 83.54 และปริมาณน้ำร้อยละ 16.46

การทดสอบหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบเพื่อลดความชื้น ซึ่งในการทดสอบเพื่อหาเวลาในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่เหมาะสม คือมีความชื้นต่ำกว่า 5.0% ในการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer พบว่าการหาค่าความชื้นในกระบวนการอบผงแร่ทัคคัมอัดเม็ดที่เหมาะสมที่สุด คือ ต้องใช้อุณหภูมิในการอบ 227 องศาเซลเซียส และความเร็วของลมดูดความชื้นที่ 10.5 เมตรต่อวินาที จะทำให้ได้ค่าความชื้นตามที่ต้องการคือที่ 5.0% ในการวิเคราะห์พบว่าความเร็วลมของลมดูดความชื้นไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95.0% เนื่องจากเมื่อปรับลมดูดความชื้นให้สูงจะส่งผลให้ใช้แก๊สในการเผาไหม้มากขึ้นเพื่อให้อุณหภูมิในเตาได้ตามที่กำหนด แต่ลมดูดชื้นจะส่งผลต่อปริมาณแก๊สที่ใช้ในการเผาไหม้ของเตาอบ

โดยการวัดอัตราการผลิตและรอบเวลาในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดและการหาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดตั้งแต่กระบวนการผสม การอัดขึ้นรูปเม็ด และกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน โดยทำการวัดอัตราการผลิต และรอบเวลาในการผลิต พบว่ากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดมีอัตราการผลิต 272 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีรอบเวลาเฉลี่ยที่ 12.08 นาที โดยใช้วลาในการผสม การขึ้นรูปอัดเม็ด และการอบที่เวลา โดยใช้เวลาในกระบวนการผสมเฉลี่ยที่ 2.24 นาที 0.43 นาที และ 9.41 นาที ตามลำดับ

ซึ่งจะนำการทดสอบมาเปรียบเทียบการใช้พลังงานแก๊สในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดผลจากการทดสอบกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยทำการวัดปริมาณการใช้แก๊สระหว่างการใช้พลังงานจากแก๊สและจากการใช้พลังงานความร้อนร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าเมื่อกำหนดอุณหภูมิของแก๊สที่สูงกว่า140 องศา ปริมาณแก๊สที่ใช้เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานแก๊สอย่างเดียวและการใช้พลังงานร่วมกับแสงอาทิตย์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อใช้ความร้อนที่ต่ำกว่า 150 องสาเซลเซียส สามารถประหยัดพลังงานจากแก๊สอย่างมีนัยสำคัญ จากการทดสอบที่ 130 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้พลังงานแก๊สอย่างเดียวใช้แก๊สในการอบ 3.89 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่เมื่อใช้พลังงานแก๊สร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ปริมาณแก๊สในการอบ 3.08 กิโลกรัม ซึ่งประหยัดการใช้แก๊ส 0.81 กิโลกรัม คิดเป็น 20.8 % ซึ่งการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่ใช้พลังงานจากแก๊สในกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนเพียงอย่างเดียว มีต้นทุนการผลิตด้านพลังงานสูงกว่าการใช้ความร้อนร่วมจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ถึง 47.83 บาทต่อตัน ถึงแม้ว่ากระบวนการผลิตที่ใช้ระบบความร้อนร่วมนั้น จะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าก็ตาม

# บทที่1

# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญของปัญหา

แร่ทัลคัมหรือหินสบู่ มีอีกชื่อว่าทัลค์ (talc) สูตรเคมี ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) ประเภท แร่หินสบู่ เป็นแร่ไฮเดรต แมกนิเซียมซิลิเกตุคุณสมบัติมีลักษณะผลึกเป็นแผ่นหนา มีรูปผลึกเป็นระบบโมโนคลินิก รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนและหกเหลี่ยม แร่ทัลก์เป็นแร่ที่มีความแข็ง1ตามสเกลของโมส์ ซึ่งอ่อนมากจนสามารถใช้เล็บขูดเป็นรอยได้ประโยชน์ ป่นเป็นผงเพื่อใช้ทำสี เครื่องปั้นดินเผา ยาฆ่าแมลง วัสดุมุงหลังคา วัสดุทนไฟ ใช้บุผนังแบบหล่อ ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ยาง พลาสติกและสิ่งทอ ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่นใช้ทำแป้งฝุ่นทาหน้าฝุ่นโรยตัวประโยชน์แหล่งที่พบในประเทศไทย พบได้ในจังหวัดอุตรดิตถ์ กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ และจันทบุรีในต่างประเทศ พบได้ในประเทศออสเตรเลีย บราซิล ตุรกี โอมานและประเทศในแถบตะวันออกกลาง โทษของแร่ทัลก์Talc นอกจากมีประโยชน์สำหรับมนุษย์แล้ว ก็มีโทษสำหรับมนุษย์ด้วยเช่นกัน กรณีสัมผัสทางผิวหนัง หรือสูดดมเข้าไป จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและระบบทางเดินหายใจ ส่วนบน มีอาการคันคอ และเนื่องจาก Talc ถูกรายงานว่าเป็น หรือมีส่วนประกอบเป็นสารที่อาจจะก่อมะเร็ง ถ้าสูดดมเป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดมะเร็ง และจากการศึกษา พบว่า Talc มีอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ อันตรายต่อปอด การที่เราสูดดมผงแป้งที่ลอยอยู่ในอากาศเข้าไปในทางเดินหายใจทีละน้อยเป็นระยะเวลานาน มันจะเข้าไปสะสมอยู่ในปอด โดยที่เซลล์บุผิวปอดจะจับแป้งไว้เป็นก้อน เรียกว่า pneumoconiosis ทำให้มีปัญหาในการหายใจ นอกจากนี้การที่ Talc มีส่วนประกอบของ Silica การสูดดม Silica ในรูปที่เป็นผลึกติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน อาจทำให้เกิดโรคปอด ทำให้การทำงานของปอดผิดปกติอันเนื่องมาจากการเกิดพังผืดและปุ่มเนื้อในปอด ทำให้มีอาการไอแห้งๆ หายใจถี่ ถุงลมโป่งพอง ทรวงอกขยายตัวได้น้อยลง และเพิ่มความไวต่อการเป็นวัณโรค ในระยะสุดท้ายจะสูญเสียความอยากอาหาร และหมดสมรรถภาพการทำงาน และถ้าทารกสูดเอาแป้ง เข้าไปครั้งละมากๆ อาจทำให้ปอดอักเสบและตายจากสาเหตุดังกล่าว อันตรายต่อรังไข่

สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตแร่ทัลคัม หินสบู่ หรือทัลค์ (talc) ถือว่าเป็นอุตสาหกรรมการผลิตที่สำคัญของจังหวัดอุตรดิตถ์ เนื่องจากจังหวัดอุตรดิตถ์เป็นแหล่งต้นกำเนิดแร่ทัลคัมที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย จึงมีการทำเหมืองแร่ทัลคัมและโรงงานแปรรูปแร่ทัลคัมขึ้นในพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ มาเป็นระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แต่เนื่องจากในกระบวนการเพื่อนำแร่ทัลคัมไปใช้ประโยชน์นั้น โรงงานในจังหวัดอุตรดิตถ์ส่วนใหญ่เป็นเพียงโรงงานแปรรูปขั้นต้นเท่านั้น โดยกระบวนการผลิตจะเป็นเพียงการนำก้อนแร่ทัลคัมที่ขุดได้จากเหมืองแร่มาทำการบดเป็นผงละเอียดและบรรจุถุงส่งโรงงานนอกพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ เพื่อนำไปใช้สำหรับเป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมต่างๆ ต่อไป

โดยรูปแบบการขนส่งผงแร่ทัลคัมที่ผู้ผลิตใช้อยู่ในปัจจุบันนั้น ยังเป็นการขนส่งในรูปแบบถุงกระดาษขนาด 50 กิโลกรัม ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายและการปนเปื้อนได้ง่ายในระหว่างการขนส่ง รวมถึงในกระบวนการผลิตของกลุ่มผู้ซื้อด้วย ซึ่งผงแร่ทัลคัมถือว่าเป็นแร่ที่เป็นอันตรายต่อมุนษย์ชนิดหนึ่ง หากสูดดมเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดเป็นโรคมะเร็งได้ จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้ประกอบการที่ผลิตผงแร่ทัลคัมมีความต้องการที่จะลดปัญหาการฟุ้งกระจายของผงแร่ทัลคัมในระหว่างการขนส่ง และเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยทางด้านสิ่งแวดล้อมทางอุตสาหกรรมตามอนุกรมมาตรฐาน 14000 ที่เป็นมาตรฐานสากล ที่โรงงานที่เป็นผู้รับช่วงวัตถุดิบไปผลิตต่อนั้นมีการควบคุมอยู่ ซึ่งแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดปัญหาการฟุ้งกระจายของผงแร่ทัลคัมในระหว่างการขนส่งคือการขนส่งในรูปแบบของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ซึ่งการผลิตผงแร่ทัลคัมแบบอัดเม็ดนอกจากจะช่วยให้เกิดการลดอัตราการฟุ้งกระจายของผงแร่ทัลคัมในระหว่างการขนส่งแล้วยังสามารถทำให้ผู้ประกอบการขนส่งสินค้าได้มากขึ้น และทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่าในการแปรรูปผงแร่ทัลคัม

**1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1.2.1 เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดและการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนโดยผสมผสานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.2 เพื่อลดปริมาณการใช้แก๊สในกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนสำหรับการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดโดยอาศัยความร้อนร่วมจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.3 เพื่อใช้เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดให้กับผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม

**1.3 ขอบเขตของการวิจัย**

1.3.1 ศึกษาอัตราส่วนผสมของผงแร่ทัลคัมที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

1.3.2 พัฒนากระบวนการอัดเม็ดผงแร่ทัลคัม ในอัตราการผลิตไม่น้อยกว่า 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

1.3.3 พัฒนากระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนที่ผสมผสานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ให้มีปริมาณความชื้นคงค้างไม่เกิน 5%

**1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.4.1 สามารถเพิ่มมูลค่าในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ผงแร่ทัลคัมแบบใหม่

1.4.2 สามารถลดการฟุ้งกระจายของผงแร่ทัลคัมในกระบวนการผลิตและการขนส่ง

1.4.3 ได้เครื่องต้นแบบในกระบวนการผลิตผงแร่ทัมคัมอัดเม็ด เพื่อเพิ่มศักยภาพให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในท้องถิ่น

1.4.4 ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีงานวิจัยไปสู่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมจนเกิดเป็นแหล่งเรียนรู้เรื่องการผลิตแร่ทัลคัมอัดเม็ด ให้กับผู้ประกอบการรายอื่นๆ

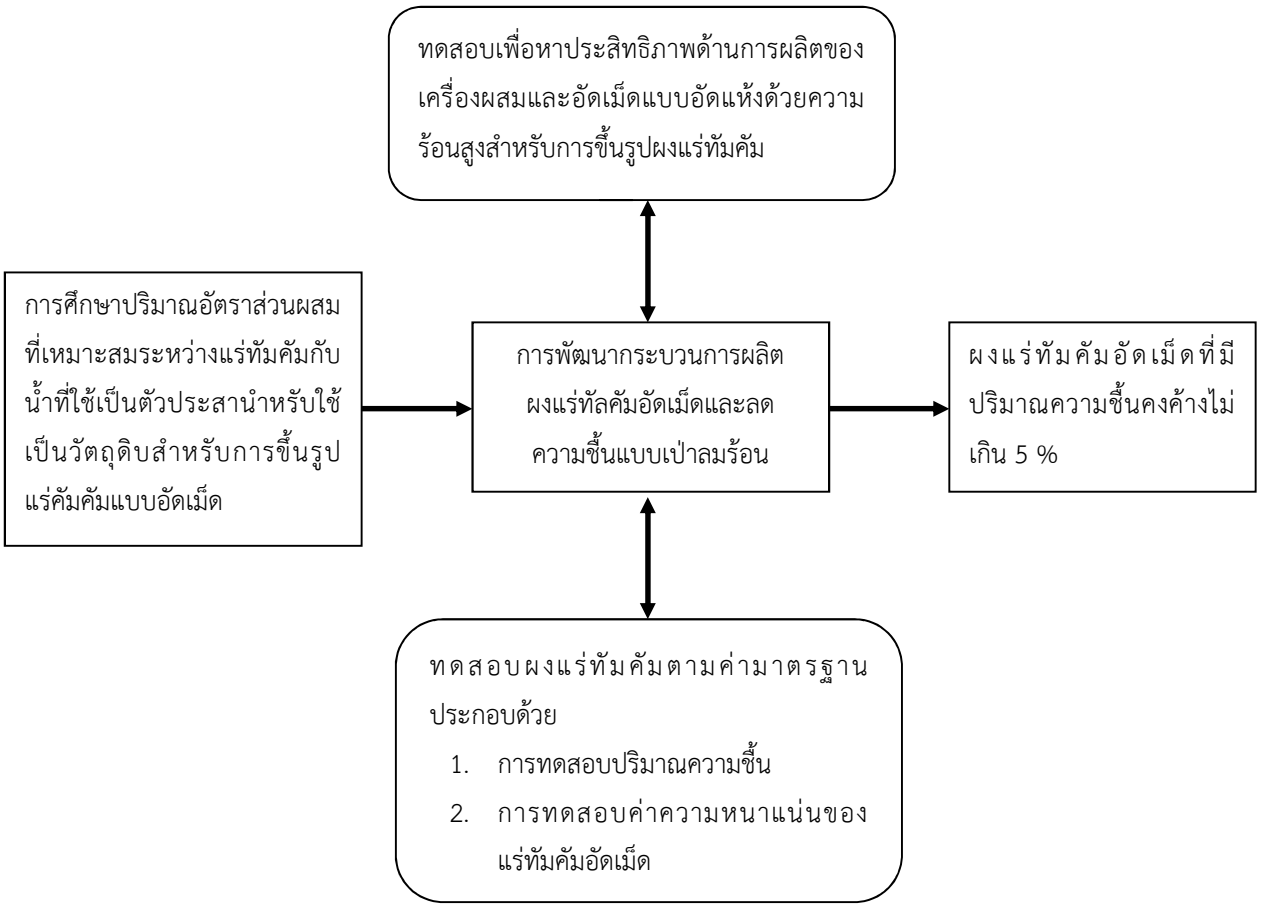
**1.5 สมมติฐานของโครงการวิจัย**

1.5.1 จะมีวิธีการเลือกใช้ส่วนผสมที่เหมาะสมอย่างไร ในกระบวนการผสมและการขึ้นรูปผงแร่ทัมคัมแบบอัดแห้ง ให้มีปริมาณความชื้นคงค้างไม่เกิน 20%

1.5.2 จะมีวิธีการผสมผสานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์อย่างไร ให้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนหลังกระบวนการอัดขึ้นรูปผงแร่ทัมคัม ให้มีปริมาณความชื้นคงค้างไม่เกิน 5%

1.5.3 จะมีวิธีการจัดการอย่างไรให้กระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดและกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนโดยผสมผสานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างสอดคล้องและต่อเนื่อง เพื่อควบคุมการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

**1.6 กรอบแนวความคิดของการวิจัย**




ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

**1.7 แผนงานของโครงการ**

ตารางที่ 1.1 แผนงานของโครงการที่เป็นไปตามข้อเสนอโครงการ

| ระยะเวลา | กิจกรรม | ผลที่คาดว่าจะได้ |
|---|---|---|
| เดือนที่ 1-2 | - ศึกษาเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบเครื่องผสมผงแร่ทัลคัม เครื่องขึ้นรูปแบบอัดแห้ง และเครื่องลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน โดยอาศัยความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์<br>- รายงานความก้าวหน้ารอบ 2 เดือน | - ได้ข้อมูลสำหรับการออกแบบสร้างเครื่องผสมผงแร่ทัลคัม เครื่องขึ้นรูปแบบอัดแห้ง และเครื่องลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน โดยอาศัยความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์<br>- รายงานความก้าวหน้า |
| เดือนที่ 3-6 | - ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการผสมผงแร่ทัลคัมและการขึ้นรูปแบบอัดแห้ง<br>- ทดสอบกระบวนการทำงานและหาประสิทธิภาพของเครื่องผสมผงแร่ทัลคัมและเครื่องขึ้นรูปแบบอัดแห้ง<br>- ทดสอบค่าความหนาแน่นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด<br>- รายงานความก้าวหน้ารอบ 6 เดือน | - ได้เครื่องต้นแบบสำหรับการผสมผงแร่ทัลคัมและการขึ้นรูปแบบอัดแห้ง<br>- ได้ผลทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบสำหรับการผสมผงแร่ทัลคัมและการขึ้นรูปแบบอัดแห้ง<br>- ได้ผลการทดสอบความหนาแน่นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด<br>- รายงานความก้าวหน้า |
| เดือนที่ 7-12 | - ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบเป่าลมร้อน โดยอาศัยความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์<br>- ทดสอบกระบวนการทำงานและหาประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบเป่าลมร้อน โดยอาศัยความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์<br>- ทดสอบปริมาณความชื้นคงค้างในผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด<br>- เก็บข้อมูลเชิงสถิติ วิเคราะห์และสรุปผลโครงการวิจัย<br>- ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในท้องถิ่น<br>- ติดตามและประเมินผลการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์<br>- ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการ<br>- รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ | - ได้เครื่องต้นแบบสำหรับการลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบเป่าลมร้อน โดยอาศัยความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์<br>- ได้ผลทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบเป่าลมร้อน โดยอาศัยความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์<br>- ได้ผลทดสอบค่าปริมาณความชื้นคงค้างในผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด<br>- ได้ข้อมูลเชิงสถิติ ผลการวิเคราะห์และผลสรุปของโครงการวิจัย<br>- ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีใหม่ให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในท้องถิ่น<br>- ได้ผลประเมินการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์<br>- รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ |

**1.8 การนำผลงานไปใช้ประโยชน์**

1.8.1 ผลผลิตจากงานวิจัยหรือสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกสร้างสรรค์ขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการและสามารถแก้ไขปัญหาของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในท้องถิ่นได้

1.8.2 กลุ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม สามารถเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่

1.8.3 กลุ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรมที่ผลิตผงแร่ทัลคัม ให้ความสำคัญต่อการควบคุมการฟุ้งกระจายผงของแร่ทัลคัม ในกระบวนการผลิตและการขนส่งผลิตภัณฑ์ไปยังกลุ่มลูกค้า

# บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

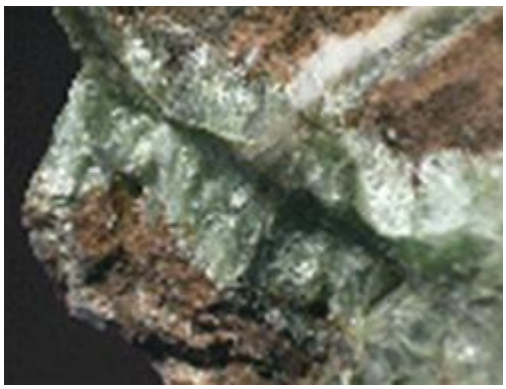
## 2.1 ความรู้เกี่ยวกับแร่ทัลคัม

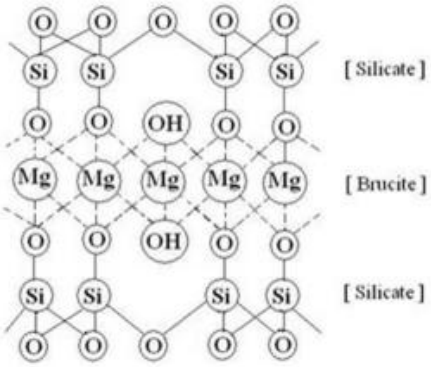
แร่ทัลก์ (Talc) สูตรเคมี ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) ประเภท แร่หินสบู่ เป็นแร่ไฮเดรต แมกนิเซียมซิลิเกตุ ทัลคัมหรือหินสบู่ มีอีกชื่อว่าทัลค์ (talc) ซึ่งมาจากภาษาอาราบิกว่า talg มีความแข็งระดับที่ 1 ใน Moh's scale มีสูตรคือ 3MgO4SiO2 H2O ซึ่งมีแร่อยู่อีกชนิดที่สูตรเคมีเหมือนกับ ทัลคัม คือ สตีไทต์ (Steatile) ซึ่งสตีไทต์นั้นจะมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่าทัลคัม

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของแร่ทัลคัมหรือหินสบู่

**คุณสมบัติ** มีลักษณะผลึกเป็นแผ่นหนา มีรูปผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน และหกเหลี่ยมแร่ทัลก์ เป็นแร่ที่มีความแข็ง 1 ตามสเกลของโมส์ ซึ่งอ่อนมากจนสามารถใช้เล็บขูดเป็นรอยได้ คุณลักษณะที่สำคัญของทัลคัม มีดังนี้

1. มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนสูง
2. ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7-2.8
3. มีการขยายตัวหลังจากอบแห้ง
4. สามารถบดให้เป็นผงละเอียดได้ง่าย
5. มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนสูง
6. เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนที่ 900-1000 °C เนื่องจากเกิดการสลายตัวของน้ำในโครงสร้างผลึก






ภาพที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของแร่ทัลคัม

จากโครงสร้างทางเคมีของแร่ทัลคัม ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ มีสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) จาก hydrophilic polar groups คือ –OH (hydroxyl group) เมื่อให้ความร้อน หรือเผา จะเกิดปฏิกิริยา Dehydration reaction หรือการไล่น้ำออก (การคายของโมเลกุล $H_2O$) ได้ผลิตภัณฑ์เป็น magnesium silicate ($MgSiO_3$) และ silica ($SiO_2$) และน้ำ ($H_20$) ดังนี้

$$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2(s) \longrightarrow 3MgSiO_3(s) + SiO_2(s) + H_2O(g)$$

ซึ่ง $MgSiO_3$ และ $SiO_2$ มีสมบัติเป็น hydrophobic คือไม่ชอบน้ำ จะสะท้อนน้ำทำให้น้ำไม่เกาะผิว

**ประโยชน์ของแร่ทัลก์** ป่นเป็นผงเพื่อใช้ทำสี เครื่องปั้นดินเผา ยาฆ่าแมลง วัสดุมุงหลังคา วัสดุทนไฟ ใช้บุผนังแบบหล่อ ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ยาง พลาสติกและสิ่งทอ ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่นใช้ทำแป้งฝุ่นทาหน้า ฝุ่นโรยตัวประโยชน์

**แหล่งที่พบ** ในประเทศไทย พบได้ในจังหวัดอุตรดิตถ์ กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ และจันทบุรี ในต่างประเทศ พบได้ในประเทศออสเตรเลีย บราซิล ตุรกี โอมานและประเทศในแถบตะวันออกกลาง

**โทษของแร่ทัลก์** นอกจากมีประโยชน์สำหรับมนุษย์แล้ว ก็มีโทษสำหรับมนุษย์ด้วยเช่นกัน กรณีสัมผัสทางผิวหนัง หรือสูดดมเข้าไป จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและระบบทางเดินหายใจส่วนบน มีอาการคันคอ และเนื่องจากแร่ทัลก์ถูกรายงานว่าเป็น หรือมีส่วนประกอบเป็นสารที่อาจจะก่อมะเร็ง ถ้าสูดดมเป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดมะเร็ง และจากการศึกษาพบว่า แร่ทัลก์มีอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังนี้

