



การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายร้อยละ
ข้าวหักจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

จักรพงษ์ คำสีเปี้ยว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2554
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**APPLICATION OF NEURAL NETWORK IN PREDICTION OF THE
PERCENTAGE OF BROKEN RICE IN THE SMALL RICE MILL**

JAKRAPONG KHUMSEEKIEW

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER ENGINEERING
MEJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
YEAR 2011
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY**



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายร้อยละข้าวหักจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

ผู้วิจัย นายจักรพงษ์ คำสีเขียว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ที)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สิ้นธุเชวาน์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร โรจนนันต์)


..... กรรมการ
(ดร.นันทวัฒน์ วีระยุทธ)


..... คณบดี
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2554

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขังคณา ลิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความรู้ในเชิงวิชาการอันเป็นแนวทางในการทำวิจัยและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงการให้ความเอาใจใส่ดูแลและช่วยตรวจสอบการดำเนินงานการทำวิทยานิพนธ์อย่างสม่ำเสมอ ผู้วิจัยรู้สึกทราบบ้างในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สันธุเชาวน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริพร โรจนนันต์ และ ดร.นันทวัฒน์ วีระยุทธ ที่กรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้ให้คำแนะนำ รวมถึงเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.นันทวัฒน์ วีระยุทธ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อ.ตะวันฉาย โพธิ์หอม อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และ ดร.สุภฤกษ์ จันทร์จรสจิตต์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่คอยให้ คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความรู้ในเชิงวิชาการ และมีส่วนช่วยเหลือ ในการดำเนินการวิจัยให้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุน เครื่องมือต่างๆ และ โปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ภรรยา ตลอดจนญาติพี่น้อง ที่เป็นกำลังใจอันสำคัญยิ่งใน การทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการสนับสนุนในทุกๆ ด้านเพื่อให้การศึกษารั้งนี้สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นักศึกษาปริญญาโท - เอก ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด



(นายจักรพงษ์ คำสีเขียว)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายร้อยละข้าวหักจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

โดย : จักรพงษ์ คำสีเขียว

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขอังคณา ติ

ศัพท์สำคัญ : เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ลูกหินขัดแกนนอน โครงข่ายประสาทเทียม วิธีแพร่ย้อนกลับ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้และหารูปแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Model) มาประยุกต์ใช้ในการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแกนนอนลูกเดียว (Single Horizontal Abrasive) โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาขึ้นจากการใช้ Neural Network Tools Box ในโปรแกรม Matlab ซึ่งใช้เป็นโปรแกรมหลักในการออกแบบโครงสร้าง สอน (Training) และ ทดสอบ (Testing) โครงข่ายประสาทเทียม โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นแบบที่มีโครงสร้างหลายชั้น (Multilayer Perceptron) ใช้การเรียนรู้ของโครงข่ายชนิดมีการสอน (Supervised Learning) แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed - forward) ด้วยเทคนิควิธีการแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) ซึ่งมีตัวแปรที่นำมาใช้ในการพิจารณาเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการแตกหักของข้าวสารที่เกิดจากกระบวนการสีข้าว

การดำเนินการวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษากระบวนการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กและศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากกระบวนการสีข้าว จากนั้นจึงทำการทดลองสีข้าวตามเงื่อนไขต่างๆที่ได้กำหนดไว้ โดยเงื่อนไขที่ใช้ในการสีข้าวเพื่อเก็บข้อมูล ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดช่องปล่อยข้าวเปลือก ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว และระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว

ผลการวิจัยนี้พบว่า สถาปัตยกรรมโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการทำนายค่าร้อยละข้าวหัก เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 4 – 15 – 1 หรือ โครงข่ายที่มีตัวแปรนำเข้า (Input) 4 ตัวแปร มีจำนวนหน่วยย่อย (Node) ในชั้นซ่อนเท่ากับ 15 หน่วยย่อย

และมีข้อมูลส่งออก (Output) เท่ากับ 1 โดยที่ภายในโครงสร้างประกอบด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ในชั้นที่ 1 เป็นแบบ Log-sigmoid Transfer Function (Logsig) และชั้นที่ 2 เป็นแบบ Hard limit Transfer Function (Purelin) ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด Mean square error (MSE) น้อยที่สุด เท่ากับ $3.00\text{e-}07$ และให้ค่า Regression ที่ได้เท่ากับ 0.99571

ABSTRACT

TITLE : APPLICATION OF NEURAL NETWORK IN PREDICTION OF THE
PERCENTAGE OF BROKEN RICE IN THE SMALL RICE MILL

BY : JAKRAPONG KHUMSEEKIEW

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF. SUKANGKANA LEE, Ph.D.

KEYWORDS : SMALL RICE MILLING / SINGEL HORIZONTAL ABRASIVE /
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK / BACK – PROPAGATION

The objective of this research is to apply the Artificial Neural Network Model for predicting percentage of broken rice in the small rice mill which is single horizontal abrasive. Artificial Neural Network Model was developed and generated by tools box of neural network in the Matlab program which is used for design structure for training and testing. A multilayer perceptron (MLP) and Back propagation learning algorithm which is a form of supervised learning used to train mainly Feed-forward neural networks were used in this modeling. Input variables were selected from factors affecting broken rice in milling process.

In methodology, several factors affecting broken rice in milling process were studied by experiment through small rice milling machine under various conditions including areas of paddy inlet, the levels of clearance between rice-polishing cylinder and rubber, the velocities of rice-polishing cylinder.

The result is indicated that the optimized Artificial Neural Network Model suitable for predicting percentage of broken rice is 4 – 15 – 1 including 4 input variables, 15 nodes and 1 output. Transfer function of the structure consisted of Log-sigmoid Transfer Function (Logsig) in layer 1 and Hard Limit Transfer Function (Purelin) in layer 2. The prediction by 4 – 15 – 1 Model under the experimental conditions gives the least Mean Square Error (MSE) of 3.00e-07 and regression of 0.99571.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	ท
บทที่	

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขั้ว ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับขั้ว	6
2.2 โรงสีและเครื่องสีข้าว	14
2.3 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้วเปลือกและเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	22
2.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)	26
2.5 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	45

3 การดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาและเตรียมข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	50
---	----

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2	ศึกษาโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) และเทคนิค วิธีแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation)	58
3.3	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	61
4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1	การสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและการสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียม	68
4.2	การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาทดลองใช้ในการทำนายค่าร้อยละ ข้าวหัก	83
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการวิจัย	96
5.3	ข้อเสนอแนะ	97
	เอกสารอ้างอิง	98
	ภาคผนวก	105
	ประวัติผู้วิจัย	160

