# การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อผงแกลบที่ได้จากเครื่องบดแกลบโดยใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม

# Analysis Factors of Husk Powder Production from Rice Husk Crusher by Using Design of Experiment.

วรรณรพ ขันธิรัตน์[1*] ปิยณัฐ โตอ่อน[2]
[1, 2]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตกาฬสินธุ์
E-mail: Wanrop@windowslive.com*

Wanrop Khantirat[1*] Piyanat To-oon[2]
[1, 2]Department of Industrial Technology, Faculty of Agro Industrial Technology,
Rajamangala University of Technology Isan, Kalasin campus.
E-mail: Wanrop@windowslive.com*

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นศึกษาความเหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแกลบผง โดยพิจารณาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ ค่าความชื้น และความเร็วรอบของล้อลูกหิน ซึ่งความชื้นของแกลบมีอยู่ 2 ระดับ คือ 13.5 และ 17.2 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วรอบของล้อลูกหินมีอยู่ 3 ระดับ คือ 500 700 และ 900 รอบต่อนาที ตามลำดับ ต่อปริมาณผงแกลบเพื่อผสมในอาหารสัตว์ งานวิจัยนี้ได้นำพื้นฐานของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (DOE) มาใช้ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผงแกลบ ผลการทดลองพบว่าความชื้นของแกลบและความเร็วรอบของลูกหิน มีผลต่อปริมาณแกลบผงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรนำแกลบผงซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเกษตรมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ได้

**คำหลัก** แกลบผง อาหารสัตว์ การออกแบบการทดลอง

**Abstract**

The purpose of this study is to optimize the effect of husk powder. The factors to consider are the humidity and the speed of crusher wheel. The moisture is divided into 2 levels are 13.5 and 17.2% with ball mill speed is divided into 3 levels are 500, 700, and 900 rpm to husk powder for animal feed stock application. Rationale for conducting this study was determined based on design of experiment (DOE) on husk powder effect. The results shown that moisture and ball mill speed has significant ($P < 0.05$) on husk powder. From this study husk powder can be used to promote for animal feedstock.

**Keyword:** Husk powder, Animal feedstock, Design of experimental

## 1. บทนำ

ประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม เพราะประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพทำไร่ทำนาและด้านอื่นๆ เช่น การเลี้ยงปศุสัตว์ ไม่ว่าจะเป็นโค กระบือ แกะ แพะ สุกร และสัตว์ปีกทั่วไป จากการศึกษาฐานข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงปศุสัตว์ ประจำปี พ.ศ. 2555 พบว่า เกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์มีทั้งหมดประมาณ 3.6 ล้านครัวเรือนทั่วทั้งประเทศ [1]

ซึ่งการเลี้ยงสัตว์ อาหารสัตว์สำเร็จรูป ถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญ เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย และสะดวกต่อการใช้งาน เพื่อให้ปศุสัตว์เจริญเติบโตขึ้นอย่างสมบูรณ์ แต่อาหารสัตว์สำเร็จรูปในปัจจุบันมีราคาเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างน้อยประมาณร้อยละ 5-7 ต่อไตรมาส [2] ดังนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่ จึงนิยมนำเอาวัสดุที่เหลือจากการเกษตร เช่น แกลบ ซังข้าวโพด และฟางข้าว มาทำเป็นอาหารสัตว์ หรือเป็นส่วนผสม เพราะมีแร่ธาตุพร้อมทั้งคุณค่าทางอาหารสูง [3] และในแกลบดิบ ถือว่าเป็นส่วนผสมที่ใช้กับอาหารสัตว์สำเร็จรูปได้ดี เนื่องจากมีไขมันเป็นส่วนประกอบอยู่ในระดับค่อนข้างสูงมาก ประมาณ 12-13 เปอร์เซ็นต์ โดยมีปริมาณโปรตีนประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ และวิตามินบี ชนิดต่างๆสูง ยกเว้นไนอะซีน ซึ่งอยู่ในรูปสัตว์ใช้ประโยชน์ได้น้อย พร้อมทั้งมีคุณสมบัติเป็นยาระบาย ถ้าใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารสัตว์ในปริมาณสูง จะทำให้สัตว์ถ่ายอุจจาระเหลว [4] จึงเหมาะสมในการนำมาทำเป็นอาหารสัตว์ เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออาหารสำเร็จรูป และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โดยการนำเครื่องบดแกลบมาใช้เป็นเครื่องมือ ในการช่วยย่อยขนาดตามที่ต้องการ