1. อันตรายต่อปอด การที่เราสูดดมผงแป้งที่ลอยอยู่ในอากาศเข้าไปในทางเดินหายใจทีละน้อยเป็นระยะเวลานาน มันจะเข้าไปสะสมอยู่ในปอด โดยที่เซลล์บุผิวปอดจะจับแป้งไว้เป็นก้อน เรียกว่า pneumoconiosis ทำให้มีปัญหาในการหายใจ นอกจากนี้การที่แร่ทัลก์ มีส่วนประกอบของซิลิกา(Silica) การสูดดมซิลิกาในรูปที่เป็นผลึกติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน อาจทำให้เกิดโรคปอด ทำให้การทำงานของปอดผิดปกติอันเนื่องมาจากการเกิดพังผืดและปุ่มเนื้อในปอด ทำให้มีอาการไอแห้งๆ หายใจถี่ ถุงลมโป่งพอง ทรวงอกขยายตัวได้น้อยลง และเพิ่มความไวต่อการเป็นวัณโรค ในระยะสุดท้ายจะสูญเสียความอยากอาหาร และหมดสมรรถภาพการทำงาน และถ้าทารกสูดเอาแป้ง เข้าไปครั้งละมากๆ อาจทำให้ปอดอักเสบและตายจากสาเหตุดังกล่าว

2. อันตรายต่อรังไข่ จากการศึกษาวิจัย พบว่า การใช้แป้งบริเวณอวัยวะเพศ จะส่งผลกระทบต่อมนุษย์เรา โดยมีอัตราเสี่ยงในการเกิดมะเร็งรังไข่ มากถึง 2 เท่า และมีรายงานสนับสนุนพบว่า คนไข้ที่เป็นมะเร็งระยะที่ 3 ของรังไข่แบบ papillary serous จะมีแป้งอยู่ในต่อมน้ำเหลืองที่อุ้งเชิงกราน จึงสรุปได้ว่าการใช้แป้งบริเวณอวัยวะเพศ จะทำให้เกิดมะเร็งของรังไข่แบบเซลล์บุพื้นผิว (Epithelial cancer)โดยเชื่อว่า แป้งที่หลงเข้าไปในร่างกาย จะผ่านไปยังช่องคลอด มดลูก ท่อนำไข่และเข้าสู่ช่องท้อง ไม่สามารถย่อยสลายได้ในคน เนื่องจาก Talc เป็นสารอนินทรีย์ ทำให้เกิดการสะสม และกลายเป็นมะเร็งในที่สุด ซึ่งขณะนี้บางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ได้มีการเปลี่ยนจาก Talc มาเป็นแป้งข้าวโพด ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ในคนแทน โดยคาดว่าน่าจะปลอดภัยกว่า แต่ขณะนี้ยังไม่มีรายงานความเกี่ยวข้องระหว่างการใช้แป้งข้าวโพดกับการเกิดมะเร็งรังไข่นอกจากนี้เมื่อมีการศึกษาในหนูทดลอง พบว่า ถ้าหนูทดลองสูดดมสาร Talc เข้าไปภายในระยะเวลา 1-2 ปี จะก่อให้เกิดเนื้องอกของปอด ทรวงอก และระบบทางเดินหายใจ

**การใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก**

1. กระเบื้องเซรามิก มีการเติมทัลคัมลงไปเพื่อช่วยควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal expansion coefficient : COE) ของเนื้อกระเบื้องโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระเบื้องที่เผาที่อุณหภูมิต่ำเพื่อให้เหมาะกับค่า COE ของเคลือบ โดยจะช่วยป้องกันการรานตัว (delay crazing) เนื่องจากการขยายตัวเมื่อถูกความชื้นการเติมทัลคัมลงไป จะช่วยเพิ่มความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน (Thermal shock resistance) สำหรับกระเบื้องบุผนัง การเติมทัลคัมลงไปแทนที่พวกคาร์บอเนตบางส่วนจะช่วยให้การเผาเร็วขึ้นทั้งในช่วงการเผาและช่วงการเย็นตัวสำหรับกระเบื้องที่มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำ (Vitrified tile) การเติมทัลคัมลงไปในปริมาณไม่มากนักจะช่วยลดอุณหภูมิในการเผาลง รวมทั้งลดเวลาในการเผาลงด้วย ทำให้เกิด liquid phase sintering ได้ดีขึ้น และการเกิดแก้วในเนื้อกระเบื้องจะเกิดได้เร็วขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง

2. สุขภัณฑ์และพวกของใช้บนโต๊ะอาหาร จะเติมทัลคัมลงไปเล็กน้อย เพื่อช่วยในเรื่องค่าความต้านทานการลดอุณหภูมิแบบฉับพลัน (Thermal shock resistance) และสำหรับในทั้งผิวมันและผิวด้าน ขึ้นกับปริมาณที่เติมลงไป โดยเฉพาะเคลือบผิวด้าน (Matt glaze) จะให้พื้นผิวที่ดูแวววาวคล้ายผ้าไหม บางครั้งจึงเรียกว่า Silk glaze หรือ Satin matt แต่ข้อจำกัดของการใช้ ทัลคัมในเคลือบก็คือ ปัญหาเรื่องการบวมน้ำ (swelling) ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติการไหลตัวของเคลือบเปลี่ยนไปเมื่อเวลาเปลี่ยนไป (Thixotropic) และจะทำให้เคลือบอืดตัวและทำการชุบเคลือบหรือการสเปรย์เคลือบได้ยาก นอกจากนี้ยังมีการใช้ทัลคัมสำหรับทาแบบปลาสเตอร์เพื่อที่จะช่วยให้การแกะแบบง่ายขึ้นด้วย

3. วัสดุทนไฟ(Refractory) มักจะใช้ทัลคัมสำหรับผลิตภัณฑ์ Kiln furniture ที่เป็นเนื้อคอร์เดียไรท์ (2MgO 2Al2O3 5SiO2) เนื่องจากคอร์เดียไรท์เป็นสารที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากความร้อนต่ำมาก ประมาณ 1-2x10-6 °C-1 แต่คอร์เดียไรท์ที่เกิดขึ้นโดยตรงจากธรรมชาตินั้นมีได้น้อย และไม่ค่อยเสถียร เนื่องจากอุณหภูมิที่เกิดคอร์เดียไรท์นั้นเป็นช่วงที่แคบมาก การใช้ทัลคัมเพื่อเป็นแหล่งของ MgO กับ SiO2 และพวก Mullite จะสามารถผลิตเนื้อคอร์เดียไรท์ที่ใช้กับการผลิต Kiln furniture ที่ต้องการสมบัติด้าน Thermal shock resistance ที่ดี แต่การเติมทัลคัมลงไปก็จะทำให้ความทนไฟของ kiln furniture ลดต่ำลง จึงจำเป็นต้องหาจุดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตด้วยเนื้อดินคอร์เดียไรท์นั้น สามารถผลิตได้จากการนำดินขาว ดินดำ ทัลคัมและอลูมิน่ามาผสมรวมกันใน Dry pan mill โดยควบคุมค่าความละเอียดให้มีขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อคุณสมบัติด้านความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนที่ดี

ภาพที่ 2.3 กระบวนการผลิตวัสดุทนไฟ

4. อิฐ (Brick) การเติมทัลคัมลงไปเล็กน้อยจะช่วยปรับปรุงการรีดของชิ้นงานได้ดีขึ้น เนื่องจากทัลคัมจะเป็นตัวหล่อลื่น (เนื่องจากโครงสร้างที่มีการ slip ได้ง่าย) ทำให้ผิวของอิฐที่รีดออกมาเรียบขึ้น และสำหรับอิฐแบบกลวง (Hollow brick) ที่ต้องมีแบบรีดที่มีรู การเติมทัลคัมลงไปในเนื้อดินเล็กน้อยจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการรีดดีขึ้น แต่ไม่ควรเติมลงไปมากเนื่องจากทัลคัมจะมีปัญหาการขยายตัวหลังรีด และการแห้งตัวที่ช้า ซึ่งจะทำให้อิฐแตกร้าวในระหว่างอบแห้งได้

5. การใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ ทัลคัมเป็นตัว filler กระดาษ และพลาสติก ใช้เป็นผงดับกลิ่นสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้เป็นส่วนผสมในแป้งทาตัวเป็นตัวหล่อลื่นเพื่อช่วยยืดอายุแบบในอุตสาหกรรมโลหะ และใช้เป็นส่วนผสมในยาฆ่าแมลง

## 2.2 เทคโนโลยีการอัดขึ้นรูปวัสดุ

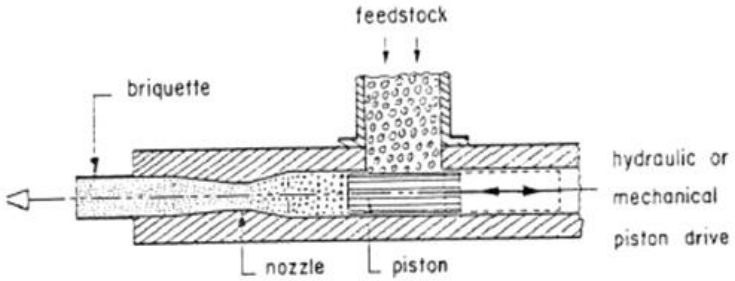
การอัดก้อนวัสดุต่างๆ นั้น อาจแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การอัดโดยใช้ความร้อนและการอัดโดยไม่ใช้ความร้อน ซึ่งการอัดโดยใช้ความร้อนช่วยเหมาะสำหรับวัสดุที่มีลิกโน-เซลลูโลส เช่นเศษไม้ แกลบ ขี้เลื่อย ส่วนการอัดโดยไม่ใช้ความร้อน สามารถแยกได้ 2 แบบ คือ แบบใช้ตัวประสานและไม่ใช้ตัวประสาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการอัดขึ้นรูปวัสดุ ได้แก่

- ปริมาณความชื้น (Moisture Content)
- ขนาดของวัตถุดิบ (Particle Size)
- แรงดันที่ใช้ในการอัด (Pressure)
- อุณหภูมิของวัสดุ (Temperature)

**ประเภทของเครื่องอัดวัสดุ** แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

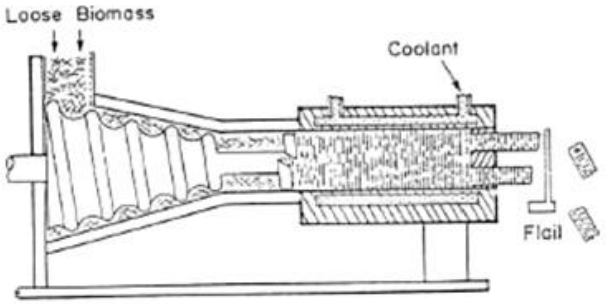
1. เครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ (Piston Press) เครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบประกอบด้วยลูกสูบที่ใช้สำหรับอัดวัตถุดิบที่ป้อนลงมาจากฮอปเปอร์ และจะถูกอัดผ่านหัวดายซึ่งให้ความร้อนอยู่ที่ 150 - 300 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปแล้วเครื่องอัดจะใช้พลังงานไฟฟ้าในการอัด แต่ในยุโรปนิยมใช้ไฮดรอลิก โดยรูปร่างของผลิตภัณฑ์นั้นขึ้นอยู่กับการเย็นตัวลงหลังจากวัตถุดิบผ่านหัวดาย โดยทั่วไปแล้วเครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบสามารถมีกำลังการผลิตได้ประมาณ 40 - 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 - 100 มิลลิเมตร




ภาพที่ 2.4 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ

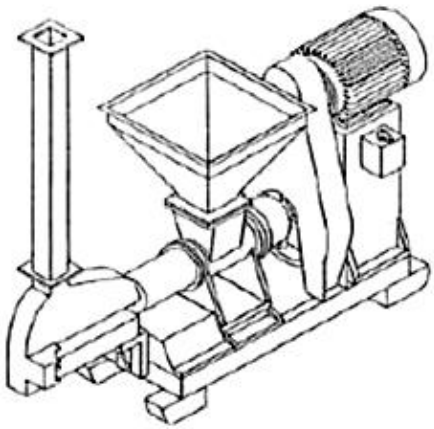
2. เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) เป็นเครื่องมือที่อัดโดยวัตถุดิบจะถูกป้อนผ่านฮอปเปอร์ และจะถูกอัดโดยเกลียวอัด โดยทั่วไปแล้วเครื่องอัดแบบเกลียวอัดแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

2.1 เครื่องอัดแบบเกลียวกรวย (Conical Screw Press) เครื่องอัดแบบเกลียวกรวยจะอัดวัตถุดิบผ่านหัวดายโดยหัวดายแบบเจาะให้เป็นรู (Perforated matrix) โดยส่วนมากจะทำเป็น 2 รูและจะให้ผลิตภัณฑ์มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร ส่วนความยาวนั้นขึ้นอยู่กับมีดที่จะตัด ส่วนหัวดายแบบรูเดียว (Single-matrix) จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร




ภาพที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแบบเกลียวกรวย

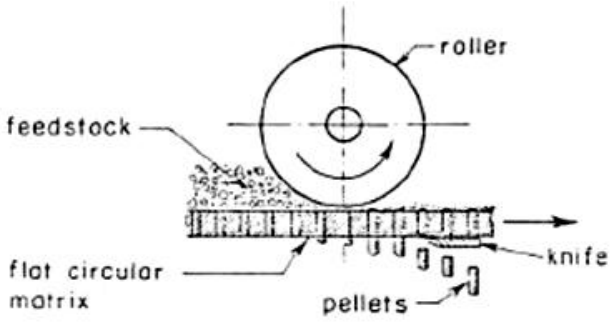
2.2 เครื่องอัดแบบเกลียวให้ความร้อนที่หัวดาย (Screw Press with Heated die) วัตถุดิบจะถูกอัดโดยสกูรผ่านหัวดายที่ให้ความร้อน โดยหัวดายนี้จะทำหน้าที่ป้องกันการรวมตัวกันของวัตถุดิบอันเนื่องมาจากการหมุนของเกลียว โดยหัวดายนจะได้รับความร้อนประมาณ 300 องศาเซลเซียส และสามารถให้ความร้อนแก่วัตถุดิบประมาณ 200 องศาเซลเซียส ประมาณในกระบวนการผลิตโดยทั่วไปแล้วจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการส่งแรงอัด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนยกลางประมาณ 5 - 10 เซนติเมตร



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่องอัดแบบเกลียวให้ความร้อนที่หัวดาย

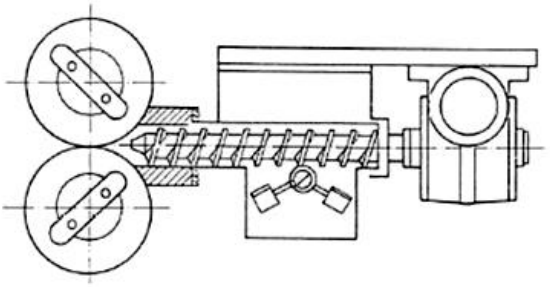
2.3 เครื่องอัดแบบเกลียวคู่ (Twin screw press) จะประกอบด้วยแกนหมุน 2 แกนที่เชื่อมติดกับส่วนของเกลียวโดยจะมีการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำ ซึ่งจะทำให้วัตถุดิบที่มีความร้อนสูงขึ้นถึง 250 องศาเซลเซียส และไอน้ำที่ใช้แล้วนั้นจะถูกควบแน่นโดยน้ำหล่อเย็น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาด 3-8 มิลลิเมตร และมีความชื้น 25%

3. เครื่องอัดเม็ดหรืออัดเป็นแท่งเล็กๆ (Palletizing press) เป็นเครื่องอัดแท่งอีกชนิดหนึ่งซึ่งประกอบด้วยร่องและลูกกลิ้ง โดยวัตถุดิบนั้นจะถูกอัดโดยลูกกลิ้งและผ่านร่องออกมา โดยเครื่องอัดชนิดนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบบ Ring Matrix Press และแบบ Disk Matrix Press โดยวัตถุดิบที่ไหลออกมาตามร่องนั้นจะถูกตัดโดยมีด โดยเราสามารถกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ได้ โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์จะมีขนาดประมาณ 5-15 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 30 มิลลิเมตร




ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบของเครื่องอัดเม็ดเป็นแท่งเล็กๆ

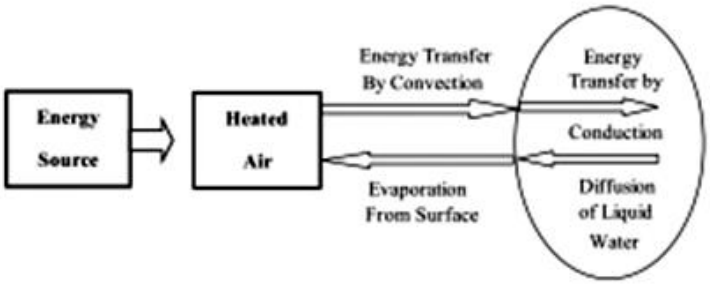
4. เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง (Roll Press) ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 อัน ทำหน้าที่อัดวัตถุดิบ เครื่องอัดชนิดนี้ต่างจากชนิดอื่นคือ ต้องป้อนวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กกว่าแบบอื่นๆ และต้องใช้ตัวประสานในกระบวนการ เนื่องจากไม่สามารถอัดวัตถุดิบได้แน่น เพราะเวลาที่ใช้ในการอัดนั้นสั้นเกินไปสำหรับการให้ความร้อนและความดันในสภาวะที่เหมาะสม



ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบของเครื่องอัดเม็ดแบบลูกกลิ้ง

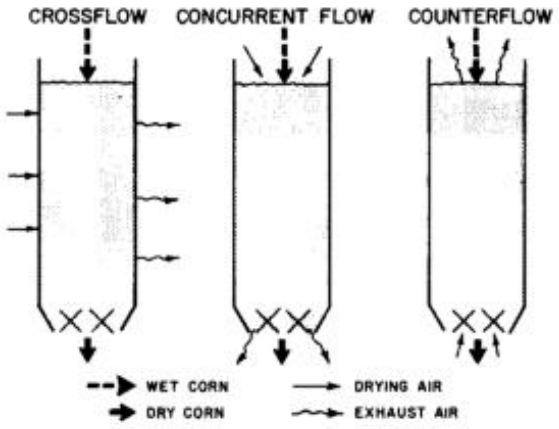
**2.3 เทคโนโลยีการลดความชื้น**

คือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อนำความชื้นออกโดยการระเหย ซึ่งเทคโนโลยีการลดความชื้น เริ่มต้นจากการใช้ลมร้อนเป่าผ่านผลผลิต เพื่อเคลื่อนย้ายความชื้นออกไปจากตัวผลผลิตที่อยู่กับที่ โดยอุณหภูมิของผลผลิตจะยังไม่เพิ่มขึ้น จนกว่าความชื้นที่ผิวของผลผลิตจะระเหยออกไปหมด จากนั้นอุณหภูมิภายในของผลผลิตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้น้ำในผลผลิตค่อยๆ เคลื่อนตัวมาที่ผิว แล้วเคลื่อนตัวออกสู่ลมร้อนในกระบวนการ



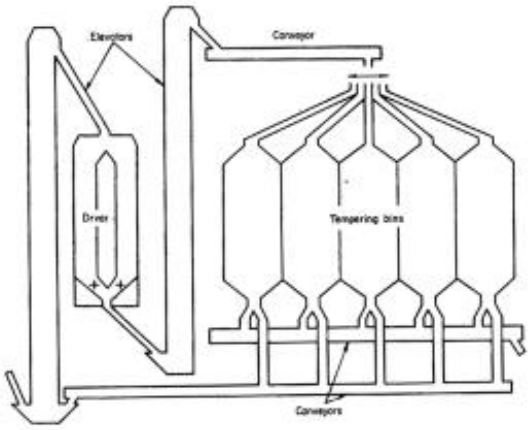

ภาพที่ 2.9 กระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน

การลดความชื้นแบบลมร้อนสามารถแบ่งตามภาชนะบรรจุผลได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบเบดนิ่ง (Fixed-bed type) และแบบเบดเคลื่อนไหว (Moving-bed type) ซึ่งภาชนะบรรจุแบบเบดเคลื่อนไหวยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 แบบ ตามลักษณะการไหลของผลผลิตและลมร้อน ได้แก่ แบบไหลขวาง (Cross flow Dryer) แบบไหลตาม (Concurrent flow Dryer) และแบบไหลสวนทาง (Counter flow Dryer)




ภาพที่ 2.10 การลดความชื้นด้วยภาชนะบรรจุแบบเบดเคลื่อนไหว

ซึ่งภาชนะทั้งสามแบบนี้ เหมาะสำหรับกระบวนการลดความชื้นในระดับกลางและระดับใหญ่ เนื่องจากมีการใช้อุณหภูมิสูงและอัตราการไหลของอากาศมาก ทำให้สามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว แต่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากและต้องมีระบบความปลอดภัยอย่างดี

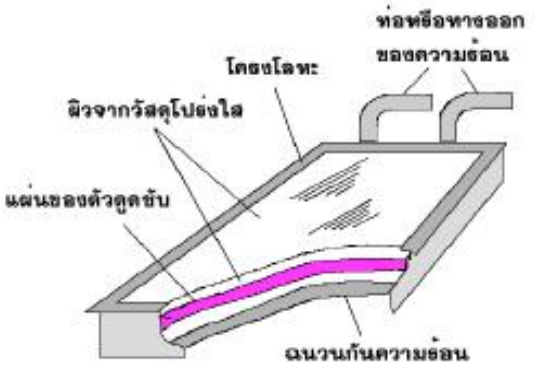



ภาพที่ 2.11 กระบวนการลดความชื้นด้วยภาชนะบรรจุแบบเบดเคลื่อนไหว

**2.4 ความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์**

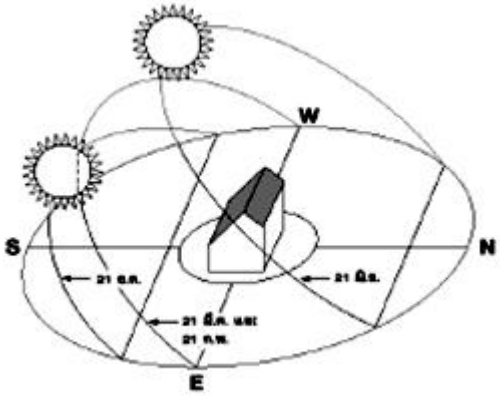
การนำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการใช้ประโยชน์จากรังสีดวงอาทิตย์เพื่อผลิตเป็นความร้อน โดยมีส่วนประกอบสำคัญคือมีตัวกักเก็บความร้อน (Solar collectors) ถังกักเก็บน้ำร้อน (Storage tanks) และปั๊มน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าเป็นระบบแบบใด สำหรับการทำงานของตัวกักเก็บความร้อนที่มีรูปร่างลักษณะเป็นกล่องหรือกรอบ โดยมีส่วนประกอบหลัก ดังต่อไปนี้

1. มีผนังโปร่งใสเป็นผิวด้านที่รับพลังงานจาก แสงอาทิตย์
2. มีผิวสีดำหรือสีทึบด้านใน เพื่อทำหน้าที่เป็น ตัวดูดซับความร้อน
3. มีการหุ้มฉนวน เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนที่ดูดซับไว้รั่วไหลออกจากเครื่อง
4. มีท่อหรือทางออกของความร้อน ซึ่งจะเป็น ช่องทางนำความร้อนที่กักเก็บไว้ออกไปใช้งาน โดยผ่าน ตัวนำ เช่น น้ำ หรือของเหลวอื่นๆ



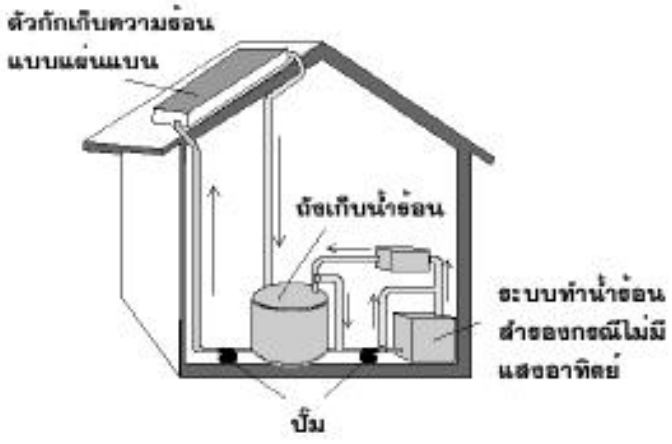

ภาพที่ 2.12 ส่วนประกอบของตัวกักเก็บความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์

ในการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นั้น มีทั้งระบบแอ็คทีฟ (Active Solar Heater) และระบบพาสซีฟ (Passive Solar Heater) ซึ่งระบบแอ็คทีฟจะมีการใช้ปั๊มน้ำแบบใช้ไฟฟ้าในการบังคับการไหลหมุนเวียน ของของเหลวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน ส่วนระบบพาสซีฟจะไม่มีปั๊ม แต่จะใช้การเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของของเหลวในการถ่ายเทความร้อนแทน สำหรับปริมาณน้ำร้อนที่จะผลิตได้ จะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของระบบ นอกจากนั้นปริมาณแสงอาทิตย์ลักษณะมุมเอียงและทิศทางสำหรับการติดตั้งตัวกักเก็บความร้อนก็มีผลต่อปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้ด้วย



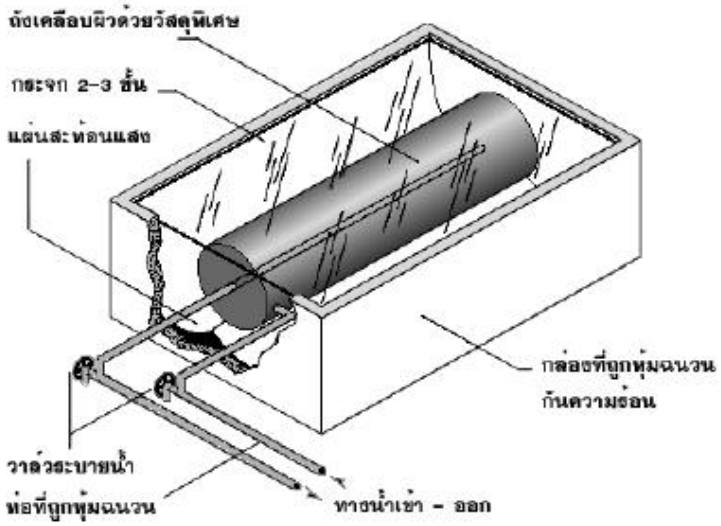

ภาพที่ 2.13 ลักษณะมุมเอียงและทิศทางสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์กักเก็บความร้อน

ลักษณะของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบแอ็คทีฟ สามารถแยกเป็นแบบระบบเปิดหรือแบบส่งน้ำร้อนโดยตรง (Open loop or Direct) ซึ่งน้ำที่ผ่านอุปกรณ์กักเก็บความร้อนจะถูกนำไปใช้งานทันที และแบบระบบปิดหรือแบบส่งน้ำร้อนทางอ้อม (Closed loop or Indirect) จะอาศัยของเหลวที่ใช้ถ่ายเทความร้อนจากตัวกักเก็บความร้อนส่งมายังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) สำหรับนำความร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนประเภทอื่นเพื่อสำรองในกรณีไม่มีแสงอาทิตย์




ภาพที่ 2.14 เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบแอ็คทีฟ

ส่วนลักษณะของเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบพาสซีฟ ระบบนี้จะไม่ใช้ปั๊มในการทำให้ของเหลวที่ใช้ระบบเคลื่อนที่ ซึ่งผลดีคือไม่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อาจเสียได้ ทำให้อายุการใช้งานนานและมีการบำรุงรักษาง่ายกว่าระบบแอคทีฟ นอกจากนั้นเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบพาสซีฟ ยังมีราคาถูกกว่าระบบแอ็คทีฟ แต่มีข้อเสียตรงที่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าระบบแอ็คทีฟ




ภาพที่ 2.15 เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบพาสซีฟ

**2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องผสมและอัดเม็ดสำหรับการขึ้นรูปผงแร่ทัมคัม พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการศึกษาในโครงการวิจัยดังต่อไปนี้

สังเวย เสวกวิหารี (2551) การวิจัยนี้เป็นผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์โดยใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสานผ่านกระบวนการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดมือ ได้แท่งเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพใช้ในการหุงต้มได้ดีไม่แตกประทุ ติดไฟได้ดีมากและให้ค่าความร้อนสูง 6,022 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งผลงานวิจัยชิ้นนี้ได้ถ่ายทอดแก่ชุมชนชาวบ้านเกาะพะยอม จังหวัดระนองซึ่งเป็นพื้นที่ๆมีการปลูกและจำหน่ายมะม่วงหิมพานต์แห่งหนึ่งของประเทศ

ธนะวิทย์ ทองวิเชียร และคณะ (2554) ได้ทำการวิจัยเรื่องเครื่องหีบปาล์มน้ำมันแบบเกลียวอัดโดยเป็นงานวิจัยที่สร้างเครื่องหีบปาล์มน้ำมันจากปาล์มน้ำมันสดขนาดเล็กโดยใช้หลักการบีบอัดของเกลียวอัดเป็นตัวบีบอัดผลปาล์มน้ำมันสด โดยรับกำลังขับจากมอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลังขนาด 1 แรงม้า ผ่านเกียร์ทดเพื่อให้ความเร็วรอบของเกลียวอัดเท่ากับ 24 รอบต่อนาที ในการทดสอบนำผลปาล์มน้ำมันสดมาเข้าเครื่องหีบน้ำมันแบบเกลียวอัดแล้วได้กากปาล์มที่ค่อนข่างละเอียดออกมา โดยเครื่องหีบปาล์มน้ำมันแบบเกลียวอัดนี้มีความสามารถในการหีบปาล์มน้ำมันสดได้ 3 กิโลกรัมในเวลา 18 นาที

สุชาติ ไพศาลภูมิ และคณะ (2537) ได้ศึกษาการบีบน้ำมันโดยวิธการอัดด้วยสกรู (Screw Presses) โดยการบีบน้ำมันจากงาดำ งาขาว และมัสตาร์ด พร้อมทั้งออกแบบและสร้างเครื่องบีบอัดน้ำมันด้วยสกรู ซึ่งเริ่มจากการศึกษาหลักการของการบีบน้ำมันด้วยวิธทางกล แล้วนำหลักการที่ศึกษาได้มาออกแบบเครื่องบีบน้ำมันแบบสกรู ผลจากการทดสอบบีบมัสตาร์ดปรากฏว่า สามารถผลิตน้ำมันได้ 2.54 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยป้อนวัตถุดิบ 7.25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพของเครื่อง 69 เปอร์เซนต์ ผลจากการทดสอบบีบงาดำปรากฏว่าสามารถผลิตน้ำมันได้ 0.93 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยต้องป้อนวัตถุดิบ 7.27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพของเครื่อง 25 เปอรเซนต์ ผลจากการทดสอบบีบงาขาวปรากฏว่าสามารถผลิตน้ำมันได้ 1.08 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยต้องป้อนวัตถุดิบ 7.39 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพของเครื่อง 53 เปอร์เซนต์ เครื่องที่ทดสอบจะใช้พลังงานคิดเป็นค่ากระแสไฟประมาณ 1.84 บาทต่อชั่วโมง

จีรพจน์ ไทรทองคา และคณะ (2550) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องบีบอัดน้ำมันจากรำข้าว โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะทำการสร้างเครื่องบีบอัดน้ำมันรำข้าวขนาดเล็กสำหรับกลุ่มเกษตรกรและเป็นการศึกษาถึงลักษณะการทำงานของสกรูอัด เครื่องที่จะสร้างขึ้นทำงานโดยการใช้สกรูอัดรับกำลังขับมาจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า ปรับความเร็วรอบโดยใช้อินเวอร์เตอร์และผ่านชุดเกียร์ทด 1:68 โดยได้ทำการออกแบบสกรูแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทำงาน คือ ลำเลียง บีบอัด ซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีข้อเสียของแต่ละแบบที่ได้ทำการศึกษามาปรับปรุง รวมถึงกระบอกสกรูแบบสลักลิ่มเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยขั้นตอนหลัก ๆ ในการทดลอง ดังนี้ เริ่มจากการเตรียมรำขาวต้องเป็นรำขาวที่เพิ่งออกจากโรงสีแล้วเอาเข้าเครื่องบีบอัดน้ำมันรำข้าว โดยใช้ความเร็วรอบที่ 5, 10,15 และ 20 รอบต่อนาที และปรับระยะห่างของช่องระบายกากในแนวรัศมี 1 และ 2 มิลลิเมตร ผลปรากฏว่าที่ความเร็วรอบที่ 5 รอบต่อนาทีได้ปริมาณน้ำมัน 600 มิลลิลิตรและระยะห่าง 1 มิลลิเมตรโดยใช้รำข้าวจำนวน10 กิโลกรัม

ธีรวุธ มาตย์วิเศษ และคณะ (2549) ได้ศึกษาความเร็วเกลียวอัดที่เหมาะสมสำหรับการบีบน้ำมันปาล์มจากเครื่องบีบน้ำมันจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการหาความเร็วเกลียวอัดที่เหมาะสมสำหรับบีบน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม โดยใช้เครื่องบีบน้ำมันจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ทดสอบความเร็วรอบของเกลียวอัด 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 รอบต่อนาที โดยมีค่าชี้ผลคือเปอร์เซนต์น้ำมันดิบ และเปอร์เซนต์เมล็ดสมบูรณ์ พบว่า ความเร็วรอบเกลียวอัดไม่มีผลต่อเปอร์เซนต์น้ำมันดิบ โดยที่เปอร์เซนต์เมล็ดสมบูรณ์จะมีค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบเกลียวอัด 15 รอบต่อนาที แต่เมื่อพิจารณาค่าชี้ผลทั้ง 2 ค่า แล้ว ความเร็วรอบเกลียวอัดที่ระดับ10 รอบต่อนาที ก็ให้ผลที่ดีกว่าที่ความเร็วรอบที่ระดับ 15 และ 20 รอบต่อนาที แม้ว่าที่ระดับ 20รอบต่อนาที จะให้เปอร์เซนต์เมล็ดสมบูรณ์น้อยกว่าก็ตาม แตกเพียง 0.93 เปอร์เซนต์ เท่านั้น แต่ความเร็วรอบเกลียวอัด10 รอบต่อนาที ส่งผลให้มีเปอร์เซนต์น้ำมันดิบมากกว่าถึง 1.6 เปอร์เซนต์

คมสันต์ เม่ากลาง (2546) ได้ศึกษาเครื่องบีบอัดน้ำมันจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แบบเกลียวอัด โดยขนาดของเครื่องมีความกว้าง 1.2 เมตร ยาว 1.5 เมตร สูง 1.5 เมตร ใช้มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้าเป็นต้นกำลังในการบีบอัด กระบอกบีบอัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 117 มิลลิเมตร เกลียวอัดมีลักษณะเป็นเกลียวแกนเรียวประมาณ 3 องศา โดยในช่วงปลายเกลียวจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่าช่วงต้นเกลียว ความยาวของช่วงเกลียวอัด 710 มิลลิเมตร โดยมีหลักการทำงานเริ่มจากการป้อนเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผ่านชุดป้อน เข้าไปยังกระบอกอัดหลังจากนั้นเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะถูกเกลียวอัดลำเลียงเข้าไปในกระบอกอัด และในขณะเดียวกันนั้น เกลียวอัดจะทำหน้าที่บีบอัดเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปด้วย เนื่องจากแกนเกลียวมีความเรียว การบีบอัดจะเกิดขึ้นตั้งแต่ต้นเกลียวจนถึงปลายเกลียว ซึ่งบริเวณปลายเกลียวจะมีการบีบอัดมากที่สุด และมีน้ำมัน CNSL ออกมากในช่วงนี้ เนื่องจากช่องคายกากเป็นช่องแคบ (5มิลลิเมตร) กากจะถูกคายออกผ่านช่องแคบดังกล่าว และน้ำมัน CNSL จะไหลออกจากกระบอกอัดตามรูระบายรอบ ๆ กระบอกอัด โดยเครื่องบีบอัดจะมีสมรรถนะในการบีบอัดน้ำมัน CNSL สูงสุดที่ความเร็วรอบเกลียวอัด 35 รอบ/นาที มีอัตราการป้อนเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 75 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งสามารถบีบอัดน้ำมัน CNSL ได้ในอัตรา 14.37 กิโลกรัม/ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบีบอัด 71.85 เปอร์เซ็นต์

สุริยะ สุกรินทร์ และคณะ (2554) ได้ศึกษาความเหมาะสมในการใช้งานของแผงผลิตน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับซอฟท์แวร์ Tmsys simulation ประกอบกับผลการวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์ในจังหวัดเชียงใหม่และกรุงเทพมหานคร พบว่า แผงผลิตน้ำร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศมีช่วงการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่แคบกว่าแบบแผ่นเรียบ เนื่องจากหลอดสุญญากาศสามารถปรับทิศทางการรับรังสีดวงอาทิตย์ได้ดีกว่า ทำให้มีประสิทธิภาพสูง แม้ว่าค่ารังสีของดวงอาทิตย์จะต่ำ เหมาะกับการงานที่ต้องการอุณหภูมิสูงและสามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบ มีน้ำหนักเบากว่าเมื่อเทียบกับแบบแผ่นเรียบ

แบงค์ ศรีสุข และวิทยา ยงเจริญ (2556) ได้ศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนแบบใช้น้ำเป็นตัวถ่ายเทความร้อนของระบบขนาด 0.79 ตารางเมตร ติดตั้งบนดาดฟ้าของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร โดยให้หน้าแผงหันไปทางทิศใต้และทำมุมกับพื้น 15 องศา โดยทำการทดสอบในช่วงเดือนตุลาคม ปี 2555 ตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. เป็นเวลา 10 วัน พบว่า เมื่อกำหนดอัตราการไหลของน้ำให้คงที่ 1.2 ลิตรต่อนาที จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 78 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน และสามารถผลิตความร้อนได้เฉลี่ย 1,181 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ที่อุณหภูมิ 41.7 องศาเซลเซียส

ทวีศักดิ์ มหาวรรณ์ และคณะ (2556) ได้ศึกษาและพัฒนาตู้อบหญ้าหวานโดยใช้แหล่งความร้อนจากก๊าซหุงต้มและพลังงานแสงอาทิตย์ ในการอบหญ้าหวานสดครั้งละ 3 กิโลกรัม ที่มีความชื้นโดยเฉลี่ยต่อครั้งประมาณ 76.68 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ระบบก๊าซเป็นตัวเริ่มให้ความร้อนไปยังห้องอบและใช้ความร้อนจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวกักเก็บความร้อน เพื่อลดการใช้ก๊าซในการเพิ่มความร้อนเข้าไปในตู้อบ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ความร้อนที่ได้จากระบบแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความเร็วของพัดลมดูดอากาศที่ 1,866 รอบต่อนาที มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถลดปริมาณการใช้ก๊าซหุงต้มลงได้ 2 เท่า และลดระยะเวลาในการอบได้ 6-7 เท่าต่อครั้ง โดยเหลือความชื้นคงค้างที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ แต่การนำพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้นั้น ทำให้ตู้อบจะมีประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงที่มีแสงแดดที่เหมาะสม และช่วยลดต้นทุนในการใช้ก๊าซหุงต้มได้อีกทางหนึ่ง

สรวิศ สอนสารี และคณะ (2557) ได้พัฒนาตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลาของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศ โดยใช้ค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมของจังหวัดพิษณุโลก ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น. ใช้ระบบกักเก็บความร้อนแบบปิด ในถังน้ำขนาด 600 ลิตร พบว่ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 78 เปอร์เซ็นต์ สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้ 95.31 ถึง 140.33 kWh/$m^2$ ต่อเดือน หรือสูงกว่า 1,200 kWh/$m^2$ ต่อปี ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ที่มีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนได้สูง

# บทที่ 3

# วิธีดำเนินการ

## 3.1 การสำรวจปัญหาและความต้องการ

ทีมคณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจปัญหาและความต้องการของผู้ประกอบการโรงงานแต่งแร่หินขาว-ทัลค์ ของบริษัทหล่อวัฒนาจำกัดตั้งอยู่เลขที่ 16 หมู่ 4 ตำบลงิ้วงาม อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ ผ่านกระบวนการประชุมและวางแผนการทำงานร่วมกันระหว่างทีมผู้วิจัยกับทีมผู้จัดการโรงงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 การลงพื้นที่สำรวจปัญหาและความต้องการของผู้ประกอบการโรงงานหล่อวัฒนา

**3.2 ศึกษาดูงานกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัม**

ทีมผู้จัดการโรงงานพาดูกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมและอธิบายการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่เครื่องบดอัดหินแร่ทัลคัมแบบหยาบ แบบละเอียด การคัดแยกแร่ การบรรจุถุงและการเก็บสินค้ารอจำหน่าย ดังแสดงในภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 ศึกษาดูงานกระบวนการผลิตและการจำหน่ายผงแร่ทัลคัมของโรงงาน

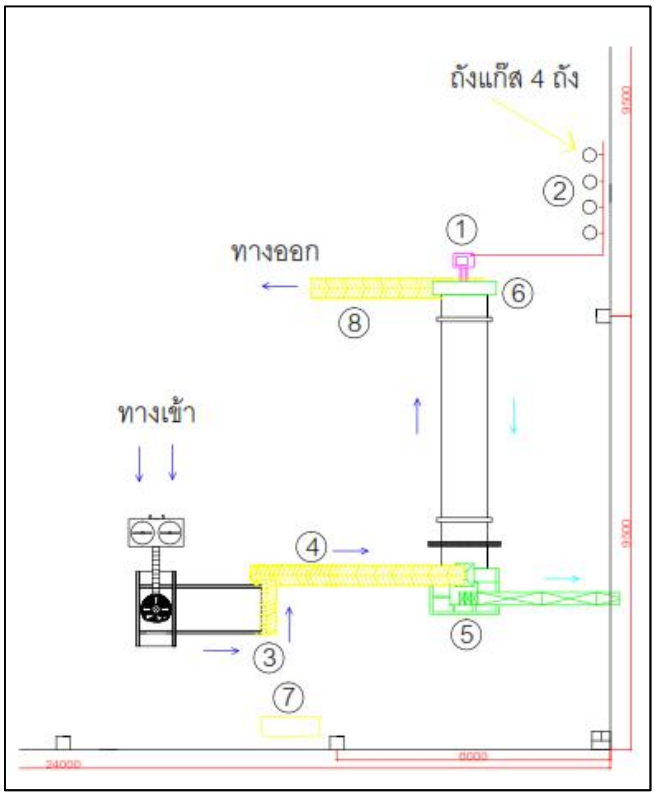
**3.3 สำรวจพื้นที่ติดตั้งกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

ทีมผู้จัดการโรงงานนำทีมคณะผู้วิจัยไปสำรวจบริเวณสถานที่ภายในโรงงานที่จะอนุญาตให้นำเครื่องจักรสำหรับติดตั้งกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดโดยผสมผสานความร้อนร่วมจากพลังงานแก๊สกับพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นบริเวณเก็บสินค้าเพื่อรอจำหน่าย ดังแสดงในภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3การสำรวจพื้นที่ติดตั้งกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

### 3.4 การวางผังโรงงานและตำแหน่งของเครื่องจักร

ทีมคณะผู้วิจัยดำเนินการเขียนแบบผังโรงงานตามสภาพพื้นที่จริงและออกแบบการวางตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องจักรตามขนาดจริงที่ได้ออกแบบตามกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยเริ่มจากระบบที่ใช้พลังงานแก๊สเป็นหลักก่อน ดังแสดงในภาพที่ 3.4




ภาพที่ 3.4 การออกแบบผังโรงงานสำหรับติดตั้งกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

รูปแบบผังโรงงานสำหรับติดตั้งกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดจะประกอบด้วย

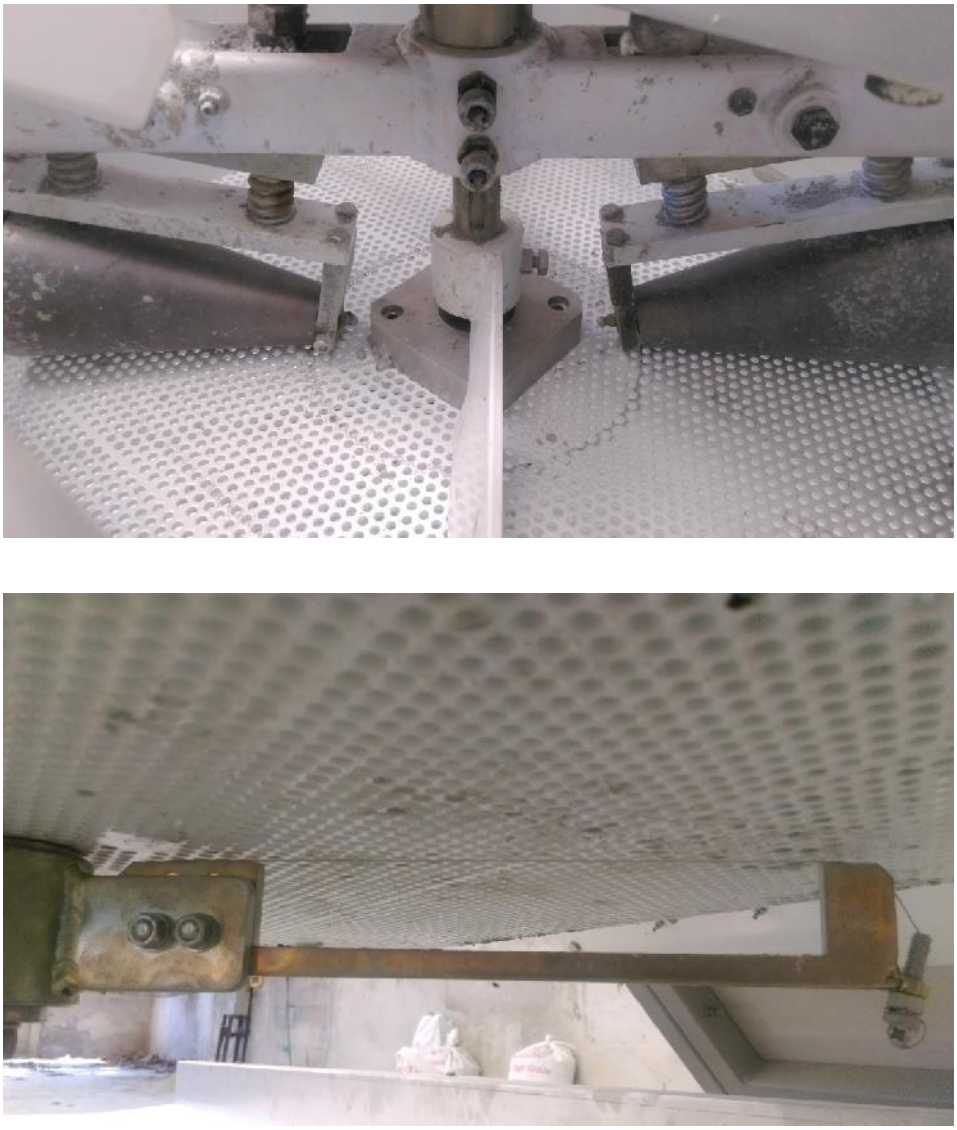
1. หัวพ่นไฟระบบเชื้อเพลิงแก๊ส
2. อุปกรณ์แก๊สและระบบป้องกัน
3. เครื่องผสมและขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด
4. สายพานลำเลียงวัตถุดิบเข้าท่อเตาอบแบบเป่าลมร้อน
5. ชุดปรับความเร็วลมร้อนพร้อมชุดลำเลียงทางเข้าวัตถุดิบ
6. เตาอบลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบถังหมุน
7. ตู้ควบคุมการทำงานและแสดงค่าอุณหภูมิทั้งระบบ
8. สายพานลำลียงวัตถุดิบและระบบการบรรจุถุง

**3.5 เครื่องผสมและขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

เครื่องผสมผงแร่ทัลคัมกับน้ำในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีอัตราการผลิตไม่น้อยกว่า 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง ดังนั้นเครื่องผสมจึงถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นแบบถังคู่ เนื่องจากขั้นตอนการผสมต้องอาศัยระยะเวลาให้ผงแร่ทัลคัมกับน้ำประสานเข้ากันได้ดีก่อนแล้วจึงจะถูกลำเลียงไปยังเครื่องอัดขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ซึ่งในแต่ละถังผสมนี้จะสามารถบรรจุผงแร่ทัลคัมได้ไม่เกินถังละ 25 กิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 3.5