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง	21
3.1 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยข้าวที่ใช้ในการทดลอง	52
3.2 ระดับความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในการทดลอง	54
3.3 ระดับระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวและแท่งยางที่ใช้ในการทดลอง	55
3.4 กรณีเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในการสีข้าว	56
3.5 ตัวแปรนำเข้า (Input) และตัวแปรส่งออก (Output) ของโครงข่ายประสาทเทียม	61
3.6 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการวิจัย	62
4.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนดให้แต่ละโครงข่าย	67
4.2 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียม	71
4.3 ผลการทำนายของค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลอง	76
4.4 ตารางแสดงผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองจริง หลังจากมีการแปลงค่ากลับให้เป็นค่าจริง	79
ผ.1 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm	107
ผ.2 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm	109
ผ.3 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm	111
ผ.4 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm	113
ผ.5 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1, 420 rpm	115
ผ.6 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1, 460 rpm	117
ผ.7 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1, 380 rpm	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ผ.21 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460rpm	147
ผ.22 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm	149
ผ.23 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm	151
ผ.24 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm	153
ผ.25 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm	155
ผ.26 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm	157
ผ.27 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm ² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm	159

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะโครงสร้างส่วนต่างๆของเมล็ดข้าวเปลือกผ่าตามยาว	9
2.2 แสดงถึง (A) ส่วนข้าวหัก และ (B) ขนาดข้าวหัก	9
2.3 ผลของการสีข้าวที่มีคุณภาพดี มีการลดความชื้นและมีการคัดแยกสิ่งเจือปนอย่างเหมาะสม	12
2.4 อิทธิพลของการแตกร้าวของข้าวเปลือกก่อนกระบวนการสีที่มีผลต่อปริมาณเนื้อข้าวที่ได้รับ	13
2.5 กระบวนการสีข้าวจากอุตสาหกรรมการสีข้าวด้วยเครื่องจักร	16
2.6 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง	21
2.7 Block Diagram แสดงถึงระบบการรับรู้ของมนุษย์	26
2.8 เซลล์ประสาทในสมองมนุษย์	27
2.9 โหนดพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม	28
2.10 หลักการของนิวรอลเน็ตเวิร์ค	28
2.11 Block Diagram แสดงชนิดของการเรียนรู้	31
2.12 การเรียนรู้ของ Weight (d , จะมีเฉพาะการเรียนรู้แบบ Supervised learning)	32
2.13 ส่วนประกอบของของ Neural	35
2.14 สัญลักษณ์ Hard Limit Transfer Function	36
2.15 สัญลักษณ์ Linear Transfer Function	36
2.16 สัญลักษณ์ Log Sigmoid Transfer Function	37
2.17 โครงข่าย (Neural) แบบชั้นเดียว	37
2.18 นิวรอนแบบหลายชั้น	38
2.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y	39
2.20 Neural Network Feed Forward Network แบบชั้นเดียว	39
3.1 แผนภาพขั้นตอนในการวิจัย	49
3.2 การวัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบดิจิตอล	51
3.3 ช่องปล่อยข้าวเปลือก	52
3.4 ตำแหน่งและการปรับตั้งค่าความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว	54
3.5 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าว กับแท่งยางขัดข้าว และการปรับตั้งค่า	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6 เครื่องแยกเมล็ดข้าวหักที่ใช้การวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี	57
3.7 ตัวอย่างโครงสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาท	63
3.8 แผนผังการสอนโครงข่ายประสาทเทียม (Training Process)	65
3.9 แผนผังการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม (Testing Process)	66
4.1 การเรียกใช้ฟังก์ชัน nntool จากโปรแกรม MATLAB	68
4.2 ตัวอย่างที่แสดงถึงการนำเข้าข้อมูลเพื่อใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียม	68
4.3 การกำหนด Function การทำงานต่างๆ ที่จะใช้ในการทำนาย	69
4.4 โครงสร้างของโครงข่ายที่ได้จากการออกแบบเพื่อใช้ในการทดลอง	70
4.5 หน้าต่างแสดงผลจากการสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 4 - 15 - 1	72
4.6 ผล Regression รวมที่ได้จากการสอนโครงข่ายประสาทเทียม 4 - 15 - 1	73
4.7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองและค่าข้าวหักที่ได้ จากการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	74
4.8 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองและค่าข้าวหัก ที่ได้จากการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	74
4.9 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองและค่าข้าวหัก ที่ได้จากการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	75
4.10 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไข การตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 mm ความเร็วรอบ ของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราการเปิดช่อง ปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 46, 48, 54, 65 และ 58	84
4.11 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไข การตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.5 mm ความเร็วรอบ ของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราการเปิดช่อง ปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 46, 48, 54, 65 และ 58	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 46 48 54 65 และ 58	86
4.13 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 40 ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 1.9 mm	88
4.14 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 1.9 mm	89
4.15 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 60 ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 1.9 mm	90
4.16 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 40 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 1.5 และ 1.7 mm โดยกำหนดให้ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1,390 1,400 1,410 1,430 1,440 และ 1,450 rpm	92
4.17 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 1.5 และ 1.7 mm โดยกำหนดให้ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1,390 1,400 1,410 1,430 1,440 และ 1,450 rpm	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- 4.18 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 60 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 1.5 และ 1.7 mm โดยกำหนดให้ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในการทำนายคือ 1,390 1,400 1,410 1,430 1,440 และ 1,450 rpm