ดังนั้นจึงทำการออกแบบและสร้างเครื่องบดแกลบเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผงแกลบจากเครื่องบดแกลบโดยวิธีการออกแบบการทดลอง ในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ เพื่อช่วยลดต้นทุนในการจัดซื้ออาหารสำเร็จรูป ปริมาณผงต่อกากอาหารที่ได้ตามความต้องการของเกษตรกร และพัฒนารูปแบบใหม่ๆ ไปใช้กับงานอื่นๆ และตอบสนองต่อความต้องการของเกษตรกร ตามความเหมาะสมต่อไป

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

แกลบ (Rice husk) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด กลีบเลี้ยง ฟาง และขั้วเมล็ด ประมาณ 20-24% ของข้าวเปลือก องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแกลบได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ประมาณ 68% ลิกนิน 19.2-24.5% เถ้า 13.2-29.0% (ประกอบด้วยซิลิก้า 86.9-97.3%) โดยโรงสีสามารถนำแกลบมาใช้ประโยชน์ได้หลายลักษณะ เช่น นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงหรือแปรรูปเป็นพลังงานที่มีมูลค่าเพิ่มได้ (ถ่านชีวมวล) ใช้เป็นตัวดูดซับสารเคมีและโลหะหนักในน้ำเสีย และใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ จากการศึกษาสารอาหารในแกลบพบว่ามีไขมันเป็นส่วนประกอบอยู่ในระดับค่อนข้างสูงมาก พร้อมทั้งโปรตีนและวิตามินที่สัตว์ต้องการ จากงานวิจัยของ A Z Aderolu พร้อมคณะ ในปี ค.ศ. 2004 ได้ทำการศึกษาการใช้แกลบบดมาผสมกับอาหารสำเร็จรูปที่มีผลต่อการวางไข่ของนก ซึ่งเน้นที่ประสิทธิ์ภาพและคุณภาพของไข่ พบว่าไข่นกที่กินอาหารสัตว์ผสมกับแกลบมีอัตราใกล้เคียงกันกับนกที่กินอาหารสำเร็จรูปเพียงอย่างเดียว และในปี ค.ศ. 2008 โดย J. Vadiveloo พร้อมคณะผู้วิจัย ได้ศึกษาการปรับปรุงโภชนาการของแกลบ ผลที่จากการทดสอบพบว่า แกลบมีแร่ธาตุ โปรตีนและวิตามินสูงสามารถนำไปใช้ทำเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ได้ จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองแบบพื้นที่ผิวผลตอบ (Response Surface Methodology (RSM)) ซึ่งในปี ค.ศ. 1991 โดย D.C. Montgomery ได้ทำการอธิบายหลักการ RSM ไว้ดังนี้ " RSM ถือว่าเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์และสถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบหุ่นและวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งแสดงผลคำตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลนั้น" จากนั้นมีนักวิจัยหลายท่านที่ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อผลคำตอบไม่ว่าจะเป็น A.L. Ahmad พร้อมคณะผู้วิจัย ในปี ค.ศ. 2006 ได้ใช้วิธี RSM ในการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์โดยกระบวนการความร้อนยึดกลใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) หรือ การเพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัด 2 Propanol ด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง ของ Daniel Vildozo และคณะผู้วิจัย ในปี ค.ศ. 2008 ดังนั้นผู้วิจัยจึง