ภาพที่ 3.5 เครื่องผสมผงแร่ทัลคัมกับน้ำแบบถังคู่

ส่วนขั้นตอนการเครื่องอัดขึ้นรูปนี้จะอาศัยหลักการใช้ลูกกลิ้งถ่วงน้ำหนัก กดและอัดผงแร่ทัลคัมที่ผสมกับน้ำแล้ว ทะลุผ่านตามรูตะแกรงตามขนาดที่กำหนด ให้ยาวออกมาเป็นท่อนแล้วใช้เส้นลวดสลิงเส้นเล็กแต่แข็งตัดให้ขาดออกจากกันให้เป็นรูปทรงกระบอกเล็กๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6เครื่องอัดขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมแบบใช้ลูกกลิ้งถ่วงน้ำหนัก

จากนั้นใช้ถาดแสตนเลสแบบเคลื่อนที่โยกไปมา ทำหน้าที่คลึงเม็ดทัลคัมให้กลมและไหลออกมาตามแนวลาดเอียงของถาดจนได้ผงแร่ทัลคัมในรูปแบบเม็ดตามขนาดที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 3.7

ภาพที่ 3.7 ลักษณะการปั้นคลึงผงแร่ทัลคัมให้เป็นรูปเม็ดกลม

### 3.6 เครื่องลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบเป่าลมร้อน

เครื่องลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบเป่าลมร้อนจะทำหน้าที่รับวัตถุดิบแร่ทัลคัมอัดเม็ดซึ่งได้จากเครื่องผสมและขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด เพื่อลดความชื้นที่เกิดจากกระบวนการขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยมีส่วนประกอบของเครื่องดังต่อไปนี้

#### 3.6.1 สายพานลำเลียงวัตถุดิบเข้าท่อเตาอบแบบเป่าลมร้อน

สายพานลำเลียงวัตถุดิบเข้าท่อเตาอบแบบเป่าลมร้อน ประกอบด้วยสายพาน 2 ชุด ได้แก่

1) สายพานลำเลียงวัตถุดิบจากถาดเหวี่ยงเครื่องผสมและขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด มีความยาว 1.2 เมตร วางต่อจากถาดเหวี่ยงเครื่องผสมและขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด เพื่อส่งต่อให้สายพานลำเลียงเข้าท่อเตาอบ ดังภาพที่ 3.8

ภาพที่ 3.8 สายพานลำเลียงวัตถุดิบจากถาดเหวี่ยงเครื่องผสมและขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

2) สายพานลำเลียงวัตถุดิบจากสายพานหน้าถาดเข้าท่อเตาอบ เป็นสายพานลำเลียงแบบบั้ง ใช้สำหรับลำเลียงแร่ทัลคัมอัดเม็ดเข้าท่อเตาอบในแนวลาดชัน มีความยาว 5 เมตร บั้งและยางติดเป็นเนื้อเดียวกันเพื่อความแข็งแรงและคงทนเพื่อการใช้งานที่นาน ดังภาพที่ 3.9

ภาพที่ 3.9 สายพานลำเลียงวัตถุดิบจากสายพานหน้าถาดเข้าท่อเตาอบ

**3.6.2 ชุดปรับความเร็วลมร้อนและชุดลำเลียงทางเข้าวัตถุดิบ**

ชุดปรับความเร็วลมร้อนทำหน้าที่ดูดความร้อนจากห้องเผาเข้าสู่เตาอบและดูดความชื้นที่เกิดจากการอบแร่ทัลคัมอัดเม็ดออกจากเตาอบทางช่องลมร้อน เพื่อให้สามารถทดสอบความเร็วร้อนมีผลต่อการอบหรือไม่ ทีมคณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้ INVERTER มาปรับความเร็วลมร้อน โดยสามารถปรับความเร็วลมร้อนอยู่ระหว่าง 0-10 เมตรต่อวินาที ส่วนชุดลำเลียงทางเข้าวัตถุดิบนั้นจะทำหน้าที่รับวัตถุดิบจากสายพานลำเลียงวัตถุดิบเพื่อจะส่งเข้าเตาอบ ดังภาพที่ 3.10 และภาพที่ 3.11

ภาพที่ 3.10 ชุดปรับความเร็วลมร้อนและชุดลำเลียงทางเข้าวัตถุดิบ

ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์ปรับความเร็วของลมร้อน

### 3.6.3 เตาอบลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบถังหมุน

เตาอบลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบถังหมุน ผลิตจากเหล็กแผ่นนำมาม้วนเป็นท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ภายในมีแผ่นเหล็กเป็นเกลียวเพื่อทำให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ในขณะที่ถังหมุน ภายนอกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน ขับเคลื่อนด้วนระบบสายพานและเฟืองทด และภาพที่ 3.12

ภาพที่ 3.12 เตาอบลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแบบถังหมุน

**3.6.4 ชุดหัวพ่นไฟระบบเชื้อเพลิงแก๊ส**

หัวพ่นไฟระบบเชื้อเพลิงแก๊สจะทำหน้าที่ให้ความร้อนกับเตาอบลดความชื้นผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยจะพ้นเปลวไฟในห้องเผา เมื่อเริ่มทำงานหัวพ่นไฟจะทำการตรวจสอบระบบความปลอดภัยจากนั้นจะจุดไฟพร้อมกับเปิดหัวเลี้ยงแก๊ส ซึ่งในขณะที่อุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่กำหนด อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิจะสั่งให้หัวพ่นไฟระบบเชื้อเพลิงแก๊สเปิดหัวเร่งแก๊ส หากอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ 10 เปอร์เซ็นต์ จะปิดหัวเร่งแก๊ส เปิดเฉพาะหัวเลี้ยงแก๊สเท่านั้น ดังภาพที่ 3.13 และภาพที่ 3.14

ภาพที่ 3.13 หัวพ่นไฟระบบเชื้อเพลิงแก๊ส

ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

**3.6.5 สายพานลำลียงวัตถุดิบเข้าระบบการบรรจุถุง**

สายพานลำลียงวัตถุดิบเข้าระบบการบรรจุถุง เป็นสายพานลำเลียงแบบบั้ง ใช้สำหรับลำเลียงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่ออกมาจากท่อเตาอบในแนวลาดชัน มีความยาว 4 เมตร เพื่อเตรียมเข้าสู่ระบบการบรรจุถุง ดังภาพที่ 3.15

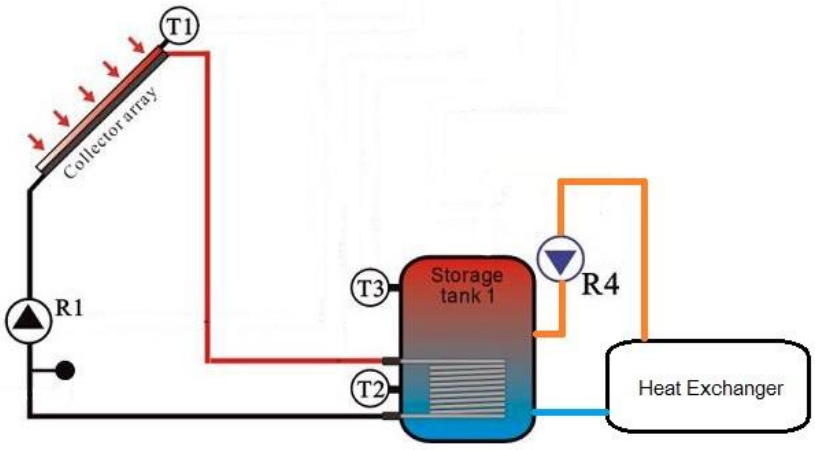
ภาพที่ 3.15 สายพานลำลียงวัตถุดิบเข้าระบบการบรรจุถุง

**3.7 ระบบทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์**

ระบบทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกเลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นระบบทำความร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีแบบใหม่ที่สามารถทำความร้อนได้อย่างรวดเร็วและสามารถทำความร้อนได้สูงถึง 90 องศาเซลเซียส แล้วนำความร้อนที่ได้มาเก็บสะสมไว้ในถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank) ที่มีวัสดุกันความร้อนห่อหุ้มโดยรอบเป็นอย่างดี ซึ่งระบบทำความร้อนแบบนี้ต้องอาศัยระบบปั๊มน้ำแบบแรงดันสูง (Pressure pump system) ในการหมุนเวียนน้ำสำหรับการพาความร้อนจากแผงสะสมความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector array) ที่ติดตั้งอยู่บนหลังคาไปยังถังกักเก็บความร้อนที่ติดตั้งอยู่ด้านล่าง โดยระบบสะสมความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์นี้จะถูกควบคุมให้สามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติตามที่ผู้ใช้กำหนด จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ

ส่วนลมร้อนที่จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการลดความชื้นนั้น คือความร้อนที่ถูกสะสมไว้ในรูปแบบของน้ำร้อนที่บรรจุอยู่ในถังเก็บขนาด 300 ลิตร ซึ่งเป็นคนละส่วนกับระบบสะสมความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำงานเองโดยอัตโนมัติ ที่ต้องอาศัยปั๊มน้ำที่ถูกต่อกับท่อทางออกของถังเก็บน้ำร้อน เพื่อนำน้ำร้อนออกมาใช้หรือส่งไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) สำหรับถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนให้เป็นลมร้อนแทน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการลดความชื้นต่อไป ส่วนน้ำร้อนที่ผ่าน

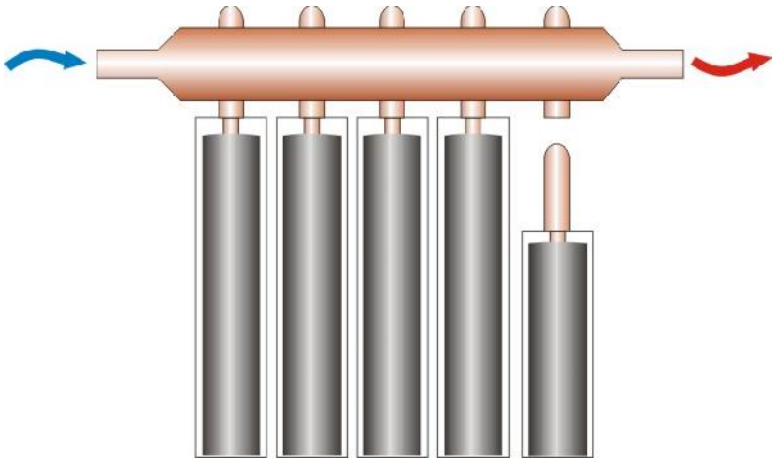
กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนมาแล้ว จะถูกส่งกลับไปยังถังเก็บความร้อนเหมือนเดิม เพื่อวนกลับไปนำความร้อนในถังสะสมความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ในกระบวนการอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งรูปแบบการทำงานของระบบสะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์และการนำไปใช้ประโยชน์ แสดงในภาพที่ 3.16




ภาพที่ 3.16 รูปแบบการสะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการลดความชื้น

### 3.7.1 การทำความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์

การติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นท่อสุญญากาศแบบหลอดแก้วสองชั้น ชนิดเดวาร์ (Dewar type หรือ all glass evacuated tube) ประกอบด้วยหลอดแก้วชั้นนอกเป็นแบบใสและผิวหลอดแก้วชั้นในเคลือบด้วยสารพิเศษที่มีคุณสมบัติเลือกรังสีทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนความร้อน ซึ่งช่องว่างระหว่างหลอดแก้วทั้งสองชั้นเป็นสุญญากาศและมีแท่งโลหะทองแดงสอดอยู่ภายในยาวตลอดทั้งหลอดแก้วเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนออกมาจากภายในหลอดแก้วสู่ระบบไหลเวียนน้ำที่ผ่านอยู่ด้านปลายของหลอด ดังแสดงในภาพที่ 3.17



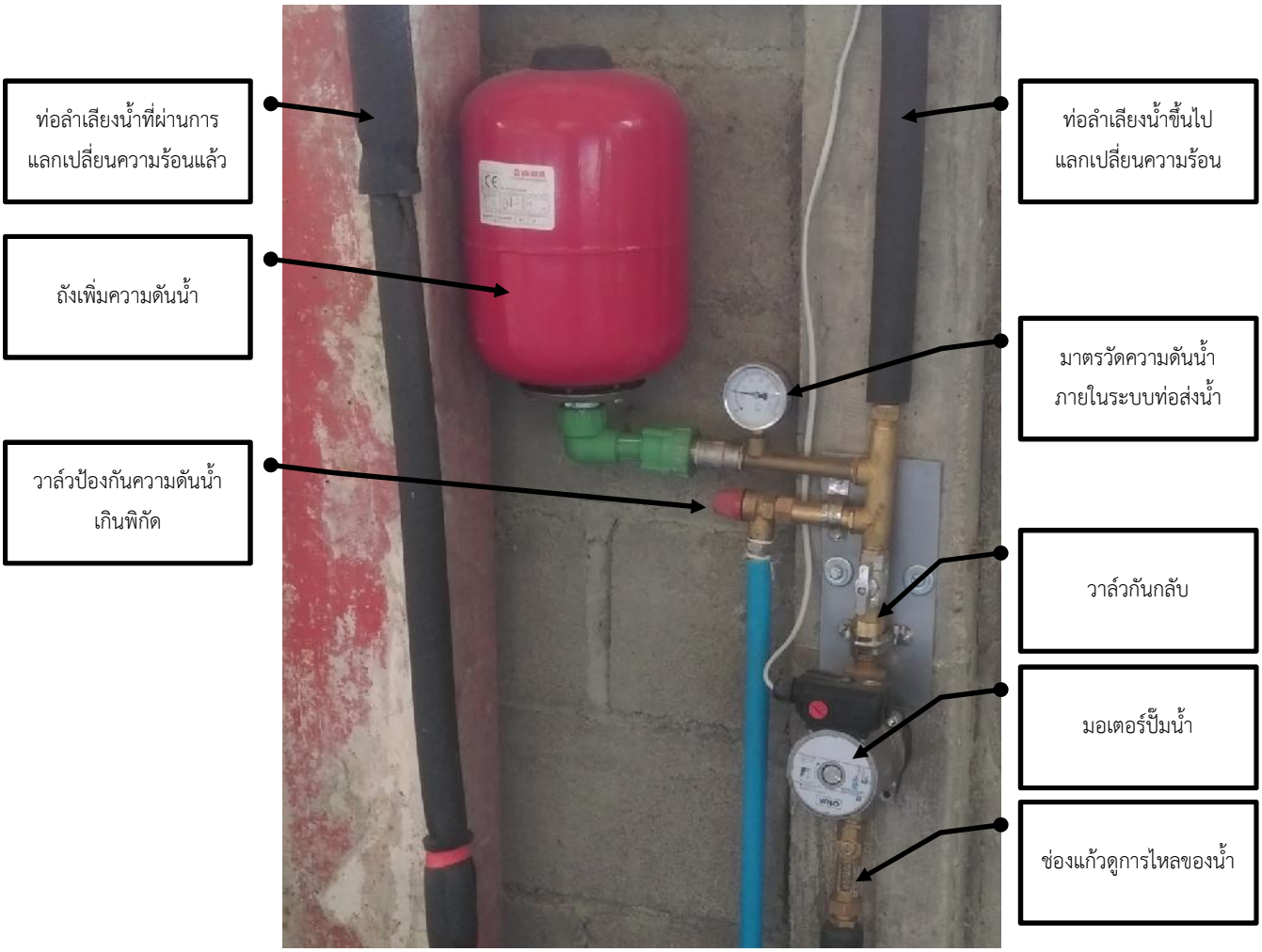
ภาพที่ 3.17 รูปแบบการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศชนิดเดวาร์

ภาพที่ 3.18 การเตรียมหลอดสุญญากาศและการประกอบเข้ากับชุดแลกเปลี่ยนความร้อน

ภาพที่ 3.19 การติดตั้งชุดแผงรับความร้อนชนิดหลอดสุญญากาศบนหลังคาโรงงาน

### 3.7.2 ระบบการหมุนเวียนน้ำ (Flow control system)

ระบบการหมุนเวียนน้ำถูกออกแบบให้ปั๊มและถังเพิ่มความดันในการส่งน้ำขึ้นไปนำความร้อนออกมาเก็บไว้ในถังเก็บความร้อนแบบมีฉนวนหุ้ม เนื่องจากตำแหน่งที่ติดตั้งแผงรับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่บนหลังคาโรงงานที่มีความสูงถึง 15 เมตร และต้องมีมาตรวัดความดันน้ำภายในระบบท่อกับวาล์วป้องกันความดันน้ำเกินพิกัด เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากการขยายตัวของน้ำ หากอยู่ในสภาวะที่มีความร้อนสะสมในระบบมากเกินไป ซึ่งการติดตั้งระบบการไหลเวียนน้ำสำหรับการนำความร้อนออกมาเก็บไว้ในถังเก็บความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 3.20




ภาพที่ 3.20 การติดตั้งระบบการไหลเวียนน้ำสำหรับการนำความร้อนออกมาเก็บไว้ในถังเก็บความร้อน

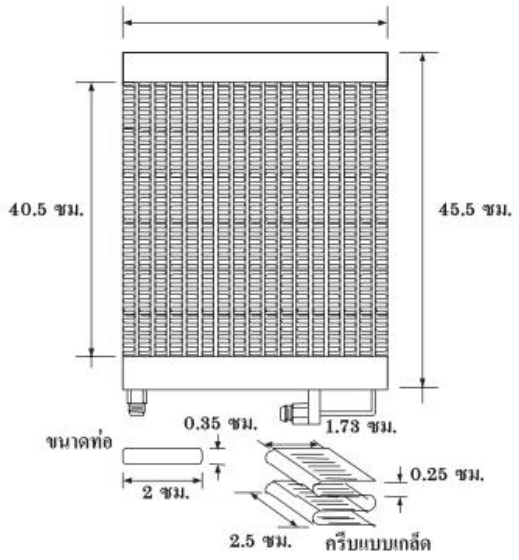
**3.7.3 ถังสะสมความร้อน (Storage Tank)**

ถังสะสมความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากต่อระบบ เพราะเป็นตัวเก็บน้ำร้อนเพื่อไปใช้งานตามความต้องการ ซึ่งถังสะสมวามร้อนที่ดี ต้องเป็นถัง 2 ชั้น ขึ้นรูปจากสแตนเลส หรือโลหะที่ไม่เป็นสนิมทนต่อความดันสูง และปิดหัวท้ายด้วยสแตนเลสอัดขึ้นรูป ภายในหุ้มด้วยฉนวนโพลียูนีเทนโฟม ซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำ ทำให้สามารถกักเก็บความร้อนได้เป็นอย่างดี ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกถังสะสมความร้อนขนาด 300 ลิตร เนื่องจากต้องการใช้พลังงานความร้อนแบบต่อเนื่องในกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด นอกจากนั้นยังมีระบบการทำความร้อนด้วยไฟฟ้ามาช่วยในการรักษาความร้อนให้คงที่และช่วยเพิ่มอุณหภูมิในช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอต่อการทำความร้อนในเวลาปกติ ซึ่งสามารถกำหนดรูปแบบการทำงานของระบบสะสมวามร้อนได้อย่างอัตโนมัติผ่านอุปกรณ์ควบคุมที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ ดังแสดงในภาพที่ 3.21

ภาพที่ 3.21 การติดตั้งถังกักเก็บน้ำร้อนขนาด 300 ลิตร และอุปกรณ์ควบคุมระบบการทำงาน

**3.7.4 อุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange)**

อุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ประเภทหนึ่งที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้ได้เลือกอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวาง (Cross flow heat exchanger) เนื่องจากมีสมรรถนะสูงและสามารถผลิตขึ้นได้เองภายในประเทศ และปัจจุบันได้มีนักวิจัยหลายท่านได้นำอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนในรถยนต์ (Automobile heat exchanger) มาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการดึงความร้อนเหลือทิ้งจากเตาอบขนมเพื่อใช้ในการอุ่นน้ำ (เจนจิรา, 2545), การดึงความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำมาใช้ในการอุ่นน้ำป้อนเข้าสู่กระบวนการ (ทนงเกียรติ, 2547) และสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดัดแปลงมาจากหม้อน้ำรถยนต์ในกระบวนการดึงความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ (อติพงศ์ และทนงเกียรติ, 2547) ซึ่งลักษณะและขนาดของอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีลักษณะเป็นท่อแบบแบน (Flat tube) และติดครีบแบบเกร็ด (Louver fin) โดยแต่ละท่อจะเชื่อมต่อกันเพื่อลดการหมุนวนของอากาศบริเวณด้านหลังท่อ มีผลทำให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบท่อกลม ซึ่งการนำอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในกระบวนการลดความชื้นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ดังแสดงในภาพที่ 3.22 และการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน ดังแสดงในภาพที่ 3.23



(ก) ขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ข) การนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการ

ภาพที่ 3.22 การนำอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน

ภาพที่ 3.23 การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับกระบวนการลดวามชื้นแบบเป่าลมร้อน

# บทที่ 4

# การวิเคราะห์ผล

จากการที่ได้ศึกษาวิธีการดำเนินงานและออกแบบกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยผสมผสานความร้อนร่วมจากพลังงานแก๊สกับพลังงานแสงอาทิตย์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว คณะผู้วิจัยจึงได้เดินทางไปทำการจัดเก็บข้อมูลการทำงานของกระบวนการผลิตในโรงงานหล่อวัฒนา เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของแร่ทัลคัมที่ถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักของบริษัท หล่อวัฒนา จำกัด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (PHYSICAL PROPERTIES)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1) | ความขาว (Brightness) | ≥ 50 | เปอร์เซ็นต์ |
| 2) | ความละเอียด (Fineness) @ 325 mesh screen | ≤ 3 | เปอร์เซ็นต์ค้างบนตะแกรง |
| 3) | ความชื้น (Moisture content) | ≤ 5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก |
| 4) | ความเป็นกรดด่าง (pH) | 7 – 9 | |

องค์ประกอบทางเคมี (CHEMICAL ANALYSIS)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1) | ซิลิกอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) | 41.5 – 48.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก |
| 2) | อะลูมิเนียมออกไซด์ ($Al_2O_3$) | 7.5 – 17.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก |
| 3) | เหล็กออกไซด์ ($Fe_2O_3$) | 7.5 – 11.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก |
| 4) | แมกนีเซียม (MgO) | 11.0 – 22.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก |
| 5) | แคลเซียมออกไซด์ (CaO) | 4.0 – 6.0 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก |
| 6) | อัตราการสูญเสียน้ำ (LOI) | 4.5 – 8.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก |

## 4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ในการวัดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยผสมผสานความร้อนร่วมจากพลังงานแก๊สกับพลังงานแสงอาทิตย์ คณะผู้วิจัยได้ทำการวัดประสิทธิภาพของเครื่องจักรดังต่อไปนี้

**4.1.1 ผลการทดสอบหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบส่วนผสมในการอัดผงแร่ทัลคัม โดยมีส่วนผสมระหว่างน้ำกับผงแร่ทัลคัม เพื่อหาส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพ (Yield) ที่ดีที่สุดคือสามารถอัดเม็ดเป็นเม็ดโดยมีการแตกหักน้อยที่สุด ออกแบบการทดลองแบบ Mixture Design จำนวน 6 การทดลอง แสดงผลในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพส่วนผสมระหว่างน้ำกับผงแร่ทัลคัม