94

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์และอักษรย่อ

Millimeter: mm

mm²

Revolutions per minute: rpm

คำอธิบาย

หน่วยวัดความยาวเป็น มิลลิเมตร

หน่วยวัดพื้นที่เป็น ตารางมิลลิเมตร

หน่วยวัดอัตราการหมุนเป็น จำนวนรอบต่อนาที

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในอดีตจุดมุ่งหมายหรือความพยายามของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้มีความพยายามสร้างเครื่องจักรกลที่มีความฉลาดและมีการเรียนรู้ด้วยตัวเอง ซึ่งเครื่องจักรชนิดนี้สามารถที่จะทำงานที่มีความยุ่งยากซับซ้อนได้ เมื่อวิทยาการต่างๆมีความก้าวหน้ามากขึ้นก็ได้มีการพัฒนาในเรื่องดังกล่าวข้างต้นมากขึ้นเช่นกัน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ให้มีความสามารถในการทำงานใกล้เคียงกับการทำงานของสมองของมนุษย์ โดยการศึกษาและเลียนแบบลักษณะการทำงานของเซลล์สมองของมนุษย์ ซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้จากประสบการณ์และกฎเกณฑ์ทั่วไปจากตัวอย่าง เทคโนโลยีที่ได้รับการศึกษาและพัฒนาจากหลักการดังกล่าว เรียกว่า โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ซึ่งเป็นศาสตร์หนึ่งของทฤษฎีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการประมวลผลแบบขนาน ในรูปแบบการคำนวณที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear) ของแต่ละเซลล์ประสาทหรือนิวรอล (Neural) โดยภายในโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการคำนวณความแข็งแรงของการเชื่อมโยง (Strengths of Connection) เพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์ (Output) ออกมา (Kumar, S. and Jain, A., 2008) โครงข่ายประสาทเทียมเป็นเทคนิคที่มีความยืดหยุ่นตัวในการแก้ปัญหาได้สูง มีความสะดวกในการใช้งานกับการทำนายสถานะที่มีค่าปัจจัยหรือตัวแปรจำนวนมากได้ดี ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพสูงในการทำนายความสัมพันธ์ของปัญหา เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคทางด้านคณิตศาสตร์และสถิติ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการทำนายปัญหาแบบดั้งเดิม โครงข่ายประสาทเทียมได้รับความสนใจจากนักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์ในหลายๆสาขาเมื่อไม่นานมานี้ โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมและการผลิตที่ได้มีการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มขอบเขตที่หลากหลายกับการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ รวมไปถึงกระบวนการผลิต การทำนาย หรือการพยากรณ์ การวิเคราะห์ความผิดพลาดของกระบวนการ และการประมาณค่าตัวแปรเพื่อใช้ในกระบวนการควบคุมกระบวนการผลิต (Psychogios, 1992; Samad, T. et al., 1992; Leib, T.M. et al., 1995)

โครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ได้ด้วยการรับข้อมูลตัวอย่างเข้ามาจำนวนหนึ่งแล้วค่อยๆ ทำการปรับค่าน้ำหนักจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ ความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้จากตัวอย่างข้อมูลที่มีอยู่เป็นจำนวนมากได้เป็นอย่างดี

และมีความเที่ยงตรงสูงถึงแม้จะมีกระบวนการหรือมีรูปแบบในการปฏิบัติงานที่ซับซ้อนและมีความยุ่งยากในการประมวลผลก็ตาม ซึ่งสามารถที่จะตอบปัญหาที่ยุ่งยากและค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล หรือสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ดี จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในการทำนายหรือ การพยากรณ์ (Prediction) (สะอาด เณรรอด, 2552)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการทำนายความสัมพันธ์ของข้อมูลพบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ความแม่นยำมากกว่าวิธีการทางคณิตศาสตร์หรือสถิติ ดังเช่น Olagide et al. (2007) ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในการทำนายผลผลิตที่ได้จากการสกัดน้ำมันถั่วลิสง จากเครื่องสกัดแบบไฮโดรลิก เทียบกับวิธีทางสถิติ โดยการใช้เทคนิค Levenberg – Marquadt Back - Propagation ผลการศึกษาพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลในการทำนายได้แม่นยำกว่าวิธีการทางสถิติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shankar et al. (2007) ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียม เทคนิค Back - propagation ในการทำนายคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ได้จากกระบวนการอัดรีด (Extrusion) เทียบกับวิธี Respond Surface Methodology (RSM) ซึ่งเป็นวิธีการด้านคณิตศาสตร์และสถิติ โดยใช้เครื่องอัดรีด (Extruder) แบบสกรูเดี่ยว (Single Screw) ในการทดลอง ผลการทดลองพบว่าการทำนายโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ให้ผลการทำนายที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลการทดสอบจริง มากกว่าวิธีการ Respond Surface Methodology (RSM)

จากความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียม ที่มีความเหมาะสมกับกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงและให้ความแม่นยำในการทำนายผลต่างๆ (Assidjo, E. et al., 2008) และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังไม่มีการนำทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้กับเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องจักรอีกประเภทหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยเฉพาะเกษตรกรที่ได้มีการนำเครื่องสีข้าวขนาดเล็กมาใช้ในการแปรรูปข้าวเปลือกกันมากขึ้น เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว อีกทั้งผลิตผลที่ถือว่าเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว นั้นจะประกอบไปด้วย ปลายข้าว รำ และแกลบ ซึ่งเกษตรกรสามารถนำไปจำหน่ายหรือนำไปใช้ภาคเกษตรกรรมต่างๆ ได้ ช่วยให้สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง ในประเทศไทย การแตกหักจากกระบวนการสีข้าวจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็กมีสูงถึง ร้อยละ 43 คาดกันว่าหากเทคโนโลยีการสีข้าวได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นแล้ว จะทำให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นอีกหลายพันล้านบาทต่อปี (Visetkul, M., 1984)

เครื่องสีข้าวขนาดเล็กมีทั้งแบบลูกหินแกนตั้งและแกนนอน แต่เครื่องสีข้าวแบบลูกหินแกนนอนเป็นที่นิยมใช้งานกันมากในท้องถิ่นเนื่องจากมีราคาถูก สะดวกในการใช้งาน และง่ายต่อการบำรุงรักษา จากการศึกษาเบื้องต้นทำให้ทราบว่า ปัจจุบันนี้กระบวนการสีข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็กนั้น พบว่าการทำงานส่วนมากมักจะขาดความเข้มงวดในการควบคุม

กระบวนการผลิต ขาดการเก็บข้อมูลหรือบันทึกข้อมูลการทำงานไว้ แต่จะปฏิบัติงานด้วยความชำนาญของพนักงาน กล่าวคือ มีการปรับตั้งค่าต่างๆในกระบวนการสีข้าวด้วยความชำนาญของพนักงานเอง ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีความแปรผันสูง และผลกระทบที่ตามมาเนื่องจากการปรับค่าที่ไม่เหมาะสมก็อาจส่งผลเสียกับเครื่องสีข้าวโดยเกิดการสึกหรอหรือเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ต่างๆภายในเครื่องสีข้าวก่อนระยะเวลาอันควร ส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลืองในการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์และการบำรุงรักษาตามมา

จากข้อดีของโครงข่ายประสาทเทียม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในการทำนายร้อยละข้าวหักที่ได้จากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก เพื่อศึกษาถึงแนวทางของการนำไปใช้งาน และความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับการทำนายความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยผลที่ได้ อาจนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการสีข้าวในอนาคตเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายความสัมพันธ์ของชุดข้อมูล