ได้นำเอาวิธีการ RSM มาใช้ในการหาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผงแกลบที่ได้จากเครื่องบดแกลบ

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยนี้เป็นการหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณผงแกลบ โดยมีลำดับการดำเนินการดังนี้

3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องบดแกลบ

3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

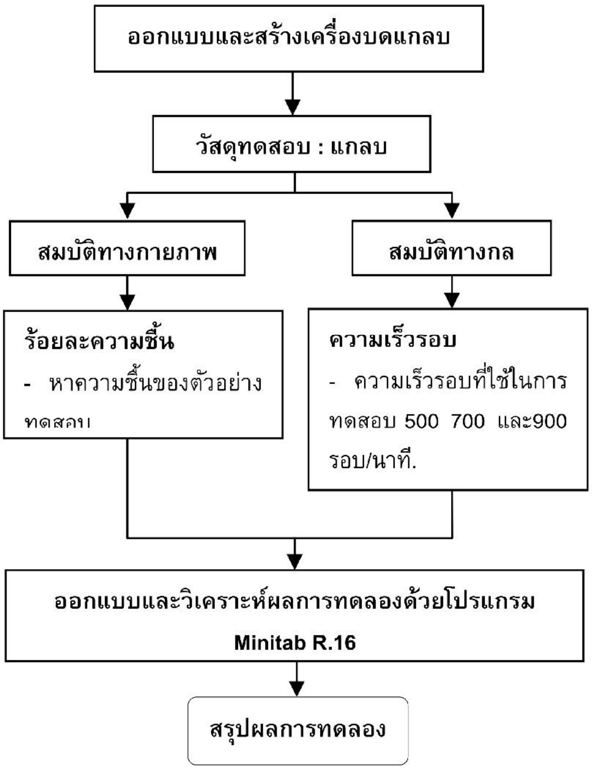
3.3 วัสดุทดสอบ (แกลบ)

3.4 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อปริมาณผงแกลบ โดยแบ่งการทดสอบตามสมบัติของวัสดุและเครื่องบดอาหารแกลบ ดังนี้

3.4.1 สมบัติทางกายภาพ

3.4.2 สมบัติทางกล

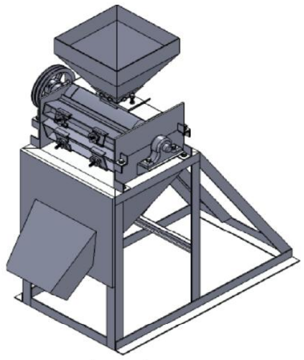
3.5 การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab R.16 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผงแกลบ



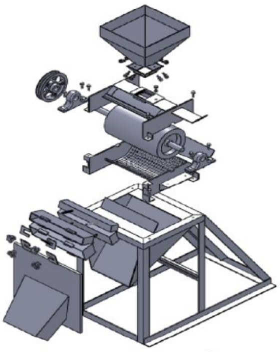

รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

### 3.1 ออกแบบเครื่องบดแกลบ

ผู้ดำเนินโครงการได้มีออกแบบและสร้างเครื่องบดแกลบ ดังที่แสดงตามรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 เครื่องบดแกลบ



รูปที่ 3 ลักษณะภายในของเครื่องบดแกลบ

### 3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

ผู้จัดทำโครงการเครื่องมือเพื่อการทดลองดังต่อไปนี้

3.2.1 ตัวอย่างทดสอบ (แกลบแห้ง)

รูปที่ 4 แกลบแห้ง

3.2.2 เครื่องอินเวอร์เตอร์ (Inverter) และเครื่องชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 5 เครื่องอินเวอร์เตอร์ (Inverter) และเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

3.2.3 เครื่องวัดความชื้น (Moisture Balance)

รูปที่ 6 เครื่องวัดความชื้น (Moisture Balance)

**3.3 การวิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างทดสอบได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน** คือ