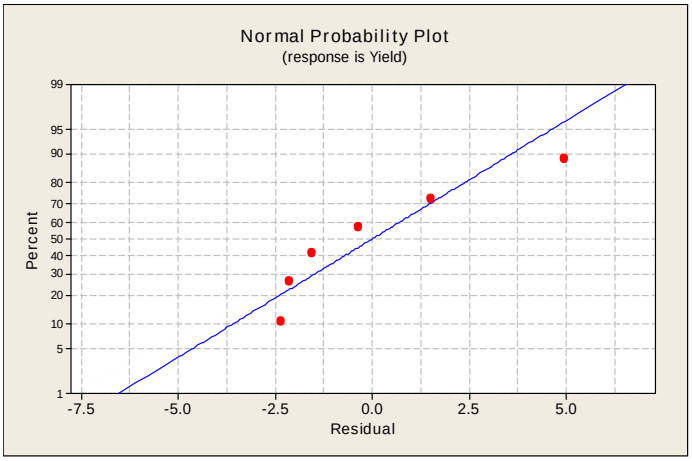
| การทดลอง | ส่วนผสม | | ประสิทธิภาพ |
|---|---|---|---|
| | ผงแร่ทัลคัม (%) | น้ำ (%) | (%) |
| 1 | 75 | 25 | 62.8 |
| 2 | 90 | 10 | 68.0 |
| 3 | 82.5 | 17.5 | 80.2 |
| 4 | 78.75 | 21.25 | 73.2 |
| 5 | 86.25 | 13.75 | 84.9 |
| 6 | 82.5 | 17.5 | 81.4 |

4.1.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

นำผลการทดลองที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ด้วยการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง หากข้อมูลมีความเหมาะสมจึงนำมาวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง หากข้อมูลมีความเหมาะสมจึงนำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R-Square) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลมี 3 ขั้นตอนคือ (1)การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (2)การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และ (3)การตรวจสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ

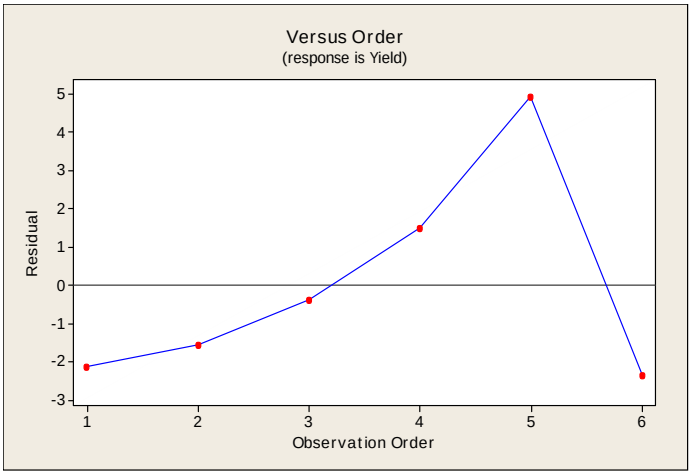
เป็นการตรวจสอบส่วนตกค้างของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบปกติหรือไม่ หากพิจารณาการกระจายของค่าส่วนตกค้างของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ จากการพิจารณาการกระจายส่วนตกค้างในภาพที่ 4.1 พบว่า มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง แสดงให้เห็นว่า ส่วนตกค้างจากผลการทดลองประสิทธิภาพของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ไม่แสดงส่งผิดปกติให้เห็น จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ




ภาพที่ 4.1 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

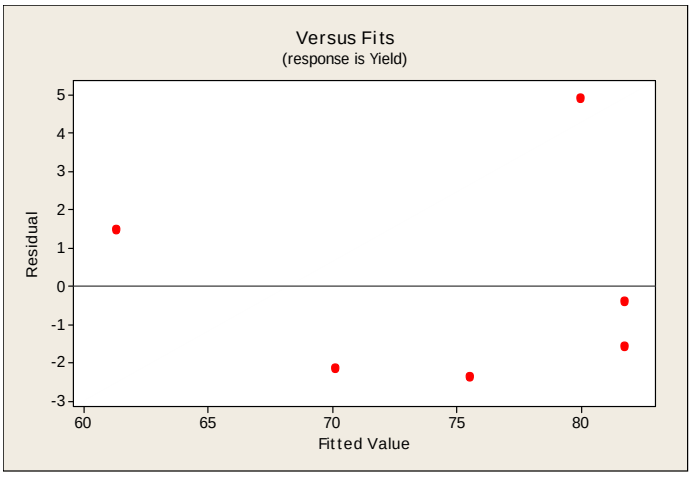
เป็นค่าส่วนตกค้างโดยใช้แผนภูมิการกระจายเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่ามีรูปแบบอิสระหรือไม่ จากการพิจารณาภาพที่ 4.2 พบว่า ส่วนตกค้างของผลการทดลองการหาค่าประสิทธิภาพในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ




ภาพที่ 4.2 แผนภูมิกระจายของส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูล

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

ใช้แผนภูมิการกระจายส่วนตกค้างในแต่ละระดับของปัจจัย จากภาพที่ 4.3 พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองของประสิทธิภาพในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน




ภาพที่ 4.3 แผนภูมิกระจายส่วนตกค้างในแต่ละระดับของปัจจัย

จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองพบว่า ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ คือ ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน ค่าความแปรปรวนมีความเสถียรภาพ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสนใจและวิเคราะห์ความแปรปรวน

4.1.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R-Sq) เป็นค่าที่ใช้บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในการถดถอย จากการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นที่ตอบสนอง ในตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 0.893 หมายความว่า ตัวแปรอิสระ (อัตราส่วนระหว่าง น้ำและผงแร่ทัลคัม) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด) ได้ร้อยละ 89.3 แสดงว่าแบบจำลองสามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์การถดถอยของพื้นที่ผิวตอบสนอง

| Term | Coef | Se Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| Tulcum | 5 | 18.33 | * | * |
| Water | -1,908 | 419.92 | * | * |
| Tulcum * Water | 2853 | 617.98 | 4.62 | 0.019 |
| S=3.61809 , R-Sq =89.3%, R-Sq(Adj)=82.17% | | | | |

4.1.1.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบแหล่งผันแปรของแบบจำลอง จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ในตารางที่ 4.3 พบว่าค่า P-value ของเทอม อันตกริยามีค่าเท่ากับ 0.019 และค่า Linear มีค่าเท่ากับ 0.018 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการสำหรับทำนายค่าประสิทธิภาพในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 2 | 327.77 | 327.77 | 163.89 | 12.52 | 0.035 |
| Linear | 1 | 84.84 | 295.25 | 295.25 | 22.55 | 0.018 |
| Quadratic | 1 | 278.94 | 278.94 | 278.94 | 21.31 | 0.019 |
| Interaction | 1 | 278.94 | 278.94 | 278.94 | 21.31 | 0.019 |
| Residual Error | 3 | 39.27 | 39.27 | 13.09 | | |
| Lack-of-Fit | 2 | 38.55 | 38.55 | 19.28 | 26.77 | 0.135 |
| Pure Error | 1 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | | |
| Total | 5 | 367.05 | | | | |

4.1.1.4 การสร้างสมการทำนายประสิทธิภาพการอัดขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

การสร้างสมการทำนายประสิทธิภาพการอัดขึ้นรูปผงทัลคัมอัดเม็ด โดยนำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยในตารางที่ 4.2 มาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ 4.1 ดังนี้

$$Yield = 0.047x_1 - 19.084x_2 + 0.285x_1x_2 \quad (4.1)$$

โดยที่ **Yield** = ส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพ

$x_1$ = ปริมาณผงแร่ทัลคัม (กิโลกรัม)

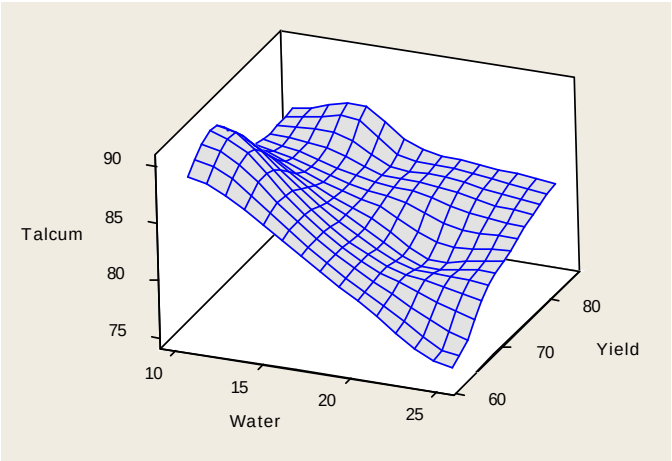
$x_2$ = ปริมาณน้ำ (กิโลกรัม)

4.1.1.5 การสร้างพื้นผิวตอบสนองของประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

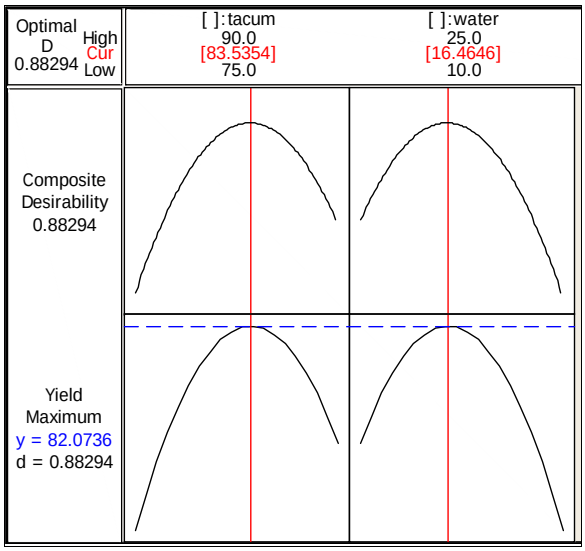
เมื่อได้สมการสำหรับทำนายประสิทธิภาพในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแล้ว จึงนำมาสร้างกราฟพื้นผิวผลตอบดังภาพที่ 4.4 จากกราฟแสดงพื้นผิวผลตอบประสิทธิภาพในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดในภาพที่ 4.4 ระหว่างน้ำและผงแร่ทัลคัม พบว่าเมื่อประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดจะมีค่ามากเมื่อมีส่วนผสมของน้ำประมาณร้อยละ 20 และมีส่วนผสมผงแร่ทัลคัมประมาณร้อยละ 80

4.1.1.6 การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด

ในการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยและใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (composite desirability :D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าระหว่าง 0-1 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ จากการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer พบว่าการหาส่วนผสมที่สุดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัคคัมอัดเม็ดที่เหมาะสมที่สุด คือ ปริมาณผงแร่ทัลคัมร้อยละ 83.54 และปริมาณน้ำร้อยละ 16.46 ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดมีค่าเท่ากับร้อยละ 82.07 ดังแสดงในภาพที่ 4.5




ภาพที่ 4.4 พื้นผิวผลตอบประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด




ภาพที่ 4.5 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของส่วนผสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

### 4.1.2 ผลการทดสอบเวลาอบที่เหมาะสมในการอบผงแร่ทัคัมอัดเม็ด

ในการทดสอบเพื่อหาเวลาในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่เหมาะสม คือมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 โดยทำการทดลองแบบ central composite ที่มีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิในการอบ และความเร็วลมในการดูดความชื้น โดยมีจำนวนการทดลอง 13 การทดลอง เมื่อทำการทดสอบหาค่าความชื้นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดตามลำดับการทดลองและสภาวะที่กำหนดผลที่ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความชื้นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่ผ่านกระบวนการอบของแต่ละหน่วยการทดลอง

| ลำดับการทดลอง | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความเร็วลม (เมตร/ชั่วโมง) | ความชื้น (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 3.75 | 11.4 |
| 2 | 100 | 7.23 | 11 |
| 3 | 120 | 3.75 | 10 |
| 4 | 120 | 7.23 | 9.6 |
| 5 | 130 | 3.75 | 9.8 |
| 6 | 135 | 1.92 | 10.96 |
| 7 | 140 | 3.75 | 9.55 |
| 8 | 150 | 7.23 | 9.78 |
| 9 | 250 | 7.23 | 7.41 |
| 10 | 250 | 7.23 | 5.27 |

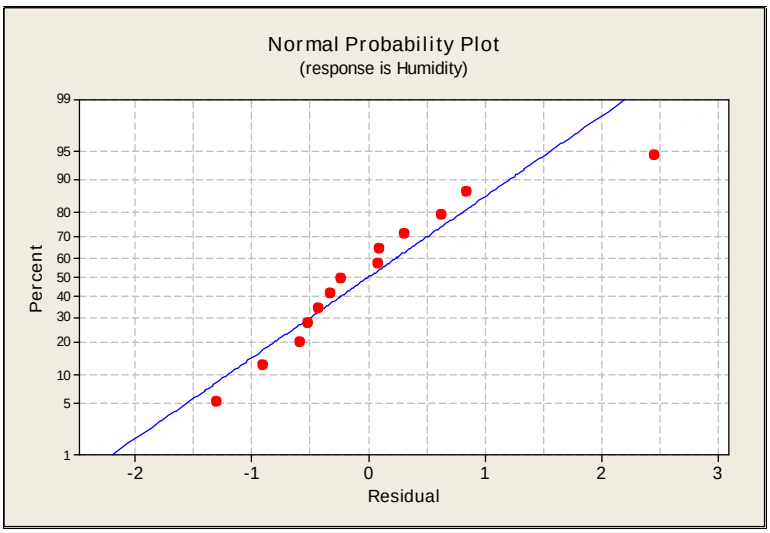
| ลำดับการทดลอง | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความเร็วลม (เมตร/ชั่วโมง) | ความชื้น (%) |
|---|---|---|---|
| 11 | 250 | 10.54 | 2.73 |
| 12 | 300 | 3.75 | 3.23 |
| 13 | 300 | 7.23 | 2.74 |

4.1.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

นำผลการทดลองที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ด้วยการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง หากข้อมูลมีความเหมาะสมจึงนำมาวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง หากข้อมูลมีความเหมาะสมจึงนำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R-Square) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลมี 3 ขั้นตอนคือ (1)การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (2)การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และ (3)การตรวจสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ

การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติเป็นการตรวจสอบส่วนตกค้างของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบปกติหรือไม่ หากพิจารณาการกระจายของค่าส่วนตกค้างของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ ดังแสดงในภาพที่ 4.6

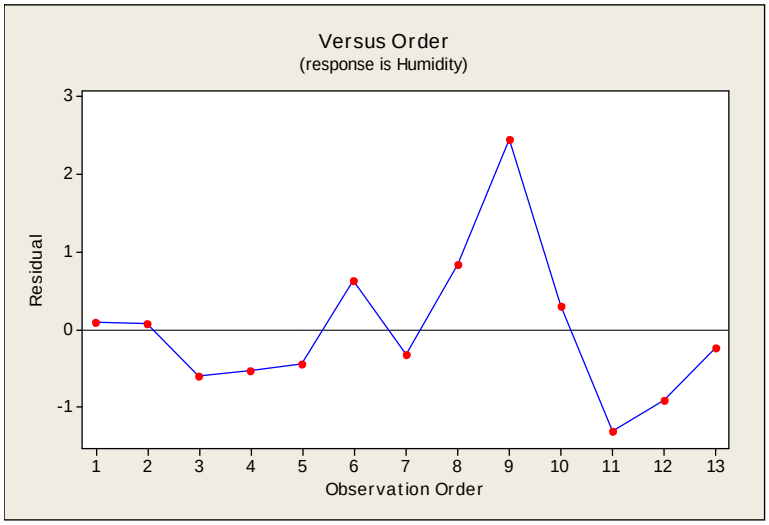



ภาพที่ 4.6 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างในการวิเคราะห์ความชื้น

จากการพิจารณาการกระจายส่วนตกค้างในภาพที่ 4.6 พบว่า มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง แสดงให้เห็นว่า ส่วนตกค้างจากผลการทดลองหาค่าวามชื้นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ไม่แสดงส่งผิดปกติให้เห็น จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างโดยใช้แผนภูมิการกระจายเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่ามีรูปแบบอิสระหรือไม่ ดังแสดงในภาพที่ 4.7

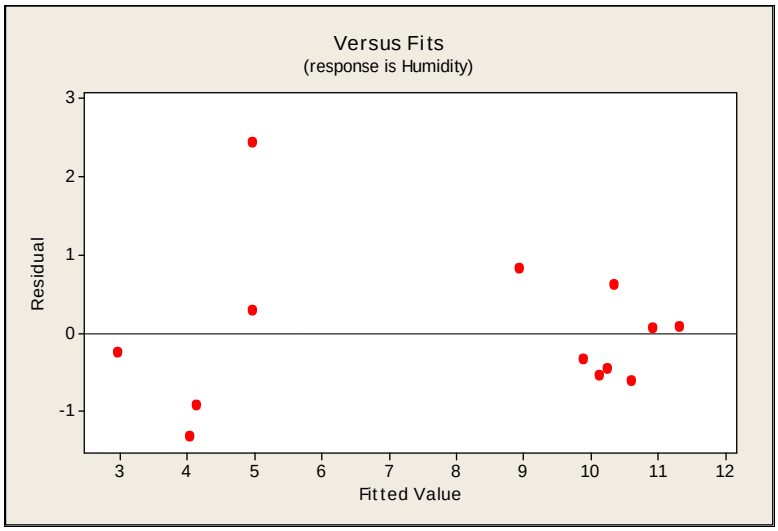



ภาพที่ 4.7 แผนภูมิกระจายของส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูลความชื้น

จากการพิจารณาภาพที่ 4.7 พบว่า ส่วนตกค้างของผลการทดลองการหาค่าความชื้นในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

การตรวจสอบความเสถียรของของความแปรปรวนโดยใช้แผนภูมิการกระจายส่วนตกค้างในแต่ละระดับของปัจจัย ดังแสดงในภาพที่ 4.8




ภาพที่ 4.8 แผนภูมิกระจายส่วนตกค้างในแต่ละระดับของปัจจัย

จากภาพที่ 4.8 พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองของค่าความชื้นในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน และจากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองพบว่า ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ คือ ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน ค่าความแปรปรวนมีความเสถียรภาพ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสนใจและวิเคราะห์ความแปรปรวน

4.1.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R-Sq) เป็นค่าที่ใช้บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในการถดถอย จากการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นที่ตอบสนอง ในตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 0.9178 หมายความว่า ตัวแปรอิสระ (อุณหภูมิที่ใช้ในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดและความเร็วลมที่ดูดความชื้น) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (ความชื้นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด) ได้ร้อยละ 91.79 แสดงว่าแบบจำลองสามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์การถดถอยของพื้นที่ผิวตอบสนอง

| Term | Coef | Se Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|
| Constant | 14.9086 | 2.365 | 6.304 | 0.000 |
| Temp | -0.0317 | 0.013 | -2.447 | 0.037 |
| Air Flow | -0.0010 | 0.424 | -0.002 | 0.998 |
| Temp * Air Flow | -0.0011 | 0.002 | -0.527 | 0.611 |
| S=1.09201 , R-Sq =91.79%, R-Sq(Adj)=89.05% | | | | |

4.1.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบแหล่งผันแปรของแบบจำลอง จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความชื้นในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ในตารางที่ 4.6 พบว่าค่า P-value ของเทอม อันตกริยามีค่าเท่ากับ 0.611 เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแร่ทัคัมอัดเม็ดและความเร็วของลมดูดความชื้น (Air Flow) ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

เนื่องจากปัจจัยหลักความเร็วลมไม่มีนัยสำคัญต่อค่าความชื้นที่เกิดขึ้น แต่ค่า Linear มีค่าเท่ากับ 0.005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการสำหรับทำนายค่าความชื้นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแต่ต้องทำการตัดปัจจัยความเร็วของลมดูดความชื้น

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความชื้นของกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 3 | 119.939 | 119.933 | 39.978 | 33.52 | 0.000 |
| Linear | 2 | 119.602 | 24.465 | 12.232 | 10.26 | 0.005 |
| Temp | 1 | 116.903 | 7.412 | 7.142 | 5.99 | 0.037 |
| Air Flow | 1 | 2.699 | 0.000 | 0.000 | 0.00 | 0.998 |
| Interaction | 1 | 0.331 | 0.331 | 0.3312 | 0.28 | 0.611 |
| Residual Error | 9 | 10.732 | 10.732 | 1.193 | | |
| Lack-of-Fit | 8 | 8.443 | 8.443 | 1.055 | 0.46 | 0.821 |
| Pure Error | 1 | 2.290 | 2.290 | 2.290 | | |
| Total | 12 | 130.665 | | | | |

4.1.2.4 การสร้างสมการทำนายค่าความชื้นในการอบแร่ทัลคัมอัดเม็ด

การสร้างสมการทำนายค่าความชื้นในการอบแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยนำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยในตารางที่ 4.4 มาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ 4.2 เนื่องจากปัจจัยหลักความเร็วลมดูดอากาศและการเกิดอันตรกริยาของอุณหภูมิในการอบกับความเร็วลมของลมดูดอากาศมีผลต่อค่าความชื้นน้อยมากจึงตัดความสัมพันธ์ดังกล่าวออกจากสมการ

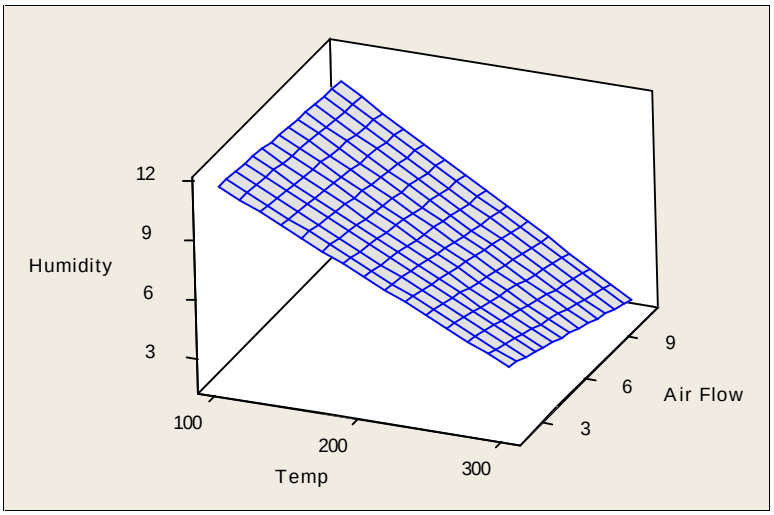
$$Humidity = 14.9086 - 0.0317x_1 \qquad (4.2)$$

โดยที่ Humidity = ค่าความชื้นหลังการอบแร่ทัลคัมอัดเม็ด

$x_1$ = อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ (องศาเซลเซียส)

4.1.2.5 การสร้างพื้นผิวตอบสนองความชื้นในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

เมื่อได้สมการสำหรับทำหาค่าความชื้นในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดแล้ว จึงนำมาสร้างกราฟพื้นผิวผลตอบดังภาพที่ 4.9



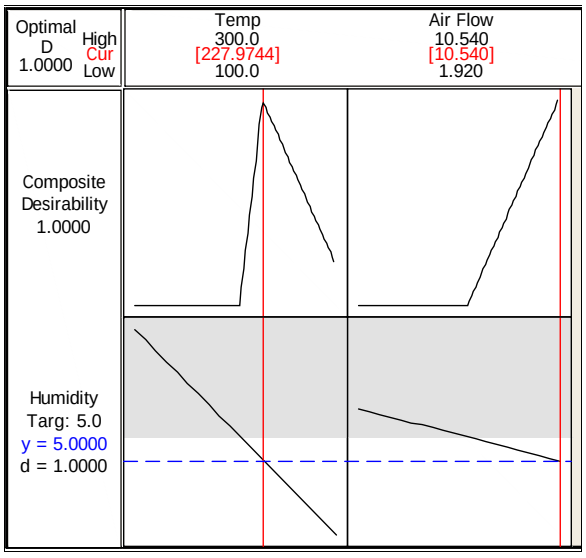

ภาพที่ 4.9 พื้นผิวผลตอบค่าความชื้นในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

จากกราฟแสดงพื้นผิวผลตอบค่าความชื้นในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดในภาพที่ 4.9 ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอบและความเร็วของลมดูดความชื้น พบว่าค่าความชื้นที่ได้จากกระบวนการอบบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดจะมีค่าน้อยเมื่ออุณหภูมิที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบสูง โดยที่ความเร็วลมของลมดูดความชื้นไม่มีผลต่อค่าความชื้นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