1.2.2 เพื่อศึกษาหารูปแบบโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายร้อยละข้าวหักที่ได้จากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

1.2.3 เพื่อนำโครงข่ายประสาทเทียม มาทำนายค่าร้อยละของข้าวหักที่ได้จากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยผลของการทำนายจะสามารถทำให้ทราบถึงแนวโน้มและพฤติกรรมการแตกหักของข้าวสารได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ข้อมูลปัจจัยหรือตัวแปรต่างๆที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม ได้จากการทดลองสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแนวนอนลูกเดียว (Single Horizontal Abrasive) โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเลือกจากตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการแตกหักของข้าวสาร และเป็นตัวแปรที่ผู้ใช้งานสามารถปรับตั้งค่าได้ในระหว่างการทำงาน ได้แก่ อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว เป็นต้น

1.3.2 ใช้พันธุ์ข้าวคอกมะลิ 105 จากสหกรณ์การเกษตร อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ในการทดลอง เนื่องจากเป็นพันธุ์ข้าวตามมาตรฐาน มอก. 888-2532 ซึ่งได้รับรองคุณภาพว่าได้มาตรฐานจากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าว จังหวัดอุบลราชธานี

1.3.3 ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองกำหนดให้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 14 ± 0.5

1.3.4 ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงสร้างหลายชั้น (Multilayer Perceptron) ชนิดมีผู้สอน (Supervised Learning) แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed - forward) ด้วยเทคนิควิธีการแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation)

1.3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

1.3.5.1 โปรแกรม MATLAB สำหรับพัฒนาโปรแกรมหลัก

1.3.5.2 โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับเก็บและจัดเรียงข้อมูล

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดและทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) จากแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษารวบรวมปัจจัยหรือตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อร้อยละการแตกหักของเมล็ดข้าว ที่ได้จากการสีข้าว เพื่อนำตัวแปรที่ได้มาไว้ในโปรแกรมการทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

1.4.3 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เพื่อการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

1.4.4 ทดสอบการทำงานของโปรแกรม

1.4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.6 สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงานการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้โปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

1.5.2 สามารถประเมินค่าร้อยละการแตกหักของข้าวสาร ที่จะเกิดขึ้นจากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กได้

1.5.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้ มาใช้ในการสนับสนุนการพิจารณาปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กได้

1.5.4 นำองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการทำนายหรือพยากรณ์กับเครื่องจักรหรือสภาวะการณ์อื่นๆได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อพัฒนาระบบการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแนวนอนลูกเดียว (Single Horizontal Abrasive) ในบทนี้ได้อธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องและการสรุปเอกสารที่สำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยส่วนแรกจะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีบทเกี่ยวกับข้าว และเครื่องสีข้าว และในส่วนที่สองจะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

2.1 ข้าว ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

ข้าว เป็นพืชวงศ์หญ้า (Family Gramineae) เผ่าพันธุ์ (tribe) โอไรซี (Oryzae) พืชเผ่าพันธุ์นี้มีอยู่ประมาณ 25 ชนิด (Species) ในจำนวนนี้มีอยู่สองชนิดเท่านั้นที่ปลูกเพื่อใช้เป็นอาหาร (Cultivated Varieties) คือ โอไรซาซาไคววา (Oryza sativa) ที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศผู้ปลูกข้าวและ โอไรซากลาเบอร์ริมา (Oryza Glaberrima) ที่ปลูกกันในบางส่วนของทวีปแอฟริกา ชนิดที่เหลือนับเป็นข้าวป่า (ชาญ มงคล, 2536) การปลูกข้าวในประเทศไทยนั้นชวาณาที่อยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือนิยมปลูกข้าวเหนียวและข้าวเจ้า ส่วนชวาณาที่อยู่ในภาคกลาง และภาคใต้ปลูกข้าวเจ้ากันเป็นส่วนใหญ่แม้จะมีการปลูกข้าวเหนียวบ้างก็เป็นจำนวนน้อยเพราะประชาชนนิยมบริโภคข้าวเจ้า (ประพาส วีระแพทย์, 2526)

ข้าวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวหอมที่ได้จากการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากนาเกษตรกร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 199 รวง มาปลูกเพื่อศึกษาพันธุ์ และได้ข้าวรวงที่ 105 ที่มีคุณลักษณะพิเศษคือ มีกลิ่นหอม เมล็ดข้าวอ่อนนุ่มเมื่อนำมาหุงต้ม ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงพันธุ์ให้บริสุทธิ์ตามหลักวิชาการ จนเป็นที่ยอมรับและได้ประกาศให้ขยายพันธุ์ได้ในปี พ.ศ. 2502 โดยให้ชื่อว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 4-2-105 แต่นิยมเรียกกันว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2542) โดยลักษณะทั่วไปของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง สูงประมาณ 140 -150 เซนติเมตร ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 8 สัปดาห์ อายุการเก็บเกี่ยว โดยข้าวจะออกดอกประมาณเดือน ตุลาคม และสุกแก่ เก็บเกี่ยวได้ประมาณเดือน พฤศจิกายน ของทุกปี ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดเรียวยาว ก้านงอน สีฟาง ขนาดเมล็ดข้าวกลึงยาว 7.5 mm กว้าง 2.1 mm และหนา 1.8 mm ข้อดีของข้าวขาวดอกมะลิ คือ มีกลิ่นหอม เมล็ดอ่อนนุ่มเมื่อนำมาหุงต้ม ทนต่อ

ความแห้งแล้ว ทนต่อดินเปรี้ยวและดินเค็ม คุณภาพการขัดสีดี เมล็ดข้าวมีท้องไข่น้อย นวดง่าย เนื่องจากเมล็ดหดร่วงง่าย ขายได้ราคาดีและเป็นที่ต้องการของท้องตลาด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

2.1.1 การจำแนกข้าวตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด

ในแต่ละประเทศมีความนิยมข้าวที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน เช่น ชาวญี่ปุ่น เกาหลี ชอบข้าวเมล็ดป้อม แต่คนไทยนิยมข้าวเมล็ดยาวเรียว

2.1.1.1 มาตรฐานข้าวตามประกาศของ กระทรวงพาณิชย์กำหนดขนาดเมล็ด ดังนี้ (งามชื่น คงเสรี, 2542)

ชั้นของเมล็ดข้าว	ขนาด (mm)
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (Extra long grain)	มากกว่า 7.0
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (Long grain)	6.6 – 7.0
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 3 (Medium grain)	6.2 – 6.6
ข้าวเมล็ดสั้น (Short grain) สั้นกว่า	6.2