3.3.1 สมบัติทางกายภาพ

เป็นการทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุทดสอบคือแกลบ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ได้ใช้เครื่องวัดความชื้น (Moisture Balance) ยี่ห้อ AND รุ่น MX – 50 [5] เพื่อวิเคราะห์หาค่าความชื้นของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบก่อนทำการทดสอบ ตามรูปที่ 6

3.3.2 สมบัติทางกล

เป็นการกำหนดช่วงปัจจัยการทดสอบ คือปรับระดับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยกำหนดความเร็วระหว่าง 500 700 และ 900 รอบ/นาที โดยใช้เครื่องปรับระดับกระแสไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมความเร็วรอบ (Inverter) ตามรูปที่ 5

**3.4 การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab R.16**

งานวิจัยนี้ ได้ใช้โปรแกรม Minitab R.16 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์เชิงสถิติใช้ทำนายผลการทดลอง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวผลตอบ (Response Surface) ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแกลบจากเครื่องบดแกลบ [6] จากนั้นได้ทำการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ โดยการทดสอบครั้งนี้จะพิจารณาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้นก็คือ

1) ค่าความชื้น
2) ความเร็วรอบ

ซึ่งค่าความชื้นที่ใช้ในการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ 13.5 และ 17.2 % ความเร็วรอบที่ใช้แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 500 700 และ 900 รอบ/นาที ตามลำดับ

ในการทดลองครั้งนี้มีจำนวนตัวอย่างทดลองทั้งหมด 6 ตัวอย่างทดลอง ซึ่งได้ทำการออกแบบในทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ใน 1 ตัวอย่างการทดลอง ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 18 ครั้ง จากนั้นทำการทดลองจริงตามที่โปรแกรมได้ทำการออกแบบการทดลอง แล้วนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ผล ตามรูปที่ 7

| C1<br>StdOrder | C2<br>RunOrder | C3<br>PtType | C4<br>Blocks | C5<br>RPM | C6<br>%Mois | C7<br>Powder |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 1 | 1 | 1 | 900 | 17.2 | 88 |
| 3 | 2 | 1 | 1 | 700 | 13.5 | 89 |
| 16 | 3 | 1 | 1 | 700 | 17.2 | 82 |
| 5 | 4 | 1 | 1 | 900 | 13.5 | 94 |
| 13 | 5 | 1 | 1 | 500 | 13.5 | 83 |
| 8 | 6 | 1 | 1 | 500 | 17.2 | 72 |
| 2 | 7 | 1 | 1 | 500 | 17.2 | 73 |
| 18 | 8 | 1 | 1 | 900 | 17.2 | 86 |

รูปที่ 7 ตารางตัวอย่างการวิเคราะห์ผล

**4. ผลการทดลอง**

**4.1 ประสิทธิภาพเครื่องบดแกลบ**

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องจักรพบว่าเครื่องบดแกลบที่สร้างขึ้นสามารถปรับระดับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 500-900 รอบ/นาที มีขนาดความจุในการบดแกลบสูงสุด 5 กิโลกรัม/ครั้ง โดยใช้เวลาเฉลี่ย 8 นาที/ครั้ง ประสิทธิภาพการทำงานสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และระดับคุณภาพของผงแกลบที่ได้สูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นจึงใช้เครื่องบดแกลบนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

**4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ**

จากการทดสอบความชื้นของแกลบแห้ง ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ โดยใช้เครื่องวัดความชื้น (Moisture Balance) ยี่ห้อ AND รุ่น MX - 50 ผลจากการทดสอบสามารถแบ่งกลุ่มการทดสอบออกได้เป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง พบว่ากลุ่มที่ 1 มีค่าความชื้นอยู่ที่ 13.5% และอีกกลุ่มมีค่าอยู่ที่ 17.2% ดังที่ได้แสดงตามตารางที่ 1