4.1.2.6 การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด

ในการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยและใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (composite desirability :D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าระหว่าง 0-1 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

จากการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer พบว่าการหาค่าความชื้นในกระบวนการอบผงแร่ทัคคัมอัดเม็ดที่เหมาะสมที่สุด คือ ต้องใช้อุณหภูมิในการอบ 227 องศาเซลเซียส และความเร็วของลมดูดความชื้นที่ 10.5 เมตรต่อวินาที จะทำให้ได้ค่าความชื้นตามที่ต้องการคือ ที่ร้อยละ 5 ดังภาพที่ 4.10




ภาพที่ 4.10 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความชื้นของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

### 4.1.3 ผลการวัดอัตราการผลิตและรอบเวลาในกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ในการประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดตั้งแต่กระบวนการผสม อัดขึ้นรูปเม็ด และกระบวนการอบ โดยทำการวัด

1) อัตราการผลิต (Capacity) เป็นเวลามาตรฐานหรือขีดความสามารถของเครื่องจักรในการผลิตผลผลิตต่อหน่วยเวลา (เป็นปริมาณของงานที่สามารถทำได้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งที่กำหนดไว้) กำลังการผลิตเป็นอัตราการทำงานไม่ใช่ปริมาณของงานที่ทำได้

2) ค่าเฉลี่ยในการทำงาน 1 รอบคือเวลาที่ใช้ในการผลิตหรือประกอบงานหนึ่งรอบกระบวนการตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การวัดรอบเวลาและอัตราการผลิตในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

| ครั้งที่ | เวลาในกระบวนการผลิต (นาที) | | | รอบเวลา (นาที) | อัตราการผลิต (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) |
|---|---|---|---|---|---|
| | การผสม | การขึ้นรูป | การอบ | | |
| 1 | 2.22 | 0.72 | 9.38 | 12.32 | 252.0 |
| 2 | 2.68 | 0.23 | 10.49 | 13.40 | 324.0 |
| 3 | 1.81 | 0.33 | 8.37 | 10.50 | 240.0 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **2.24** | **0.43** | **9.41** | **12.08** | **272.0** |

จากการทดสอบวัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง โดยใช้เวลาในกระบวนการผสมเฉลี่ยที่ 2.24 นาที เวลาในการขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมให้เป็นเม็ดใช้เวลา 0.43 นาที และใช้เวลาในการอบเฉลี่ยที่ 9.41 นาที มีรอบเวลาการทำงานเฉลี่ยที่ 12.08 นาที่ ในการวัดอัตราการผลิตจากการทดลองจำนวน 3 ครั้งพบว่าในกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดมีอัตราการผลิต 272 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

## 4.2 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานแก๊สในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ในการทดสอบกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยทำกาวัดปริมาณการใช้แก๊สระหว่างการใช้พลังงานจากแก๊สและจากการใช้พลังงานความร้อนร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์

### 4.2.1 ปริมาณการสิ้นเปลืองแก๊สในกระบวนการอบผงแร่ทัคัมอัดเม็ด

ทำการทดสอบปริมาณการใช้แก๊สในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดโดยทำการทดสอบจำนวน 4 ครั้ง โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียสได้ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการใช้แก๊สในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

| ครั้งที่ | ปริมาณการใช้แก๊ส (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) | | ความแตกต่าง (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|
| | พลังงานงานแก๊ส | พลังงานความร้อนร่วม | |
| 1 | 3.84 | 2.77 | 27.88 |
| 2 | 4.07 | 3.09 | 23.96 |
| 3 | 3.88 | 2.75 | 29.07 |
| 4 | 3.79 | 3.72 | 1.78 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **3.89** | **3.08** | **20.80** |

### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ

ทำการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ T-Test เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้แก๊สระหว่างการใช้พลังงานงานแก๊สและการใช้พลังงานความร้อนร่วมโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้แก๊ส ดังตารางที่ 4.9

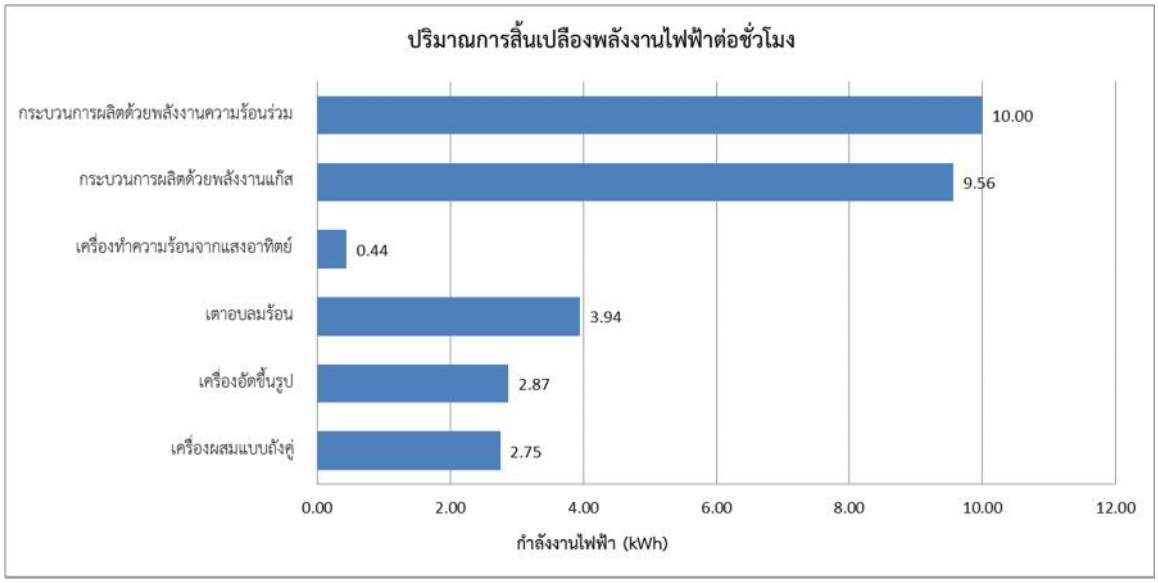
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติปริมาณการใช้แก๊สในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

| เงื่อนไข | ค่าเฉลี่ย | ค่า S.D. | P-Value |
|---|---|---|---|
| พลังงานแก๊ส | 3.895 | 0.122 | 0.04 |
| พลังงานความร้อนร่วม | 3.083 | 0.453 | |

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.9 พบว่าในกระบวนการอบโดยใช้พลังงานความร้อนร่วมส่งผลต่อปริมาณการใช้แก๊สทำให้ปริมาณการใช้แก๊สลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้อุณหภูมิในการอบประมาณ 140 องศาเซลเซียสเท่านั้น

### 4.2.3 การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

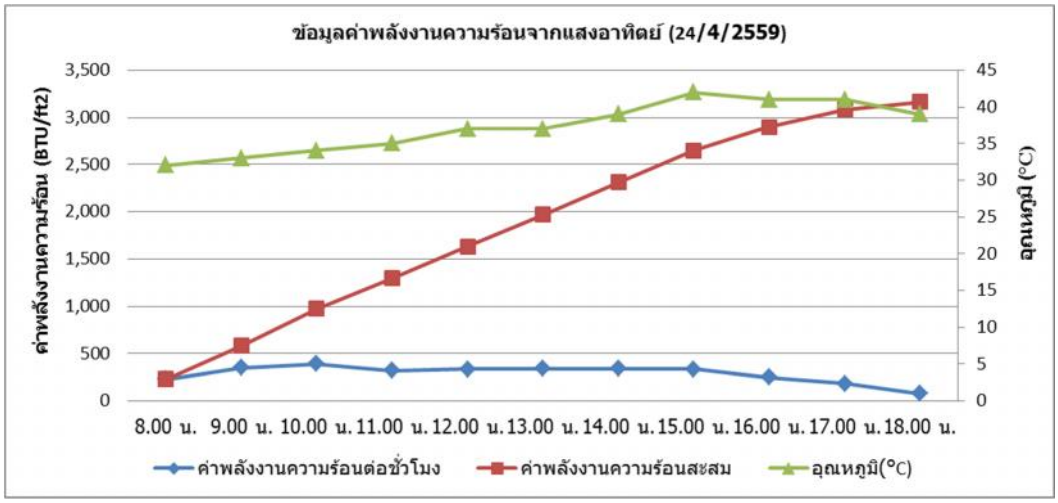
การทดสอบการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ถือว่าเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการตัดสินใจต่อการลงทุนของผู้ประกอบการอยู่ไม่น้อย คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บข้อมูลการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนอย่างชัดเจน โดยใช้เครื่องมือวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าออกมาเป็นหน่วยกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง เพื่อความสะดวกในการคำนวณค่าไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 4.11



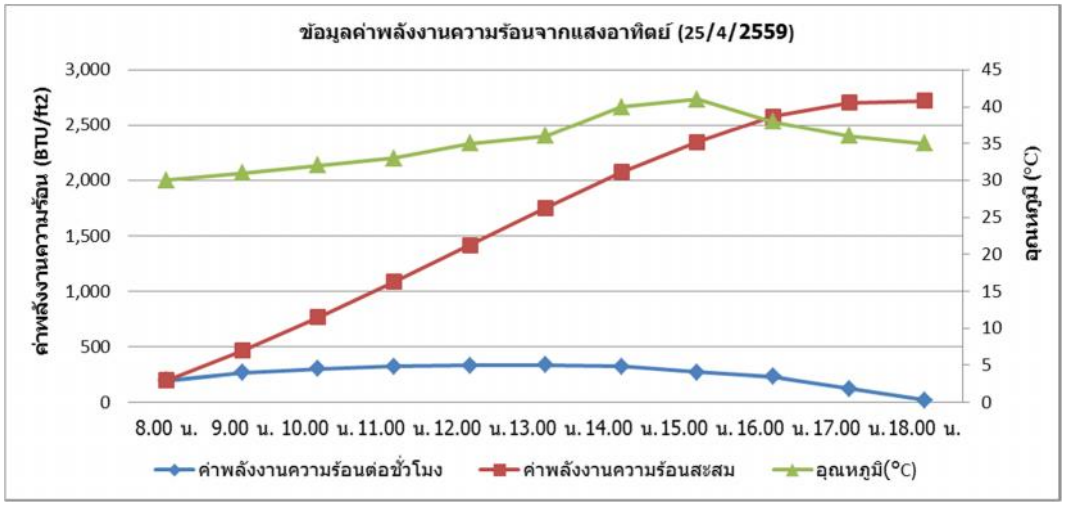

ภาพที่ 4.11 การวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

### 4.2.4 การสะสมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

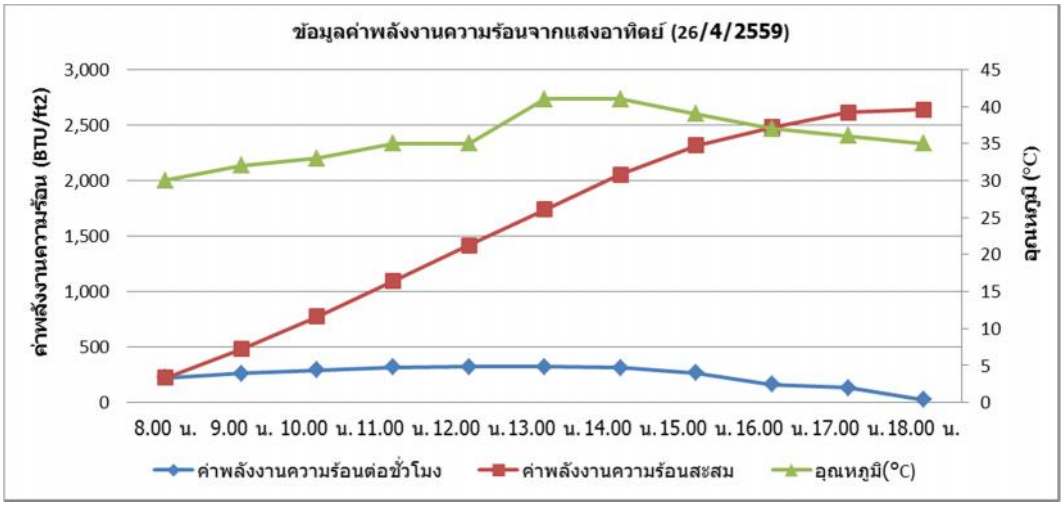
เนื่องจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและสถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ที่จะเปลี่ยนรูปแบบพลังงานสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ แต่เราสามารถสังเกตพฤติกรรมและคาดการณ์พลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ ซึ่งจากการวัดค่าปริมาณความร้อน ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งแผงรับความร้อนรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อสุญญากาศเป็นเวลา 3 วันแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 4.12, 4.13 และ 4.14




ภาพที่ 4.12 ข้อมูลอุณหภูมิและค่าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในวันที่ 24 เมษายน 2559




ภาพที่ 4.13 ข้อมูลอุณหภูมิและค่าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในวันที่ 25 เมษายน 2559



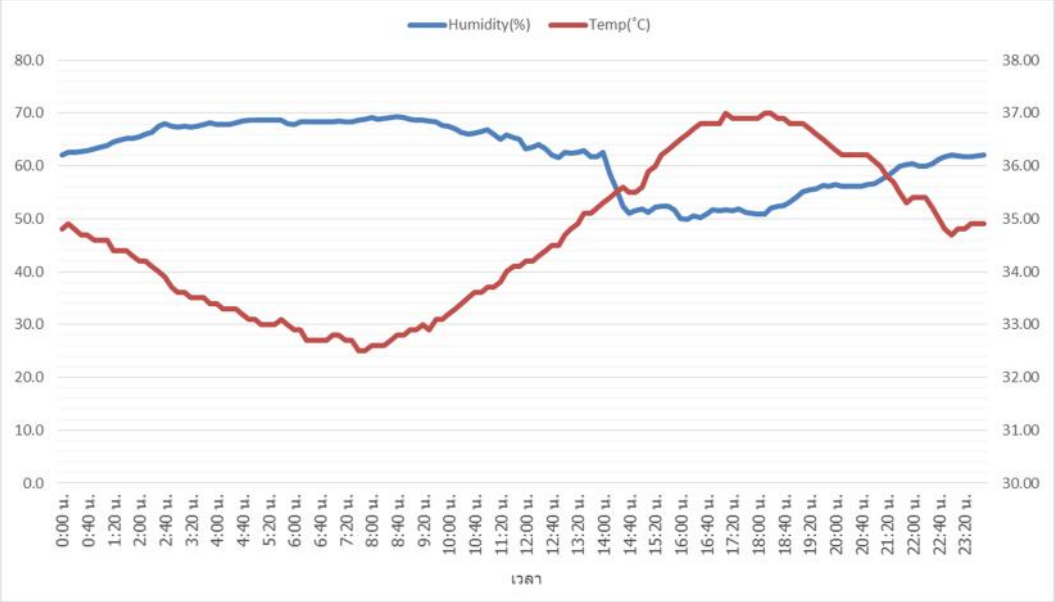

ภาพที่ 4.14 ข้อมูลอุณหภูมิและค่าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในวันที่ 26 เมษายน 2559

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น พบว่ามีปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณแผงรับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ โดยเฉลี่ย 258.28 BTU/ft$^2$ และมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 36.09 องศาเซลเซียสต่อวัน หรือทำให้มีปริมาณความร้อนสะสมโดยเฉลี่ย 2,841 BTU/ft$^2$ ต่อวัน มีผลทำให้กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถสะสมความร้อนไว้ถังเก็บความร้อนได้สูงสุดถึง 85 องศาเซลเซียส

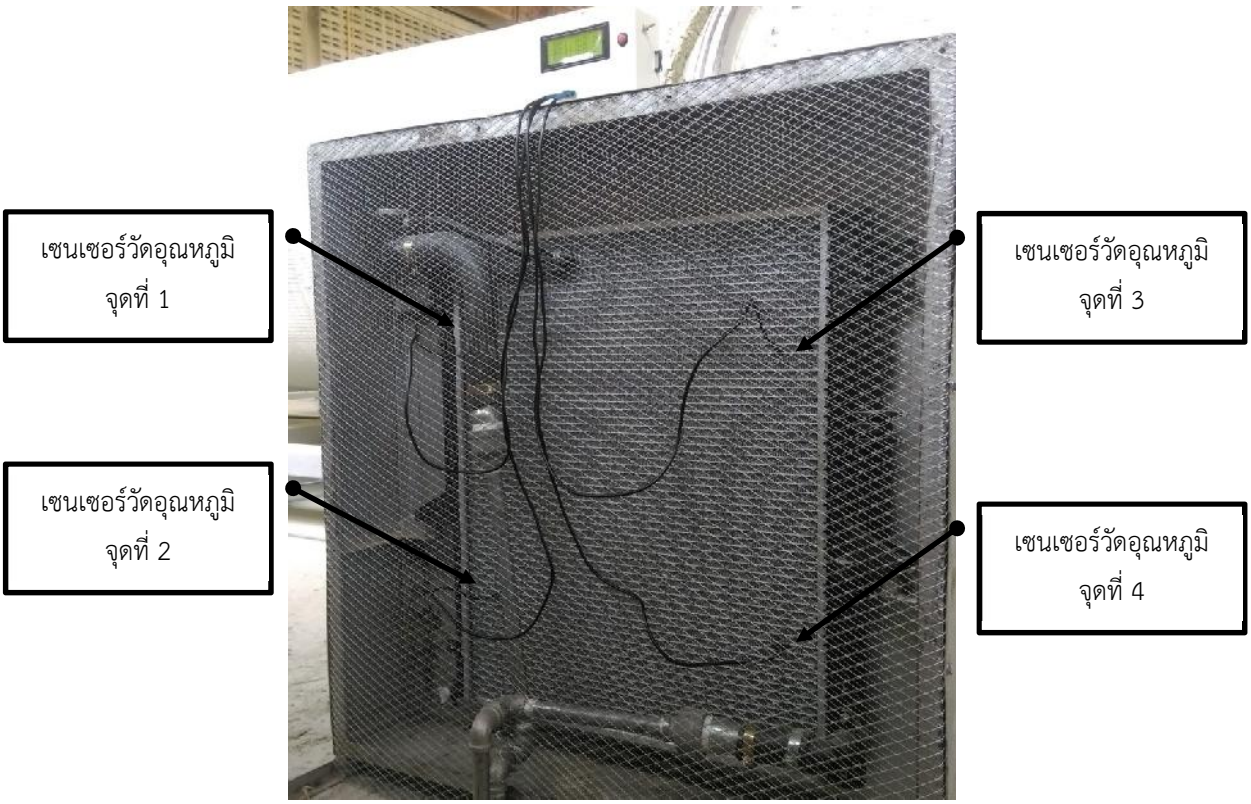
### 4.2.5 ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวาง (Cross flow heat exchanger) ในงานวิจัยนี้ จะเป็นทดสอบอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำร้อนที่อยู่ในถังสะสมความร้อนขนาด 300 ลิตร ที่มีความร้อนสะสมอยู่ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปั๊มน้ำคอยดูดน้ำร้อนออกจากถังสะสมความร้อนไปยังอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ตลอดเวลา โดยกำหนดให้ทิศทางการไหลของน้ำ ไหลเวียนจากมุมซ้ายบนลงไปสู่มุมขวาล่างของอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อน และมีพัดลมแบบหอยโข่งที่ติดตั้งอยู่ตรงกลางทางด้านหลังของอุปกรณ์การแลกเปลี่ยนความร้อน คอยดูดอากาศที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วเป่าเข้าสู่เตาอบ

ซึ่งในการทดสอบนี้ ต้องใช้เครื่องมือในการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิแบบต่อเนื่อง (Data logger) โดยก่อนการทดลองต้องทำการทดสอบพฤติกรรมของอุณหภูมิและความชื้นในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้งานของเตาอบ ซึ่งจากผลการทดสอบอุณหภูมิและความชื้นในวันที่ 26 เมษายน 2559 เป็นดังแสดงในภาพที่ 4.15 ส่วนรูปแบบการทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจะใช้เซนเซอร์วัดความร้อนจำนวน 4 จุด ดังแสดงในภาพที่ 4.16 และใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิของลมร้อนก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการลดความชื้น ดังแสดงในภาพที่ 4.17



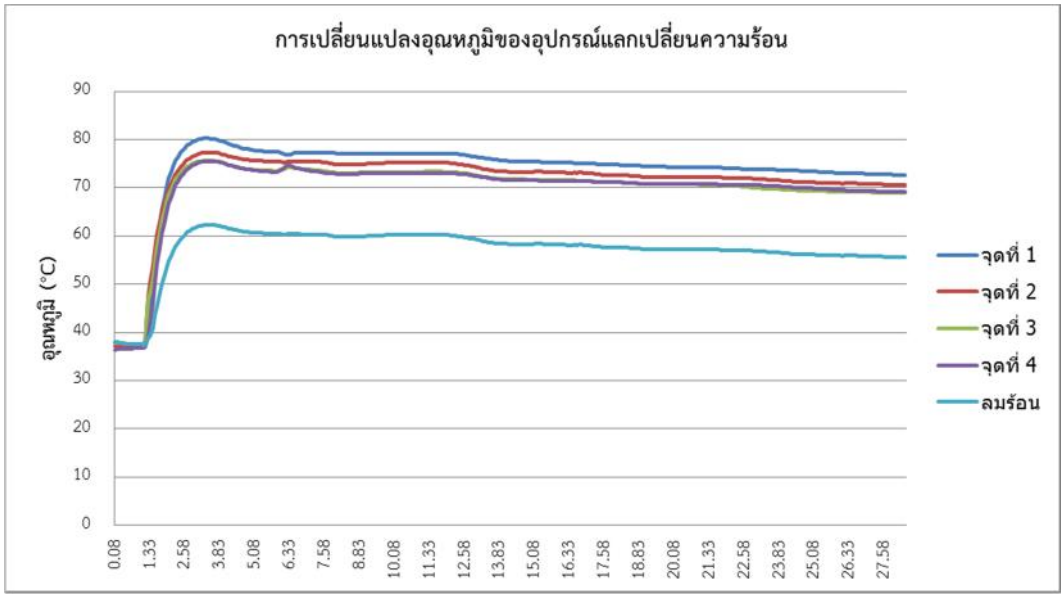

ภาพที่ 4.15 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นในโรงงานของวันที่ 26 เมษายน 2559




ภาพที่ 4.16 การทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ภาพที่ 4.17 เครื่องมือวัดอุณหภูมิของลมร้อนที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน

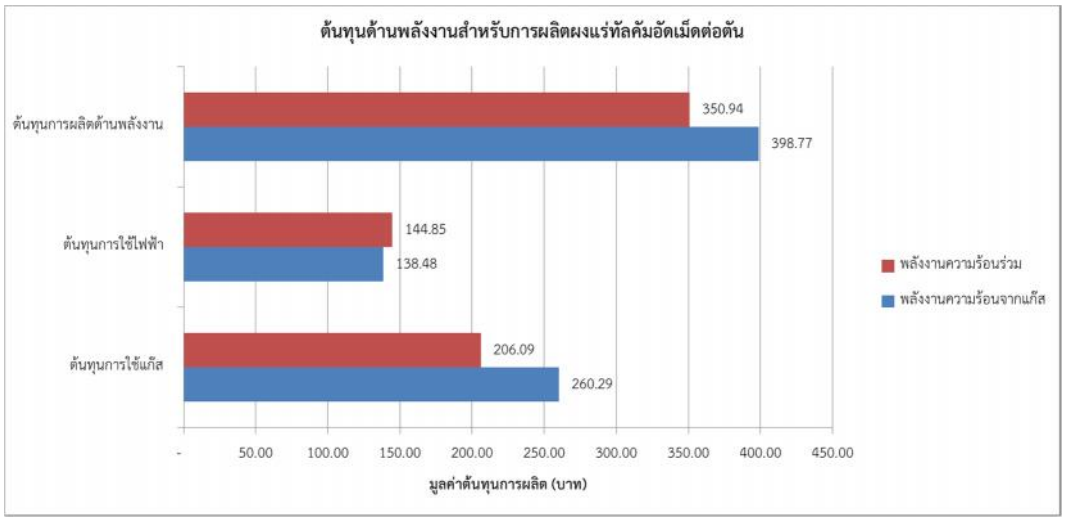
จากการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 30 นาที พบว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใช้เวลาประมาณ 5 นาที หรือมีอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเท่ากับ 8.56 องศาเซลเซียสต่อนาที สำหรับการสะสมความร้อนได้สูงสุดเท่ากับอุณหภูมิในถังเก็บความร้อน และหลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงในอัตรา 0.31 องศาเซลเซียสต่อนาที และสามารถถ่ายเทความร้อนออกมาได้อุณหภูมิสูงสุด 62.06 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 4.18