2.1.1.2 การจำแนกขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวกลึงโดยเทียบจาก USDA Standard เป็นดังนี้

USDA Scale	ความยาว (mm)
ยาวมาก (Very Long – VL)	มากกว่า 7.50
ยาว (Long – L)	7.06 – 7.50
ค่อนข้างยาว (Medium Long – ML)	6.61 – 7.059
ปานกลาง (Medium – M)	6.101 – 6.609
ค่อนข้างสั้น (Medium short – MS)	5.51 – 6.10
สั้น (Short – S)	น้อยกว่า 5.50

2.1.1.3 รูปร่างเมล็ดข้าวอาจจำแนกตามอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเป็น 3 พวก ดังนี้

รูปร่างเมล็ด (Grain shape)	ความยาว/ความกว้าง
เรียว (Slender – SL)	มากกว่า 3.0 ขึ้นไป
ปานกลาง (Intermediate – I)	2.1 – 3.0
ป้อม (Bold – B)	น้อยกว่า 2.0

2.1.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว และมาตรฐานสินค้าข้าว

นิยามตาม “ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง มาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ.2540” ได้อธิบายศัพท์ดังนี้

2.1.2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าวดังแสดงใน ภาพที่ 2.1

2.1.2.2 ข้าวเปลือก (Paddy) คือ ข้าวที่ยังไม่ผ่านการกะเทาะเปลือกออก

2.1.2.3 ต้นข้าว (Head rice) คือ เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวมากกว่าข้าวหัก แต่ไม่ถึงความยาวของข้าวเต็มเมล็ด และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ตั้งแต่ร้อยละ 80 ของเมล็ด

2.1.2.4 ข้าวหัก (Broken rice) คือ ข้าวเมล็ดหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2.5 ส่วนขึ้นไป แต่ไม่ถึงความยาวของต้นข้าว และให้รวมถึงเมล็ดข้าวแตกเป็นซีกที่มีเนื้อที่เหลืออยู่ไม่ถึงร้อยละ 80 ของเมล็ด ดังแสดงในภาพที่ 2.2

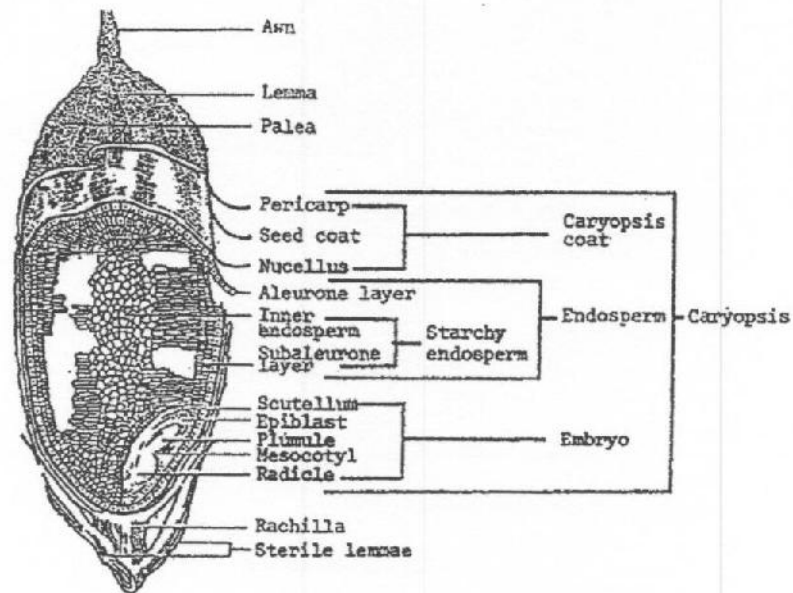
2.1.2.5 ข้าวกล้อง (Brown rice, Husked rice, Cargo rice) คือ ข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกออกเท่านั้น

2.1.2.6 ข้าวขาว (White rice) คือ ข้าวที่ได้จากการนำข้าวกล้องไปขัดเอารำออกแล้ว

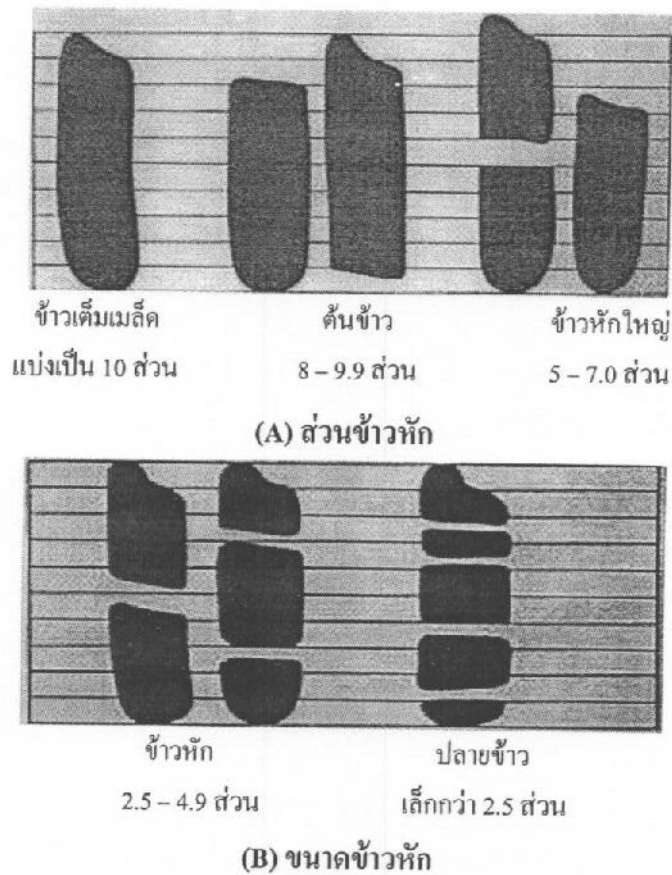
2.1.2.7 ระดับการสี (Milling degree) คือ ระดับของการขัดสีข้าว

2.1.2.8 ข้าวเต็มเมล็ด (Whole kernels) คือ เมล็ดข้าวที่อยู่ในสภาพเต็มเมล็ด ไม่มีส่วนใดหัก และให้รวมไปถึงเมล็ดข้าวตั้งแต่ 9 ส่วนขึ้นไป