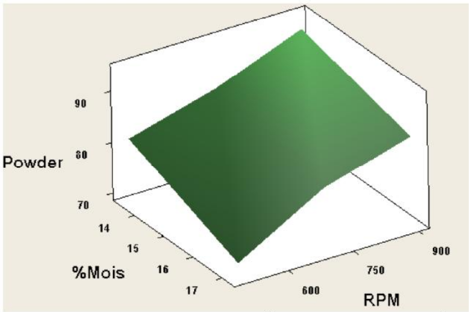
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น

| แกลบ | ค่าความชื้น (%) |
|---|---|
| กลุ่มที่ 1 | 13.5 |
| กลุ่มที่ 2 | 17.2 |

ซึ่งจากการศึกษาค่าความชื้นที่เหมาะสมของแกลบ พบว่าจะต้องมีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 13.0-17.5% ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มที่ได้จากการทดลอง ถือว่าอยู่ในช่วงต่ำสุด และสูงสุดของข้อมูลพอดี จึงเหมาะสมต่อการทดสอบ

**4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกล**

เป็นการทดสอบหาความเร็วรอบที่มีผลต่อปริมาณผงแกลบ ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีผล ดังนี้



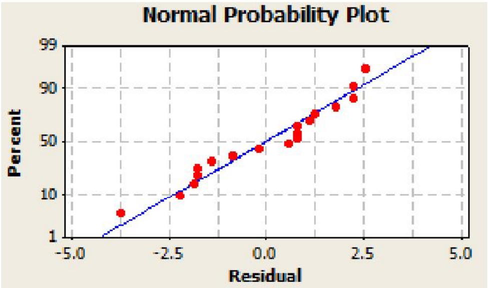

รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความเร็วรอบที่มีผลต่อปริมาณผงแกลบ

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบของการหมุนของลูกหินขัด และความชื้นของแกลบมีผลโดยตรงกับปริมาณผงแกลบ

ดังนั้นแสดงว่าความเร็วรอบกับค่าความชื้นของแกลบ จึงเป็นปัจจัยหลักสำคัญของการทดสอบหาปริมาณผงแกลบในงานวิจัยครั้งนี้

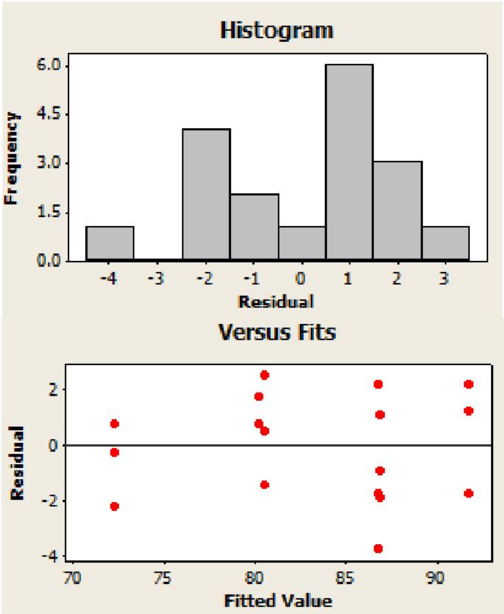
**4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง**

จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ Analysis of Variance ของปริมาณผงที่ได้จากการทดลอง จะได้กราฟการกระจายข้อมูล การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน และการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล ดังรูปที่ 9 10 และ11 ตามลำดับ



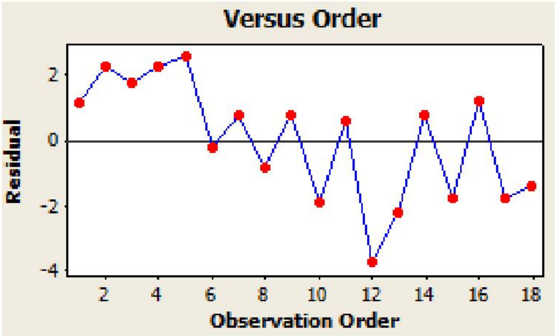

รูปที่ 9 การกระจายข้อมูลแบบแจกแจงปกติ

จากรูปที่ 9 เป็นกราฟที่แสดงถึงความเสถียรของความแปรปรวน โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ระดับปัจจัย พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ




รูปที่ 10 การตรวจสอบความเสถียรของค่าความแปรปรวน

จากรูปที่ 10 เป็นกราฟการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล โดยใช้แผนภูมิการกระจาย เพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระ




รูปที่ 11 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลในการทดลอง

จากรูปที่ 11 เป็นกราฟที่แสดงถึงส่วนตกค้างของผลการทดลอง มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลมีความอิสระ

ซึ่งค่าที่ได้จะบ่งบอกค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2$) ของการทดลอง ในการทดลองครั้งนี้มีค่า $R^2$ = 92.64% และมีค่าความน่าจะเป็น (P-value) ของแต่ละปัจจัยที่ใช้ทำการวิเคราะห์มีค่าเท่ากัน โดยมีค่าอยู่ที่ P - value = 0.000 ดังรูปที่ 12

```
Estimated Regression Coefficients for Powder

Term          Coef   SE Coef       T      P
Constant   83.5000    0.8507  98.157  0.000
RPM         6.5000    0.6015  10.806  0.000
%Mois      -3.2778    0.4911  -6.674  0.000
RPM*RPM    -0.6667    1.0419  -0.640  0.033
RPM*%Mois   0.8333    0.6015   1.385  0.189

S = 2.08372    PRESS = 105.798
R-Sq = 92.64%  R-Sq(pred) = 86.21%  R-Sq(adj) = 90.38%

Analysis of Variance for Powder

Source          DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS       F      P
Regression       4  710.500  710.500  177.625   40.91  0.000
  Linear         2  700.389  700.389  350.194   80.66  0.000
    RPM          1  507.000  507.000  507.000  116.77  0.000
    %Mois        1  193.389  193.389  193.389   44.54  0.000
  Square         1    1.778    1.778    1.778    0.41  0.033
    RPM*RPM      1    1.778    1.778    1.778    0.41  0.533
  Interaction    1    8.333    8.333    8.333    1.92  0.189
    RPM*%Mois    1    8.333    8.333    8.333    1.92  0.189
Residual Error  13   56.444   56.444    4.342
  Lack-of-Fit    1   11.111   11.111   11.111    2.94  0.012
  Pure Error    12   45.333   45.333    3.778
Total           17  766.944
```

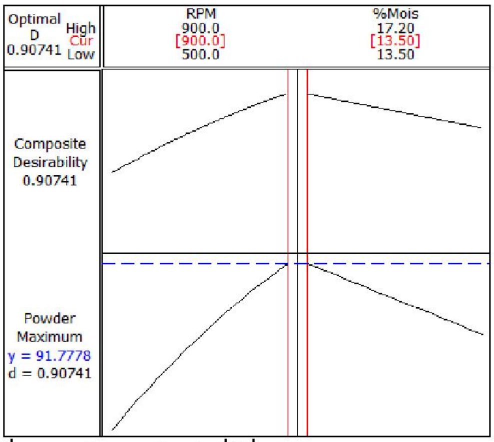
รูปที่ 12 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients และ Analysis of Variance ของปริมาณผงอาหาร

จากการศึกษาเอกสารวิชาการและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกัน พบว่า การออกแบบการทดลองที่ดีควรมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2$) > 70% และค่าการตรวจสอบ Lack of Fit ค่า P- Value (ความน่าจะเป็น) < 0.05 ( $\alpha$ ) แสดงว่าแบบจำลองนี้มีความเพียงพอในการฟิตข้อมูล และถือว่าเป็นข้อมูลที่ดี สามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบที่ดีที่สุด [7], [8]

ดังนั้นจากงานวิจัยนี้พบว่ามีค่า $R^2$ = 92.64% > 70% และค่า P- Value = 0.000 < 0.05 ทั้ง 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง แสดงว่าการออกแบบการทดลองครั้งนี้เป็นแบบจำลองที่ดี ซึ่งสามารถสร้างสมการทำนาย และหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ โดยมีสมการดังนี้