ภาพที่ 4.18 ลักษณะของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

### 4.2.6 การเปรียบเทียบมูลค่าต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน

จากข้อมูลการทำงานในกระบวนการต่างๆ ทำให้ทราบถึงการสิ้นเปลืองแก๊สและพลังงานไฟฟ้าที่สามารถนำมาคำนวณต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน เพื่อเปรียบเทียบหาจุดเด่นและจุดด้อยสำหรับกระบวนการผลิตในแต่ละรูปแบบ หรือใช้เป็นข้อมูลสำหรับการประกอบการตัดสินใจของผู้ประกอบการต่อไป ซึ่งการเปรียบเทียบต้นทุนด้านพลังงานในงานวิจัยนี้ เป็นการเปรียบเทียบจากอัตราการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดต่อตัน ใช้ข้อมูลปัจจุบันของราคาแก๊สหุงต้มที่ 18.2 บาทต่อกิโลกรัม และอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในอัตราหน่วยละ 3.94 บาท ดังแสดงในภาพที่ 4.19




ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบต้นทุนด้านพลังงานของการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดต่อตัน

จากกราฟเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตด้านพลังงานข้างต้นพบว่า การผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่ใช้พลังงานจากแก๊สในกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนเพียงอย่างเดียว มีต้นทุนการผลิตด้านพลังงานสูงกว่าการใช้ความร้อนร่วมจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ถึง 47.83 บาทต่อตัน ถึงแม้ว่ากระบวนการผลิตที่ใช้ระบบความร้อนร่วมนั้น จะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าก็ตาม

เมื่อผู้ประกอบการได้ทราบต้นทุนจากกระบวนการการผลิตดังกล่าวนี้แล้ว ควรต่อรองราคากับผู้ซื้อให้เพิ่มราคาจากแบบผงแร่ทัลคัมอย่างเดียวขึ้นอีกประมาณ 500 ถึง 700 บาทต่อตัน เพื่อให้คุ้มค่ากับการลงทุน ส่วนผู้ประกอบการรายอื่นที่สนใจกระบวนการผลิตแบบนี้ สามารถนำไปพัฒนารูปแบบการผลิตให้เหมาะสมกับตนเอง หรือจะนำข้อมูลของกระบวนการผลิตนี้ ไปทำเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการทดสอบหารูปแบบของกระบวนการผลิตที่เหมาะสม เพื่อหาจุดคุ้มทุนก่อนจะดำเนินการสร้างจริง

**4.3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

การศึกษา “การพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดและลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนโดยผสมผสานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม”ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งหมดจากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ และนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบของตารางประกอบคำบรรยายซึ่งแยกออกเป็น 3 ชุดโครงการ ตามลำดับ

ตอนที่ 1 ผลข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถามกลุ่มผู้ประกอบการ

ตอนที่ 2 ผลของการถ่ายทอดเทคโนโลยีนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ชุดที่ 1 แบบสอบถามความต้องการคุณลักษณะของการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ชุดที่ 2 แบบสอบถามคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งานของการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ชุดที่ 3 แบบสอบถามประสิทธิภาพของการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ชุดที่ 4 แบบสอบถามเนื้อหาสาระในคู่มือการใช้กระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ชุดที่ 5 แบบสอบถามความพึงพอใจของกลุ่มผู้ประกอบการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

**ตอนที่ 1 ผลข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม**

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแสดงเป็นร้อยละ ได้แก่ ได้แก่ จังหวัด เพศ อายุ วุฒิการศึกษา สถานภาพ ในการจัดกิจกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีใช้วิธีการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ( Purposive Sampling ) จำนวน 22 คน ที่เข้าร่วมโครงการ ผู้ประกอบการ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามเพศ

| เพศ | จำนวน (คน) | ร้อยละ |
|---|---|---|
| ชาย | 14 | 63.63 |
| หญิง | 8 | 36.36 |
| รวม | 22 | 100 |

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 22 คน พบว่า ส่วนใหญ่การสำรวจในครั้งนี้เป็น เพศชาย คิดเป็นร้อยละ 63.63 ( 14 คน) ที่เหลือเป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 36.36 (8คน)

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามอายุ

| อายุ | จำนวน (คน) | ร้อยละ |
|---|---|---|
| ต่ำกว่า 20 ปี | - | - |
| 21-30 ปี | - | - |
| 31- 40 ปี | 2 | 9.09 |
| 41-50 ปี | 13 | 59.09 |
| 51- 60 ปี | 4 | 18.18 |
| ตั้งแต่ 61 ปีขึ้นไป | 3 | 13.63 |
| รวม | 22 | 100 |

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ส่วนใหญ่มีอายุ 41-50 ปี คิดเป็นร้อยละ 59.09 (13 คน) รองลงมา มีอายุเท่ากัน คือ อายุ 51-60 ปี คิดเป็นร้อยละ 18.18 (4 คน) และ อายุ ตั้งแร่ 61 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 13.63 (3 คน) และน้อยที่สุด มีอายุ 31-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 9.09 (2 คน) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามสถานสภาพสมรส

| สถานภาพ | จำนวน (คน) | ร้อยละ |
|---|---|---|
| โสด | 2 | 9.09 |
| สมรส | 17 | 77.27 |
| แยกกัน | - | - |
| หม้าย | 2 | 9.09 |
| หย่าร้าง | 1 | 4.45 |
| รวม | 22 | 100 |

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าสถานภาพเกี่ยวกับสถานภาพสมรส ของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ส่วนใหญ่มีสถานภาพสมรสแล้ว คิดเป็นร้อยละ 77.27 (17 คน) สถานภาพหม้าย และโสด มีค่าคะแนนเท่ากัน คิดเป็นแต่ละร้อยละ 9.9 (2 คน) และน้อยที่สุดคือสถานภาพหย่าร้าง คิดเป็นร้อยละ 4.45 (1 คน) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามระดับการศึกษา

| ชั้นปี | จำนวน (คน) | ร้อยละ |
|---|---|---|
| ไม่ได้รับการศึกษา | - | - |
| ม.1 – ม.3 หรือเทียบเท่า | 4 | 18.18 |
| ม.4 - ม.6 หรือเทียบเท่า | 5 | 22.72 |
| ปริญญาตรี | 2 | 9.09 |
| สูงกว่าปริญญาตรี | 11 | 50 |
| รวม | 22 | 100.00 |

**ตอนที่ 2 ผลของการถ่ายทอดเทคโนโลยีนวัตกรรมการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

จากการศึกษาข้อมูลและการลงพื้นที่ในการจัดโครงการฝึกอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้มีข้อสรุปจากการจัดโครงการตามชุดแบบสอบถาม ดังนี้

ชุดที่ 1 แบบสอบถามความต้องการคุณลักษณะของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ชุดที่ 2 แบบสอบถามคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ชุดที่ 3 แบบสอบถามประสิทธิภาพของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ชุดที่ 4 แบบสอบถามเนื้อหาสาระในคู่มือการใช้นวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ชุดที่ 5 แบบสอบถามความพึงพอใจของต่อการใช้นวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

**ชุดที่ 1 แบบสอบถามความต้องการคุณลักษณะของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความต้องการคุณลักษณะของนวัตกรรมการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

| ที่ | ความต้องการคุณลักษณะของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยภาพรวม | X | S.D. | ระดับความต้องการ |
|---|---|---|---|---|
| 1. | ด้านกายภาพของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.39 | 0.48 | มาก |
| 2. | ด้านคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ประกอบโครงสร้างนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.30 | 0.46 | มาก |
| 3. | ด้านประสิทธิภาพการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.46 | 0.45 | มาก |
| รวม | | 4.38 | 0.45 | มาก |

จากตารางข้างต้นพบว่า ความต้องการคุณลักษณะของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวม (X = 4.38) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม (S.D. = 0.45) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย (X = 4.46) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.45) รองลงมา ได้แก่ ด้านกายภาพของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ย (X = 4.39) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.48) และด้านคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ประกอบโครงสร้างนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ย (X = 4.30) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.46) ตามลำดับ

**ชุดที่ 2 แบบสอบถามคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งานกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความต้องการคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งานกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

| ที่ | คุณลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งานของกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยภาพรวม | X | S.D. | ระดับความเหมาะสม |
|---|---|---|---|---|
| 1. | ด้านรูปแบบของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.32 | 0.52 | มาก |
| 2. | ด้านคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.29 | 0.45 | มาก |
| 3. | ด้านประสิทธิภาพการใช้งาน | 4.48 | 0.43 | มาก |
| รวม | | 4.36 | 0.47 | มาก |

จากตารางข้างต้นพบว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย (X = 4.36) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.47) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย (X = 4.48) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.43) รองลงมาได้แก่ ด้านรูปแบบของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย (X = 4.32) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.52) และด้านคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย (X = 4.29) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.45)

**ชุดที่ 3 แบบสอบถามประสิทธิภาพของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประสิทธิภาพของนวัตกรรมการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยภาพรวม

| ที่ | ประสิทธิภาพของนวัตกรรมการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | X | S.D. | ระดับประสิทธิภาพ |
|---|---|---|---|---|
| 1. | ประสิทธิภาพด้านระบบขับเคลื่อนของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.58 | 0.48 | มากที่สุด |
| 2. | ประสิทธิภาพด้านคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ประกอบโครงสร้างนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.47 | 0.53 | มาก |
| 3. | ประสิทธิภาพด้านการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.56 | 0.47 | มากที่สุด |
| รวม | | 4.53 | 0.43 | มากที่สุด |

จากตารางข้างต้นพบว่า ประสิทธิภาพของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย (X = 4.53) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.43) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ย สูงสุด ได้แก่ ประสิทธิภาพด้านระบบขับเคลื่อนของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย (X = 4.58) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.48)รองลงมา ได้แก่ ประสิทธิภาพด้านการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย (X = 4.56) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.47) และประสิทธิภาพด้านคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ประกอบโครงสร้างนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย (X = 4.47) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.53)

**ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

ตารางที่ 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหาสาระในคู่มือ

| ข้อ | เนื้อหาสาระในคู่มือการใช้นวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | การประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญ คนที่ | | | | | IOC เฉลี่ย | การแปลผล |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| | ด้านวัตถุประสงค์ | | | | | | | |
| 1 | มีความสอดคล้องกับขอบเขตของการวิจัย | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ใช้ได้ |
| 2 | ความชัดเจนของสำนวนภาษาที่เขียน ช่วยให้เข้าใจขอบเขตของการถ่ายทอดได้ดี | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ใช้ได้ |
| | ด้านเนื้อหาสาระ | | | | | | | |
| 3 | เรียบเรียงหัวข้อเนื้อหาได้ตามวัตถุประสงค์ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ใช้ได้ |
| 4 | เนื้อหาสาระที่กำหนด มีความเหมาะสมกับทักษะประสบการณ์ของผู้เข้ารับการอบรม | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ใช้ได้ |
| | ด้านสื่อประกอบการอบรม | | | | | | | |
| 5 | คู่มือการพัฒนานวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด อ่านแล้วเข้าใจได้ง่าย | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ใช้ได้ |
| 6 | สื่อที่เป็นของจริง ช่วยให้เข้าใจได้ง่าย | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ใช้ได้ |
| | ด้านกระบวนการอบรม | | | | | | | |
| 7 | ลำดับขั้นตอนการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ชัดเจน นำไปปฏิบัติได้จริง | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ใช้ได้ |
| 8 | มีกิจกรรมให้ผู้เข้ารับการถ่ายทอดได้ทดลองปิ้งย่าง ช่วยให้เข้าใจยิ่งขึ้น | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ใช้ได้ |
| | การวัดผลประเมินผลการอบรม | | | | | | | |
| 9 | แบบวัดผลประเมินผลอ่านแล้วเข้าใจง่าย | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ใช้ได้ |
| 10 | ครอบคลุมวัตถุประสงค์ทุกข้อ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | ใช้ได้ |

จากตารางข้างต้นพบว่า ผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินความสอดคล้องของเนื้อหาสาระในคู่มือการใช้นวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด พร้อมทั้งแนะนำข้อควรแก้ไขปรับปรุง ในบางประเด็นแล้วจึงได้วิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 ทุกข้อซึ่งแปลผลได้ว่าเนื้อหาสาระในคู่มือมีความสอดคล้องกัน สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางจัดอบรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีได้

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ของผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

| คน | คะแนนก่อนได้รับการอบรม (คะแนนเต็ม 10 คะแนน) | คะแนนหลังได้รับการอบรม (คะแนนเต็ม 10 คะแนน) | รวมผลต่าง | เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้า |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 9 | 7 | 70 |
| 2 | 2 | 8 | 6 | 60 |
| 3 | 3 | 8 | 5 | 50 |
| 4 | 2 | 7 | 5 | 50 |
| 5 | 2 | 9 | 7 | 70 |
| 6 | 4 | 8 | 4 | 40 |
| 7 | 3 | 7 | 4 | 40 |
| 8 | 2 | 7 | 5 | 50 |
| 9 | 3 | 8 | 5 | 50 |
| 10 | 2 | 10 | 8 | 80 |
| 11 | 2 | 5 | 3 | 30 |
| 12 | 2 | 8 | 6 | 60 |
| 13 | 3 | 7 | 4 | 40 |
| 14 | 4 | 5 | 1 | 10 |
| 15 | 2 | 8 | 6 | 60 |
| 16 | 3 | 9 | 6 | 60 |
| 17 | 2 | 10 | 8 | 80 |
| 18 | 2 | 8 | 6 | 60 |
| 19 | 3 | 9 | 6 | 60 |
| 20 | 3 | 7 | 4 | 40 |
| 21 | 4 | 8 | 4 | 40 |
| 22 | 3 | 9 | 6 | 60 |
| เฉลี่ย | 2.63 | 7.9 | 5.27 | 52.72 |

จากตารางข้างต้น พบว่า ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ของผู้รับ การถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนานวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด เท่ากับ 52.72 ซึ่งแสดงว่าผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนานวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด มีความรู้ ความเข้าใจ เกิดการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนเข้ารับการอบรมในระดับค่อนข้างมาก

**ตอนที่ 5 แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ประกอบการต่อการใช้กระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความพึงพอใจของผู้ประกอบการต่อการใช้งานของนวัตกรรมการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

| ที่ | ความพึงพอใจของเกษตรกรที่มีต่อการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยภาพรวม | X | S.D. | ระดับความพึงพอใจ |
|---|---|---|---|---|
| 1. | ความพึงพอใจด้านคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.39 | 0.47 | มาก |
| 2. | ความพึงพอใจด้านคู่มือการใช้นวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.28 | 0.45 | มาก |
| 3. | ความพึงพอใจด้านกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนานวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด | 4.20 | 0.52 | มาก |
| ค่าเฉลี่ยรวม | | 4.29 | 0.48 | มาก |

จากตารางข้างต้นพบว่า ความพึงพอใจของกลุ่มผู้ประกอบการมีต่อการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย (X = 4.29) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.48) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ ความพึงพอใจต่อคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย (X = 4.39) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.47) รองลงมา ได้แก่ ความพึงพอใจต่อคู่มือการใช้นวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย (X = 4.28) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.45) และความพึงพอใจต่อกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนานวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด ได้คะแนนอยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ย (X = 4.20) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.52)

# บทที่ 5

# สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาเครื่องต้นแบบในกระบวนการผลิตผงแร่ทัมคัมอัดเม็ด และกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนที่ผสมผสานความร้อนร่วมจากระบบแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในท้องถิ่น เพื่อลดการฟุ้งกระจายของผงแร่ทัลคัมในกระบวนการผลิตและการขนส่ง และเพิ่มมูลค่าในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ผงแร่ทัลคัมแบบใหม่ ได้ผลสรุปในแต่ละประเด็นดังนี้

## 5.1 สรุปผลการพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

การพัฒนากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด คณะผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพในด้านต่างๆได้ผลสรุปดังนี้

### 5.1.1 สรุปผลการหาส่วนผสมที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ในการทดสอบส่วนผสมในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยมีส่วนผสมระหว่างน้ำกับผงแร่ทัลคัม เพื่อหาส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพ (Yield) ที่ดีที่สุด จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer พบว่าการหาส่วนผสมที่สุดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตผงแร่ทัคคัมอัดเม็ดที่เหมาะสมที่สุด คือ ปริมาณผงแร่ทัลคัมร้อยละ 83.54 และปริมาณน้ำร้อยละ 16.46 โดยสามารถสร้างเป็นสมการทำนายประสิทธิภาพการอัดขึ้นรูปผงทัลคัมอัดเม็ด มาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ 5.1

$$Yield = 0.047x_1 - 19.084x_2 + 0.285x_1x_2 \qquad (5.1)$$

โดยที่ **Yield** = ส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพ

$x_1$ = ปริมาณผงแร่ทัลคัม (กิโลกรัม)

$x_2$ = ปริมาณน้ำ (กิโลกรัม)

### 5.1.2 สรุปผลการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ในการทดสอบเพื่อหาเวลาในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่เหมาะสม คือมีความชื้นต่ำกว่า 5.0% ในการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยใช้ฟังก์ชัน response optimizer พบว่าการหาค่าความชื้นในกระบวนการอบผงแร่ทัคคัมอัดเม็ดที่เหมาะสมที่สุด คือ

ต้องใช้อุณหภูมิในการอบ 227 องศาเซลเซียส และความเร็วของลมดูดความชื้นที่ 10.5 เมตรต่อวินาที จะทำให้ได้ค่าความชื้นตามที่ต้องการคือที่ 5.0% ในการวิเคราะห์พบว่าความเร็วลมของลมดูดความชื้นไม่มีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95.0% แต่ไม่สามารถตัดได้ เนื่องจากการไม่ใช้ลมดูดความชื้นเลยจะส่งผลให้แร่ทัลคัมเกิดความชื้นขึ้นเนื่องจากไม่มีลมที่ดูดความชื้นออกไปสู่ภายนอกเตา โดยสามารถสร้างสมการทำนายค่าความชื้นในการอบแร่ทัลคัมอัดเม็ด มาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ 5.2

$$Humidity = 14.9086 - 0.0317x_1 \quad (5.2)$$

โดยที่ Humidity = ค่าความชื้นหลังการอบแร่ทัลคัมอัดเม็ด

$x_1$ = อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ (องศาเซลเซียส)

### 5.1.3 สรุปผลการวัดอัตราการผลิตและรอบเวลาในการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ผลจากการหาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดตั้งแต่กระบวนการผสม การอัดขึ้นรูปเม็ด และกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อน โดยทำการวัดอัตราการผลิต และรอบเวลาในการผลิต พบว่ากระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดมีอัตราการผลิต 272 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีรอบเวลาเฉลี่ยที่ 12.08 นาที โดยใช้วลาในการผสม การขึ้นรูปอัดเม็ด และการอบที่เวลา โดยใช้เวลาในกระบวนการผสมเฉลี่ยที่ 2.24 นาที 0.43 นาที และ 9.41 นาที ตามลำดับ

## 5.2 สรุปผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานแก๊สในการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

ผลจากการทดสอบกระบวนการอบผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยทำการวัดปริมาณการใช้แก๊สระหว่างการใช้พลังงานจากแก๊สและจากการใช้พลังงานความร้อนร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าเมื่อกำหนดอุณหภูมิของแก๊สที่สูงกว่า140 องศา ปริมาณแก๊สที่ใช้เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานแก๊สอย่างเดียวและการใช้พลังงานร่วมกับแสงอาทิตย์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อใช้ความร้อนที่ต่ำกว่า 150 องสาเซลเซียส สามารถประหยัดพลังงานจากแก๊สอย่างมีนัยสำคัญ จากการทดสอบที่ 130 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อใช้พลังงานแก๊สอย่างเดียวใช้แก๊สในการอบ 3.89 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่เมื่อใช้พลังงานแก๊สร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ปริมาณแก๊สในการอบ 3.08 กิโลกรัม ซึ่งประหยัดการใช้แก๊ส 0.81 กิโลกรัม คิดเป็น 20.8 % ซึ่งการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดที่ใช้พลังงานจากแก๊สในกระบวนการลดความชื้นแบบเป่าลมร้อนเพียงอย่างเดียว มีต้นทุนการผลิตด้านพลังงานสูงกว่าการใช้ความร้อนร่วมจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ถึง 47.83 บาทต่อตัน ถึงแม้ว่ากระบวนการผลิตที่ใช้ระบบความร้อนร่วมนั้น จะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าก็ตาม

**5.3 สรุปผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด**

ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดให้กับผู้ประกอบการ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ มีผู้เข้าร่วมโครงการจำนวน 22 คน โดยใช้วิธีการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ( Purposive Sampling ) พบว่าส่วนใหญ่การสำรวจในครั้งนี้เป็น เพศชาย คิดเป็นร้อยละ 63.63 ( 14 คน) ที่เหลือเป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 36.36 ผลของการถ่ายทอดเทคโนโลยีนวัตกรรมในแต่ละด้านได้ผลดังนี้ ด้านความต้องการคุณลักษณะนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวม 4.38 คะแนน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม 0.45 คะแนน ด้านคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวม 4.36 คะแนน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม 0.47 คะแนน ด้านประสิทธิภาพของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยรวม 4.53 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.43 คะแนน ด้านความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ของผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนานวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ดเท่ากับ 52.72 ซึ่งแสดงว่าผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนานวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด มีความรู้ ความเข้าใจ เกิดการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนเข้ารับการอบรมในระดับค่อนข้างมาก และด้านความพึงพอใจของกลุ่มผู้ประกอบการมีต่อการใช้งานของนวัตกรรมกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.29 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.48 คะแนน

**5.4 ข้อเสนอแนะ**

5.4.1 ในกระบวนการผสมผงแร่ทัลคัมกับน้ำควรมีการติดตั้งระบบวาล์วปิดเปิดน้ำเพื่อให้ได้ได้ส่วนผสมที่แม่นยำ และรวดเร็วในการทำงาน

5.4.2 ผงแร่ทัลคัมที่อัดเม็ดบางส่วนที่ออกมายังมีลักษณะเป็นผงหรือแตกไม่จับตัวเป็นเม็ด ควรเพิ่มตะแกรงหรือที่กรองแร่ทัลคัมอัดเม็ดก่อนที่จำไปบรรจุส่งให้ลูกค้า

5.4.3 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในกระบวนการอบเพื่อไล่ความชื้นสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้แก๊ส แต่จะมีต้นทุนเพิ่มขึ้น ผู้ประกอบการควรต่อรองราคากับผู้ซื้อให้เพิ่มราคาจากแบบผงแร่ทัลคัมอย่างเดียวขึ้นอีกประมาณ 500 ถึง 700 บาทต่อตัน เพื่อให้คุ้มค่ากับการลงทุน

5.4.4 ผู้ประกอบการรายอื่นที่สนใจกระบวนการผลิตแบบนี้ สามารถนำไปพัฒนารูปแบบการผลิตให้เหมาะสมกับตนเอง หรือจะนำข้อมูลของกระบวนการผลิตนี้ ไปทำเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการทดสอบหารูปแบบของกระบวนการผลิตที่เหมาะสม เพื่อหาจุดคุ้มทุนก่อนจะดำเนินการสร้างจริง

# บรรณานุกรม


1. ชนินทร์ อุปถัมภ์ และธีระวัฒน์ พิพัฒน์พูนสิริ(2551). การพัฒนาเครื่องผสมมูลสำหรับเครื่องอัดเม็ด (โครงงานนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2. เนตรวุฒิ อยู่ภักดี,ชวลิต เวียงสีมา (2553). ผลของความเร็วการอัดและชนิดผงถ่านที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง (โครงงานนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3. นิตต์อลิน พันธุ์อภัย และคณะ (2552). เครื่องหีบน้ำมันสบู่ดำกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบไฮดรอกลิกส์สำหรับชุมชนขนาดเล็ก, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

4. วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน (2541). การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด.