เมล็ดข้าวที่เก็บเกี่ยวประกอบด้วยส่วนภายนอกที่เป็นเปลือก (Hull) ซึ่งก็คือกลีบดอกใหญ่และกลีบดอกเล็ก หุ้มส่วนภายในที่เรียกว่าข้าวกล้อง (Brown rice) หรือ Rice Caryosis ข้าวกล้องคิดเป็นน้ำหนักประมาณร้อยละ 72-82 ของน้ำหนักทั้งหมดของเมล็ดข้าว ภายนอกของข้าวกล้องจะเป็นร่องตามยาวของเมล็ด ร่องนี้เกิดขึ้นจากเปลือกหุ้มซึ่งมีร่องตามยาว เมื่อเอากะเทาะเปลือกออกจึงเห็นร่องนี้ ข้าวกล้องมักจะมีสีน้ำตาลอ่อนๆ เมื่อผ่าตามยาวจะพบส่วนต่างๆดังต่อไปนี้ คือ ชั้นนอกสุดเป็นเยื่อบางๆ (Pericarp Layer) ส่วนนี้ทำให้เห็นสีของข้าวกล้องเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ ชั้นในที่ติดกับเยื่อบางนี้คือเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นใน (Seed Coat) ถัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นในคือ Nucellus ชั้นสุดท้ายในสุดเป็นเยื่อบางๆ คือ Aleurone Layer หุ้มส่วนที่เป็นแป้ง (Starch) มีสีขาวขุ่นหรือขาวใส และส่วนที่เรียกว่า จมูกข้าว (Embryo) ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างส่วนต่างๆของเมล็ดข้าวเปลือกผ่าตามยาว (อรรถวุฒิ ทัศนสองชั้น, 2530)



ภาพที่ 2.2 แสดงถึง (A) ส่วนข้าวหัก และ (B) ขนาดข้าวหัก (กระทรวงพาณิชย์, 2540)

2.1.3 คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าว

คุณภาพเมล็ดทางกายภาพหมายถึง คุณสมบัติต่างๆของเมล็ดที่วัดดวงซังมองเห็นได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด สีของข้าวเปลือก สีของข้าวกล้อง ขนาดและรูปร่างเมล็ด ลักษณะท้องไข ความชุ่มชื้นของข้าวสาร ความแข็งของเมล็ด ความขาวของข้าวสาร และคุณภาพในการสี เป็นต้น น้ำหนักของเมล็ดเป็นลักษณะที่คงที่มากที่สุดและถูกควบคุมโดยลักษณะทางพันธุกรรม ส่วนขนาดรูปร่างเมล็ดเป็นส่วนใหญ่นั้น จะแปรปรวนไปตามปัจจัยที่มีผลต่อความสมบูรณ์ของเมล็ด เช่น ความสมบูรณ์ของดินและสภาพภูมิอากาศ

จากการศึกษาของ เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข (2534) พบว่าน้ำหนักข้าวเปลือก 1,000 เมล็ด ของข้าวพันธุ์ไทยแท้ (Indica) จำนวน 344 พันธุ์ มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 16.20 – 41.68 กรัม แต่อย่างไรก็ตามรัฐบาลไทยได้กำหนดส่งเสริมว่าข้าวพันธุ์ที่ดี จะมีน้ำหนักที่ 1,000 เมล็ดข้าวเปลือก อยู่ระหว่าง 22.5 – 36.7 กรัม

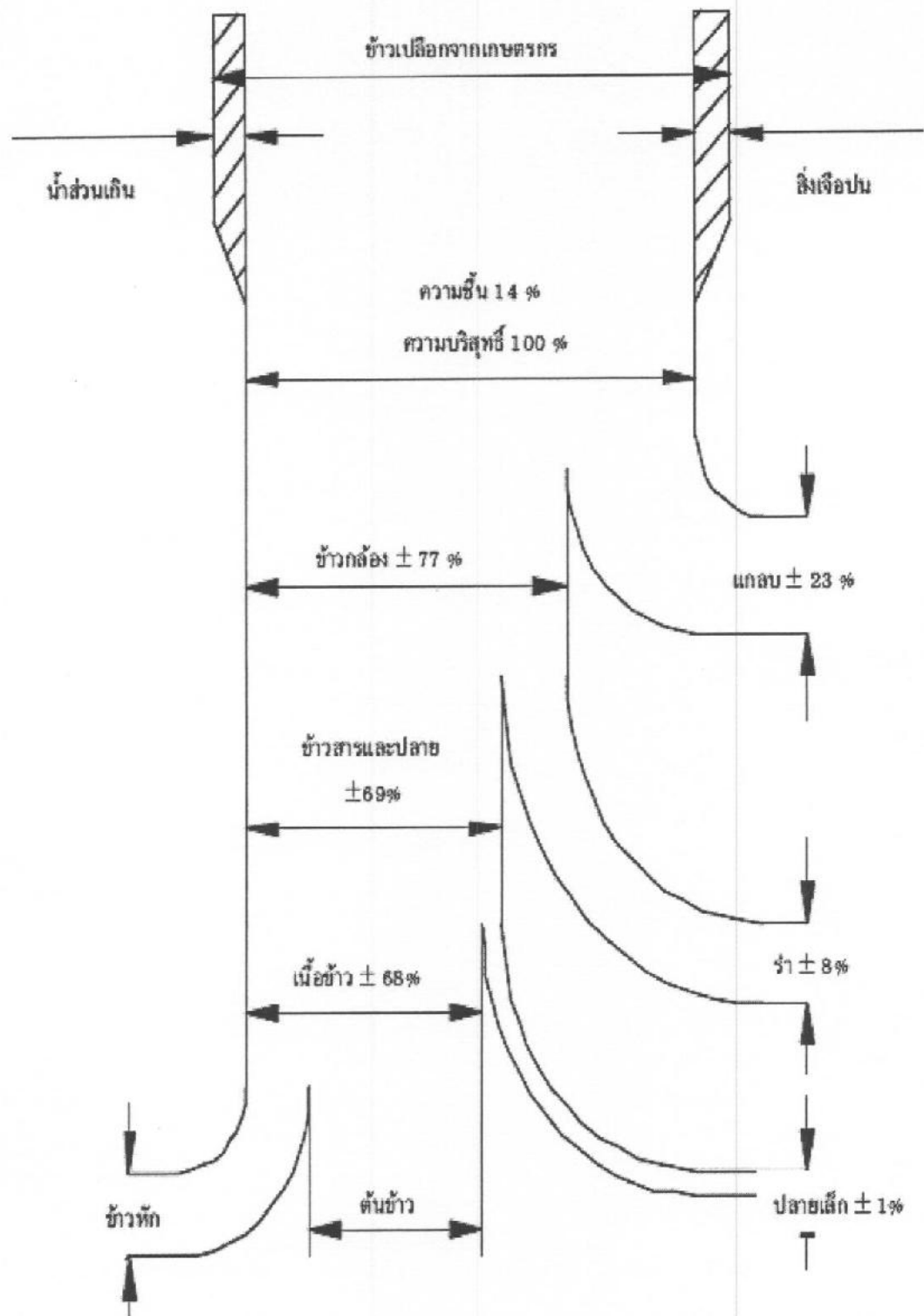
ขนาดรูปร่างของเมล็ด จะหมายถึง ความยาว ความกว้างและความหนา โดยความยาวหมายถึงระยะทางวัดจากยอดสุดของเมล็ดถึงโคนเมล็ด ความกว้างหมายถึงระยะทางส่วนที่กว้างที่สุดที่วัดได้ระหว่างเปลือกใหญ่ (Lemma) ถึงเปลือกเล็ก (Palea) ส่วนความหนาจะหมายถึงระยะทางที่มากที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่อด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ทั้งนี้เป็นการวัดความยาว กว้าง และหนากระทำตามแนวแกนวัดที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน

ลักษณะท้องไขของเมล็ดข้าวกล้อง หมายถึงจุดขาวคล้ายขอลึกที่เกิดขึ้นในส่วน ของ Endosperm ของเมล็ด นับว่าเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในวงการข้าวทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นพ่อค้า ผู้ประกอบการ โรงสี ชาวนา นักวิชาการที่ทำงานเกี่ยวกับข้าว และแม้แต่ผู้บริโภค เพราะลักษณะท้องไขเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของข้าว ข้าวที่ท้องไขมีมากเมื่อนำไปสีจะเป็นข้าวหักมาก พ่อค้าจะให้ราคาข้าวเปลือกนั้นต่ำ แม้สีออกมาไม่หักก็ได้ข้าวที่มองดูไม่สวยงาม ลักษณะท้องไขเป็นการจับตัวอย่าง หลวมๆของเม็ดเนื้อแป้งกับโปรตีน ใน Endosperm จากรายงานต่างๆ โดย Somrith, B. (1974) และ Nakata, S. (1972) และจากการสรุปผลโดย เครือวัลย์ อัดตะวีริยะสุข (2534) สรุปได้ว่า ลักษณะท้อง ไขถูกควบคุมโดยทั้งทางพันธุกรรมและการเปลี่ยนแปลงตามสิ่งแวดล้อม แต่ทั้งนี้ก็แล้วแต่พันธุ์ของ ข้าวด้วย

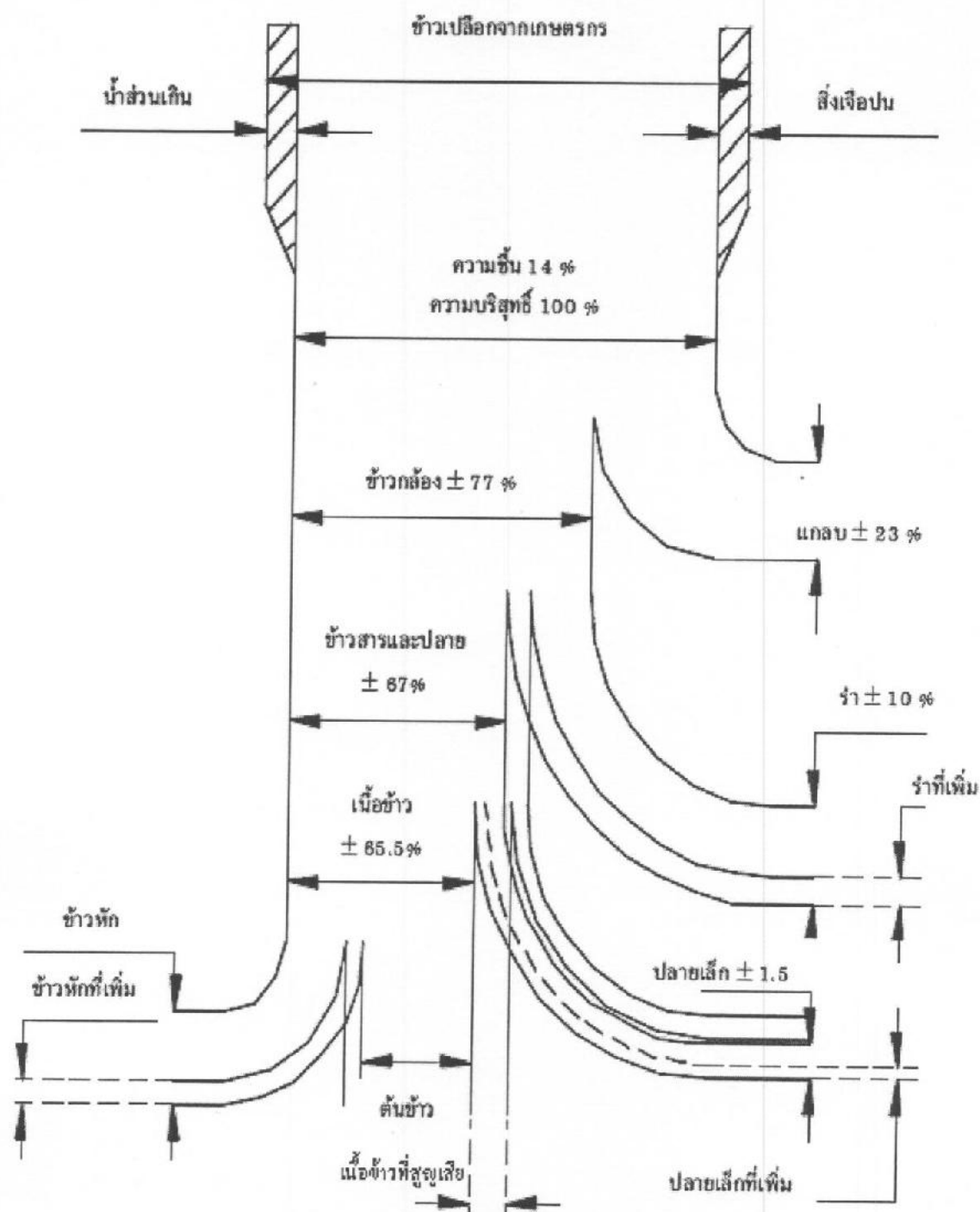
2.1.4 ปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าว