Y = 103.980 + 0.0212613 (RPM) - 3.34835 (%Mois)
- 1.667E-5 (RPM*RPM) + 0.2253 (RPM*%Mois)

จากนั้นทำการทดสอบหาค่าที่ดีที่สุด (Response Optimization) ของปริมาณผงแกลบ ซึ่งต้องการปริมาณผงแกลบมากที่สุด (Maximum) ผลที่ได้จากทดลองเป็นไปตามรูปที่ 13




รูปที่ 13 การวิเคราะห์หาค่าที่ดีที่สุด (Response Optimization) ของปริมาณผงอาหารมากที่สุด (Maximum)

จากรูปที่ 13 เป็นการวิเคราะห์หาค่าที่ดีที่สุด (Response Optimization) ของปริมาณผงแกลบมากที่สุด (Maximum) สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณผงอาหารมากที่สุด

| ความชื้น (%) | ความเร็วรอบ(rpm) | ปริมาณผงแกลบ (%น้ำหลักโดยรวม) |
|---|---|---|
| 13.50 | 900 | 91.78 |

## 5. สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

แกลบเป็นวัสดุที่เหลือจากการเกษตร ที่มีแร่ธาตุพร้อมทั้งคุณค่าทางอาหารสูง เหมาะสำหรับนำมาทำเป็นส่วนผสมหรืออาหารสัตว์ เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออาหารสำเร็จรูป ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ถึง 50% หรือประมาณ 140-150 บาท/ถุง จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผงแกลบจากเครื่องบดแกลบด้วยการออกแบบการทดลอง ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณผงแกลบที่ได้ คือ ค่าความชื้นของตัวอย่างทดสอบ และความเร็วรอบของลูกหินบด พร้อมทั้งสามารถทำนาย และหาปริมาณผงแกลบสูงสุดได้

ซึ่งจากการทำนายหาปริมาณผงแกลบสูงที่สุดจะต้องใช้ความเร็วรอบที่ 900 rpm และค่าความชื้นที่ 13.50% ปริมาณผงแกลบที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 91.78% ของน้ำหนักโดยรวมแกลบแห้งที่ใช้ทำการทดลอง จากนั้น

ทำการทดลองซ้ำ พบว่ามีการคลาดเคลื่อนประมาณร้อยละ 10 จากผลของปริมาณผงแกลบที่ได้

**กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตกาฬสินธุ์ เป็นอย่างดี พร้อมทั้งขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่าน สาขาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

**เอกสารอ้างอิง**

[1] ระบบฐานข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์. 2556. ฐานข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ ปีงบประมาณ 2555. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://survey.dld.go.th/. 26 พฤษภาคม 2556.

[2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/Oae_web/ewt_news.php?nid=141&filename=news. 29 มีนาคม 2556.

[3] Oyenvga, V.A. 1968. Nigerian Foods and Feeding stuffs - the Chemistry and Nutritive Value. Ibadan University Press, Ibadan, Nigeria.

[4] สุกัญญา จัตตุพรพงษ์.2539.การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์.ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม .193หน้า

[5] Precision Weighing Balances. 2013. AND MX-50 Moisture Balance Online Resources, Inc.; C2007-10. [Cited 2013 may 11]. Avallable from: http://balance.balances.com /scales /704/.

[6] จรัล ทรัพย์เสรี. 2555. โปรแกรม Minitab R14. คู่มือโปรแกรม Minitab R.14. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.training/minitab14.html. 23 มีนาคม 2556.

[7] Perry D Haaland. 1989. “Experimental design” .Experimental design in biotechnology. Volume 105. Xv. 259 p. Book (ISBN 0824778812)

[8] สุรพงศ์ บางพาน. 2547. การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องสีข้าวกล้องโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.