5. ศศิธร จารุสมบัติ และคณะ (2554). การพัฒนาและหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดกระดาษและการทำกระดาษจากพืชหอม : กรณีศึกษาเตยหอมและตะไคร้หอม,วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 ตุลาคม 2554-มกราคม 2555, หน้า 40-59.

6. สาส์น สาสนกุล และธัญญะ เกียรติวัฒน์ (2552). การศึกษาและออกแบบเครื่องอัดก้อนแร่สำหรับการเลี้ยงปศุสัตว์, วารสารวิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 70 ปีที่ 22 พฤศจิกายน 2552 - มกราคม 2553, หน้า 85-95.

7. สุพจน์ อนุพงษ์พิชาติ และสุเทพ บุตรดี (2555). การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปเม็ดดินส่งกระสุน, วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ปีที่4 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2555, หน้า 46-59.

8. อดุลย์ พุกอินทร์ (2555). การออกแบบและพัฒนาเครื่องเมล็ดสบู่ดำ, วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ปีที่5 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2555, หน้า 59-67.

9. สุริยะ สุกรินทร์ และคณะ (2554). การศึกษาความเหมาะสมในการใช้งานของแผงผลิตน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, โรงแรมภูเก็ต ออคิท รีสอร์ท แอนด์ สปา, 3-5 พฤษภาคม 2554.

10. แบงค์ ศรีสุข และวิทยา ยงเจริญ (2556). สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนด้วยแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนชนิดแผ่นเรียบรับความร้อน, วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2556, หน้า 57-70.

11. ทวีศักดิ์ มหาวรรณ์ และคณะ (2556). การพัฒนาตู้อบหญ้าหวานโดยใช้แหล่งความร้อนจากก๊าซหุงต้มและพลังงานแสงอาทิตย์, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14, โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์ พลาซ่า, 1-4 เมษายน 2556.

12. สรวิศ สอนสารี และคณะ (2557). การพัฒนาตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2557, หน้า 105-121.

13. เจนจิรา เปี่ยมดี (2545). การออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการอบแห้งขนม. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

14. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2547). การใช้หม้อน้ำรถยนต์เป็นอุปกรณ์นำความร้อนทิ้งกลับคืน. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.

15. อติพงศ์ นันทพันธุ์ และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2547). สมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนดัดแปลงจากหม้อน้ำรถยนต์. บทความวิชาการนำเสนอการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18, ขอนแก่น.

16. J.I. Wadsworth, L. Velupillai and L.R. Verma, *Microwave-vacuum drying of parboiled rice*, Trans. ASAE 33(1): 199-210, 1990.

17. D.B. Brooker, F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall, *Drying cereal grains*, Westport, Connecticut: AVI, 1983.

18. J.E, Wimberly, *Technical handbook for the paddy rice postharvest industry in developing countries*, Los Banos, Laguna, Philippines: International Rice Research Institute (IRRI), 1983.

19. _____. (2557). “เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับวัตถุดิบเซรามิก ทัลคัม” [ออน-ไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.thaiceramicsociety.com/rm_soil_talcum.php

20. _____. (2557). “การทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์” [ออน-ไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.teenet.cmu.ac.th/emac/journal/2001/01/04.php

# ประวัติผู้วิจัย

# ประวัติผู้วิจัย

**1. หัวหน้าโครงการวิจัย**


นายวีระพล คงนุ่น Mr. Weerapon Kongnun

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3530800308018

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

ประจำหลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

โทรศัพท์ 055411096 ต่อ 1360 โทรศัพท์มือถือ 089-7081594

E-mail: weerapon.kong@gmail.com


**ประวัติการศึกษา** ปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

**สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ** (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

พลังงานทดแทน ไมโครคอนโทรลเลอร์และการควบคุมแบบอัตโนมัติ

**ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ**

ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : (ไม่มี)

หัวหน้าโครงการวิจัย :

- การสร้างเครื่องส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย
- การสร้างเครื่องวัดและบันทึกค่าความเร็วลมแบบอัตโนมัติ
- การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโคมไฟถนนแบบ LED กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ วิทยาเขตแพร่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทำเสร็จแล้ว:

- การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมและความเหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดจิ๋ว สำหรับการประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ

**ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์**

S. Seesanga, W. Kongnun, A. Sangswang and S. Chotigo, “A new type of the VLF high voltage generator,” IEEE International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2008), pp 929-932, August 2008, Krabi, Thailand.

S. Seesanga, W. Kongnun, A. and S. Chotigo, 2008. “Microcontroller Modulation of VLF high voltage generator rate 3kV peak using dsPIC30F2010,” IEEE International Conference on Power and Energy Conference (PECon 2008), pp 62-66, December. Johor Bahru, Malaysia.

W. Kongnun, A. Sangswang and S. Chotigo, “Design of a cascaded H-bridge converter for insulation testing,” IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE2009), pp. 859-863, July 2009, Seoul, Korea.

W. Kongnun, A. Sangswang and S. Chotigo, “A cascaded H-bridge converter for a new type of the VLF high voltage generator,” IEEE International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM 2009), pp. 89-92, July 2009, Harbin, China.

W. Kongnun, A. Sangswang and S. Chotigo, “A Positive Reference PWM Strategy Base on Multi-switching DC Voltage Sources Converter for Insulation Testing,” the 36$^{th}$ Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2010), Nov 2010, Phoenix, Arizona, USA.

Weerapon Kongnun and Phamorn Silapan, "Single MO-CFTA Based Electronically Temperature Insensitive Current-mode Full-wave Rectifier", International Conference on Electrical Engineering and Computer Sciences (ICEECS), March 2013.

Weerapon Kongnun and Apinan Aurasopon, “A Novel Electrically of Current-mode Level Shifted Multicarrier PWM Based on MO-CFTA”, Radio Engineering Journal, Vol.22, No.3, pp907-915, Sep 2013.

**2. ผู้ร่วมโครงการวิจัย**

ดร. กันต์ อินทุวงศ์ Gunt Intuwong (Ph.D.)
เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-5399-00122-14-3
ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ. อุตรดิตถ์ 53000 โทรศัพท์ 086-3782619
E-Mail : inchgun@hotmail.com

**ประวัติการศึกษา** Major is Industrial Education, (Ph.D.) Panjab University, India

**รางวัลที่ได้รับ**

2542 : ได้รับการคัดเลือกผลงานการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองประจำปีการศึกษา 2542 ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมรมศึกษา ในระดับดีเด่นมหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

2553: ได้รับการคัดเลือกผลงานวิจัยระดับชมเชย ในการประชุมวิชาการ การพัฒนางานวิจัยท้องถิ่นเพื่อการใช้ประโยชน์ วันที่ 2-3 สิงหาคม 2553

**สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ** (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

จิตวิทยาอุตสาหกรรมและองค์กร

การฝึกอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยี

**ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ**

**งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว**

งานวิจัยวิทยานิพนธ์

2542 “การพัฒนาและหาประสิทธิภาพเครื่องโรลเลอร์แมชชีน” หลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

2547 “The Effect of Well-Being Strategies on The Narcotic Drug Problem and Self-Concept of Drug Addicted College Students in Thailand.” Faculty of Education Major is Industrial Education, Panjab University, India

**ผลงานวิจัยที่ผ่านมา**

2551 “ศึกษาความคาดหวังที่มีต่อบัณฑิตและการจัดการศึกษาในหลักสูตร สาขาวิศวกรรมศาสตร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ตามความคิดเห็นของผู้บริหารของสถานประกอบการ” (หัวหน้าวิจัย) ทุนคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

2551 “ศึกษาแนวโน้มความต้องการของตลาดแรงงานและคุณลักษณะที่พึงประสงค์ของบัณฑิต ระดับปริญญาตรีในทศวรรษหน้า ตามความคิดเห็นของสถาน ประกอบการในจังหวัดพิษณุโลก” (หัวหน้าวิจัย) ทุนเครือข่ายภาคเหนือตอนล่าง ม.นเรศวร (สกอ.)

2552 “แนวทางการแก้ไขปัญหาหนี้สินครูที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ยั่งยืน” (หัวหน้าวิจัย)ทุนสำนักงานคณะกรรมการ สกสค.กระทรวงศึกษาธิการ

2552 “การเปรียบเทียบลักษณะบุคลิกภาพความเป็นผู้ประกอบการ ลักษณะความเป็นผู้ประกอบการ ความเชื่อในประสิทธิภาพแห่งตนของนักศึกษาที่มีสภาพการเรียนต่างกลุ่มที่แตกต่างกัน” (หัวหน้าวิจัย) ทุนสถาบันและพัฒนาการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

2552 “การพัฒนาคุณค่าของนวัตกรรมเครื่องอัดรีดแผ่นใบตอง ด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมของชุมชน เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเครื่องอันรีดแผ่นใบตองในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของชุมชน อย่างยั่งยืน โดยจัดโครงการ KM: ภาคปฏิบัติชุมชน” (หัวหน้าวิจัย) ทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

2552 “การสร้างคุณค่าของสิ่งประดิษฐ์เชิงนวัตกรรมเครื่องผ่าไม้ไผ่และเครื่องจักตอก ด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน เพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องจักสานไม้ไผ่ในเขตพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ (ผู้ร่วมวิจัย) ทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

2553 “การออกแบบและปรับปรุงผังโรงงานจินตนาสมุนไพร” (ผู้ร่วมวิจัย) ทุนเครือข่ายอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ

**3. ผู้ร่วมโครงการวิจัย**


นายไพโรจน์ นะเที่ยง Mr. Pairote Nathiang

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3530100965377

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหการ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

โทรศัพท์ 055411096 ต่อ 1360 โทรศัพท์มือถือ 098-8049275

E-mail : pairote.n@gmail.com


**ประวัติการศึกษา** ปริญญาโทสาขาอุตสาหกรรมศึกษา

**ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ**

1. <u>หัวหน้าโครงการวิจัย</u>

- การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องผ่าไม้ไผ่แบบไม่จำกัดความยาว ทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ปี พ.ศ.2549
- การสร้างและพัฒนาเครื่องผ่าทุเรียนแบบแยกพูล ทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ปี พ.ศ. 2549
- การสร้างและพัฒนาเครื่องคั่วงาระบบถังหมุน ทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ปี พ.ศ.2549
- การพัฒนาเครื่องอัดรีดแผ่นใบตองสำหรับห่อขนมเทียนเสวย โดยใช้แผ่นความร้อนแบบขดลวดไฟฟ้า ทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ปี พ.ศ.2552
- การสร้างเสริมสุขภาวะเพื่อความอยู่ดีมีสุขของชุมชนโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ตำบลร่วมจิต อำเภอท่าปลาจังหวัดอุตรดิตถ์ ทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาวะแห่งชาติ (สสส.) ปี พ.ศ.2553
- การสร้างคุณค่าของสิ่งประดิษฐ์เชิงนวัตกรรมเครื่องผ่าไม้ไผ่และเครื่องจักตอก ด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน เพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องจักสานไม้ไผ่ในเขตพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ(วช) ปี พ.ศ.2554
- การจัดการเทคโนโลยีเครื่องหยอดเมล็ดข้าวนาน้ำตม สู่การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะผ่านกระบวนการการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม เพื่อการลดต้นทุนการผลิตและพัฒนาศักยภาพของชาวนาเพื่อการพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ปี พ.ศ.2555
- การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องโรยดินสู่การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะผ่านกระบวนการการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม ทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ปี พ.ศ.2556

- การพัฒนาคุณค่านวัตกรรมเครื่องตำแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมสู่ชุมชนฐานราก ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ปี พ.ศ.2555

- การใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปของกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เม็ดมะม่วงหิมพานต์ อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช) ปี พ.ศ.2557

- การถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวสำหรับการปลูกข้าวแบบน้ำตมสู่กลุ่มเกษตรกรทำนาในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมายที่มีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ ภายใต้โครงการจัดการความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีจากผลงานวิจัยและนวัตกรรม ประจำปี 2557

- การจัดการความรู้และพัฒนาชุดความรู้ทางวิทยาศาสตร์จากภูมิปัญญาท้องถิ่นการถลุงสินแร่เหล็กน้ำพี้ตำบลน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์ ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ปี พ.ศ.2557

- การพัฒนากระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟอาราบิก้าคั่ว-บด สำหรับเกษตรกรรายย่อยในเชิงการค้าเพื่อสนับสนุนการผลิตสำหรับธุรกิจกาแฟอินทรีย์ของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช) ปี พ.ศ.2558

2. <u>ผู้ร่วมโครงการวิจัย</u>

- การพัฒนามาตรฐานการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมกลุ่มผลิตภัณฑ์กล้วยกวน อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช) ปี พ.ศ.2545

- การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมเพื่อพัฒนามาตรฐานผลิตภัณฑ์เครื่องจักสานไม้ไผ่ ต.นานกกก อ. ลับแล จ.อุตรดิตถ์ ( ผู้ร่วมวิจัย) ทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ปี พ.ศ.2551

- การพัฒนาคุณค่าของนวัตกรรมเครื่องอัดรีดแผ่นใบตอง ด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมของชุมชน เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเครื่องอัดรีดแผ่นใบตองในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของชุมชน อย่างยั่งยืน โดยจัดโครงการ KM: ภาคปฏิบัติชุมชน(ผู้ร่วมวิจัย) ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช) ปี พ.ศ.2552

- การประยุกต์หลักการจัดการธุรกิจหอมแดงของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมเพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตอย่างยั่งยืน (ผู้ร่วมวิจัย) ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช) ปี พ.ศ.2553

- การวิจัยและพัฒนาระบบการจัดการธุรกิจเม็ดมะม่วงหิมพานต์แบบมีส่วนร่วมของกลุ่มเกษตรกรชุมชนเพื่อพัฒนาทรัพยากรและเสริมสร้างขีดความสามารถของคนในท้องถิ่นอย่างเป็นระบบและยั่งยืน (ผู้ร่วมวิจัย) ทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช) ปี พ.ศ.2554

3. งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2552). ผลของความร้อนจากแผ่นความร้อนแบบขดลวดไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพการอัดรีดแผ่นใบตองที่ใช้เป็นวัสดุสำหรับห่อขนมเทียนเสวย.วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2553). การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องผ่าผลทุเรียนแบบแยกพู. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2553).การพัฒนาเครื่องอัดรีดแผ่นใบตองสำหรับห่อขนมเทียนเสวย โดยใช้แผ่นความร้อนแบบขดลวดไฟฟ้า.วารสารสมาคมส่งเสริมการวิจัย.กรุงเทพฯ : สนับสนุนงานวิจัยของไทย.

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2553).การสร้างคุณค่าของสิ่งประดิษฐ์เชิงนวัตกรรมเครื่องผ่าไม้ไผ่และเครื่อง จักตอก ด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน เพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องจักสานไม้ไผ่ในเขตพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์”การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7ระหว่างวันที่ 7-8 ธันวาคม 2553 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2555).การประยุกต์ใช้สิ่งประดิษฐ์เชิงนวัตกรรมเครื่องผ่าไม้ไผ่เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วม” การประชุวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการ พะเยาวิจัย ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 12-13 มกราคม พ.ศ. 2555

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2555).การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องตัดกลมแผ่นใบตองด้วยระบบนิวเมติกส์”การประชุมทางวิชาการ “นเรศวรวิจัย” ครั้งที่ 8บทความที่ส่งลงตีพิมพ์ Proceedings วันที่ 28-29 กรกฎาคม พ.ศ.2555 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2555).ผลจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครื่องจักตอกแบบเลาะข้อไม้ไผ่ เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วม”การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ พ.ศ.2555 วันที่ 24-28 สิงหาคมพ.ศ. 2555 ณ ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ ราชประสงค์ กรุงเทพฯ

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2555). การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักตอกแบบเลาะข้อไม้ไผ่เพื่อการยกระดับมาตรฐานการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กรณีศึกษา : กลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องจักสานเข่งไม้ไผ่ ตำบลนานกกก อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ การประชุมทางวิชาการ “มหาวิทยาลัยรับใช้สังคม” ครั้งที่ 1 บทความที่ส่งลงตีพิมพ์ Proceedings วันที่ 16-17 สิงหาคมคม พ.ศ.2555 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จังหวัดลำปาง

Pairote Nathiang.(2013). “Production Increasing Medium andSmall Industry in Thailandby Using Technology on a Low Costs Machine” International Conference on Innovation and Management (IAM2013S) Date: Jul. 16-19, 2013. Venue: Phnom Penh, Cambodia.

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2556).จุดคุ้มทุนและระยะคืนทุนของการใช้งานเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวสำหรับการปลูกข้าวแบบนาน้ำตม” การประชุมวิชาการนเรศวรวิจัยครั้งที่ 9 “ความรู้สาเชิงพาณิยช์ นำเศรษฐกิจไทยก้าวไกลอาเซียน” ระหว่างวันที่ 28-29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2556).การพัฒนาคุณค่านวัตกรรมเครื่องตำแร่เหล็กน้ำพี้ด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยี แบบมีส่วนร่วมสู่ชุมชนฐานราก"การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ระหว่างวันที่ 2-3 สิงหาคม 2556 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2557). ผลจากการใช้เทคโนโลยีเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวสำหรับการปลูกข้าวแบบนาน้ำตม วารสารการวิจัยเพื่อพัฒนาชุมชน : มหาวิทยาลัยนเรศวร.ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม-มิถุนายน 2556.

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2557). การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะคืนทุนของเครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบนาน้ำตม วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2557

Pairote Nathiang.(2014). Design and Development of Bamboo Splitter Technology." International Symposium on Engineering and Sciences (ISEANS) Date: May 22-24,2014 Venue: Beijing China. (Oral Presentation)

ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2557). การพัฒนาเครื่องเจาะรูแผ่นรังผึ้งลิ้นเตาอั้งโล่ด้วยระบบไฮดรอลิกส์. การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ พ.ศ.2557 วันที่ 7-11 สิงหาคมพ.ศ. 2557 ณ ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ ราชประสงค์ กรุงเทพฯ

<u>รางวัลผลงานทางวิชาการ</u>

รางวัลนำเสนอบทความวิจัยรองชนะเลิศอันดับที่สอง เรื่อง "การประยุกต์ใช้สิ่งประดิษฐ์เชิงนวัตกรรมเครื่องผ่าไม้ไผ่เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนด้วยรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วม" จากการประชุวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการ พะเยาวิจัย ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา ระหว่างวันที่ 12-13 มกราคม พ.ศ. 2555

รางวัลบทความวิจัยดีเด่น (รางวัลชมเชย) เรื่อง "การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องตัดกลมแผ่นใบตองด้วยระบบนิวเมติกส์" จากการประชุมทางวิชาการ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ 8บทความที่ส่งลงตีพิมพ์ Proceedings วันที่ 28-29 กรกฎาคม พ.ศ.2555 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

รางวัลประกาศเกรียติคุณโครงการวิทยาศาสตร์สู่ความเป็นเลิศ "โครงการพัฒนาเครื่องจักตอกแบบเลาะข้อไม้ไผ่" จากคณะกรรมาธิการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การสื่อสารโทรคมนาคม วุฒิสภา ประจำปี พ.ศ.2555

รางวัลนักวิจัยดีเด่นรองชนะเลิศอันดับที่ 2 ประจำปีการศึกษา พ.ศ.2556 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

รางวัลนักวิจัยดีเด่นชนะเลิศอันดับที่ 1 ประจำปีการศึกษา พ.ศ.2557 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

<u>ผลงานอื่นๆ</u>

อนุสิทธิบัตรการประดิษฐ์ เลขที่คำขอ 0903000079 ชื่อที่แสดงการประดิษฐ์ "เครื่องอัดรีดแผ่นใบตองโดยใช้แผ่นความร้อนแบบขดลวดไฟฟ้า"(วันที่ได้รับความคุ้มครองสิทธิ์ 30 กันยายน พ.ศ. 2553)

**4. ผู้ร่วมโครงการวิจัย**


นาย ดุษฎี บุญธรรม Mr.Dussadee Buntam

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-7199-00028-06-4

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหการ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

โทรศัพท์ 055-416625 โทรศัพท์ 085-8630830

E-Mail: Oke_kmitl@hotmail.com


**ประวัติการศึกษา** ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

**สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ** (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติและการเพิ่มผลผลิตในงานอุตสาหการรม

**ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ**

**ผลงานวิจัยที่ผ่านมา**

2554. “การออกแบบแผนภูมิควบคุมเพื่อการยอมรับเชิงเดี่ยวในการเฝ้าระวังเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอกของแท่งชิ้นงาน” (หัวหน้าวิจัย)

2555. “การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องผสมแร่เหล็กน้ำพี้โดยจัดการเรียนการสอนแบบมีส่วนร่วม”แหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยจากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ (หัวหน้าวิจัย)

2556.”การประเมินประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องสีข้าวเพื่อหาแนวทางการเพิ่มผลผลิต”แหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ (หัวหน้าวิจัย)

**งานวิจัยที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่**

ดุษฎี บุญธรรม “การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตแท่งชิ้นงานในอุตสาหกรรมโดยใช้ระบบต้นทุนกิจกรรม” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 36 ฉบับที่ 2 (2556) หน้า 203-213

การนำเสนองานวิจัย: ภาคบรรยาย

ดุษฎี บุญธรรม,”การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องผสมแร่เหล็กน้ำพี้”, การประชุมระดับชาติและนานาชาติ หัวข้อ ชุมชนท้องถิ่น ฐานรากการพัฒนาประชาคมอาเซียน ครั้งที่ 3 ณ. โรงแรมเซ็นทารา แอนด์ คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น, วันที่ 9-10 พฤษภาคม 2556

Buntam, D., Intuwong, G., Kulchstchsi, P., Improvement of Overall Equipment Effectiveness of Lek-Numpi Mixing Machine by Participatory Learning”**Welcome to** the 57th World Assembly of International Council on Education for Teaching (ICET 2013) in Sukhothai Thammathirat Open University othai on June 25-28th , 2012

**5. ผู้ร่วมโครงการวิจัย**


นายอภิศักดิ์ พรหมฝาย Mr. Apisak Phromfaiy

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 4551000001146

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

ประจำหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

โทรศัพท์ 055411096 ต่อ 1360 หรื 0898392717

E-mail Apisakph@hotmail.com


**ประวัติการศึกษา** ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมระบบการผลิตและอัตโนมัติ

**สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ** (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ, ระบบสมองกลฝังตัว

**ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ** - A grinding path optimizaton for roll grinding machine (หัวหน้าโครงการ)

# ภาคผนวก

การประชุมวางแผนขั้นตอนการดำเนินการวิจัยระหว่างคณะผู้วิจัยและสถานประกอบการ

การลงพื้นที่ดูขั้นตอนการผลิตผงแร่ทัลคัมและสำรวจพื้นที่ติดตั้งกระบวนการผลิตผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด

การสำรวจแหล่งแร่ทัลคัมในพื้นที่สัมปทานของโรงงานหล่อวัฒนา

คณะกรรมการตรวจรับเครื่องผสมและขึ้นรูปผงแร่ทัคคัมอัดเม็ด

คณะกรรมการตรวจรับเตาอบลมร้อนแบบถังหมุนและสายพานลำเลียง

คณะกรรมการตรวจรับระบบทำความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ทดสอบการให้ความร้อนร่วมจากระบบพลังงานแก๊สและระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ผลทดสอบด้านการผลิตและการละลายน้ำของผงแร่ทัลคัมอัดเม็ด