ความสูญเสียในกระบวนการสีข้าวที่มีผลต่อราคาข้าวสาร คือ การแตกหักของ ข้าวสาร ข้าวสารที่มีปริมาณการแตกหักมาก จะขายได้ในราคาที่ต่ำกว่าข้าวสารที่มีปริมาณการ แตกหักน้อยกว่า โดยขั้นตอนในกระบวนการสีข้าวที่มีผลต่อการแตกหักของข้าวสารคือ ขั้นตอนการ กะเทาะเปลือก และขั้นตอนการขัดขาว (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2541)

สาเหตุของการแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าวน่าจะเกิดจากการแตกร้าวภายในของเมล็ดข้าว การแตกร้าวภายในของเมล็ดข้าวที่มีอยู่แล้วอาจเกิดจากกรรมวิธีใดๆ ก่อนกระบวนการสีข้าว เช่น ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว ลักษณะการเก็บเกี่ยว และการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสมเป็นต้น เหตุผลดังกล่าวอาจส่งผลให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกหักสูงขึ้นในกระบวนการสีข้าว เมื่อสมมติให้ข้าวที่ต้องผ่านกระบวนการสีข้าวเป็นข้าวคุณภาพดี ก็มีความชื้นก่อนกระบวนการสีข้าวที่ร้อยละ 14 เมื่อนำข้าวกล้องไปขัดขัดขาวจะได้รำประมาณร้อยละ 8 และได้ข้าวสารรวมปลายเล็กประมาณร้อยละ 69 แต่หลังจากผ่านตะแกรงร่อนปลายเล็กออกแล้วจะได้รับเนื้อข้าวสารทั้งสี่นประมาณร้อยละ 68 เนื้อข้าวสารที่ได้จะถูกนำไปแยกออกเป็นต้นข้าวและปลายข้าวขนาดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 แต่ถ้าข้าวมีการแตกร้าวก่อนกระบวนการสีจะทำให้ร้อยละต้นข้าวที่ได้รับมีปริมาณลดลง ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (Harry, T. et al., 1981)



ภาพที่ 2.3 ผลของการสืข้วที่มีคุณภาพดี มีการลดความชื้นและมีการคัดแยกสิ่งเจือปนอย่างเหมาะสม (Harry, T. et al., 1981)



ภาพที่ 2.4 อิทธิพลของการแตกตัวของข้าวเปลือกก่อนกระบวนการสีที่มีผลต่อปริมาณเนื้อข้าวที่ได้รับ (Harry, T. et al., 1981)

อัตราการสีข้าว เป็นอัตราการแปรสภาพข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร หาได้จาก ร้อยละ โดยน้ำหนักของข้าวสารที่ได้ทั้งหมด จากน้ำหนักของข้าวเปลือก อัตราการสีข้าวเป็นส่วนหนึ่งใช้ในการวัดหาประสิทธิภาพของโรงสีได้ อัตราสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 69 -70 สำหรับเครื่องสีข้าวแบบชาวบ้านอยู่ที่ร้อยละ 55 - 65

2.1.5 คุณภาพการสี

คุณภาพการสี หมายถึง ปริมาณข้าวสาร และต้นข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือก เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพการสี ในการสีข้าวจะได้กลบประมาณร้อยละ 20 – 22 ปริมาณรำถูกขัดออกประมาณร้อยละ 8 – 10 ส่วนที่เหลือเป็นข้าวสารประมาณร้อยละ 70 ในส่วนของข้าวสารจะมีต้นข้าว (เมล็ดที่มีขนาดยาว 8 / 10 ส่วนของข้าวเต็มเมล็ด) และข้าวหักปนอยู่ ข้าวที่มีคุณภาพการสีดีควรสีได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 ซึ่งคุณภาพการสีแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ (วาสนา วรมิสร์, 2538)

คุณภาพการสี	ร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว
ดีมาก	มากกว่า 50
ดี	40 – 50
ปานกลาง	31 – 39
ต่ำ	ตั้งแต่ 30 ลงไป

2.2 โรงสีและเครื่องสีข้าว

โรงสีข้าว เป็นอุตสาหกรรมที่มีมานานแล้วในประเทศไทย และเป็นอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่เพราะมีจำนวนโรงสีมากมาย โรงสีข้าวที่ทำการสีข้าวในปัจจุบันมีขนาดแตกต่างกัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขนาด คือ โรงสีข้าวขนาดเล็ก โรงสีข้าวขนาดกลาง และโรงสีข้าวขนาดใหญ่ การแบ่งขนาดของโรงสีข้าวนี้ ขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่ใช้จำแนกซึ่งมีอยู่ 3 มาตรฐาน คือ (ฉัตรชาย สุภจารีรัตน์, 2535)

2.2.1 การจำแนกประเภทของโรงสีข้าว

2.2.1.1 จำแนกตามกำลังการผลิต (Processing Capacity)

(1) โรงสีข้าวขนาดเล็ก หมายถึง โรงสีข้าวที่มีกำลังการผลิตไม่เกินวันละ 5 ต้นข้าวเปลือก (1-5 ตันต่อวัน) หรือวันละ 5 เกวียน การสีข้าวส่วนใหญ่จะเป็นการสีเพื่อการนำไปใช้บริโภคในท้องถิ่นเท่านั้น

(2) โรงสีขนาดกลาง หมายถึง โรงสีข้าวที่มีกำลังการผลิตระหว่างวันละ 6-20 ตันข้าวเปลือก หรือ 6-20 เกวียนต่อวัน การสีข้าวจะทำการสีเพื่อบริโภคและการจำหน่ายในท้องถิ่น

(3) โรงสีข้าวขนาดใหญ่ หมายถึง โรงสีข้าวที่มีกำลังการผลิตเกินวันละ 20 ตันข้าวเปลือกหรือเกิน 20 เกวียนต่อวัน การสีข้าวจะเป็นการสีเพื่อการจำหน่ายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ

2.1.1.2 จำแนกตามจำนวนคนงาน (Size of Employees)

- (1) โรงสีข้าวขนาดเล็ก หมายถึง โรงสีที่ใช้คนงานไม่เกิน 5 คน
- (2) โรงสีข้าวขนาดกลาง หมายถึง โรงสีที่ใช้คนงานไม่เกิน 10 คน
- (3) โรงสีข้าวขนาดใหญ่ หมายถึง โรงสีที่มีคนงานเกิน 10 คน

2.1.1.3 จำแนกตามเครื่องต้นกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนที่สีข้าว

(1) เครื่องจักรกลไอน้ำ จะใช้กลบจากการสีข้าวเป็นเชื้อเพลิงการลงทุนติดตั้งในระยะเริ่มต้นค่อนข้างสูง แต่ค่าใช้จ่ายภายหลังการติดตั้งแล้วจะถูกที่สุด เครื่องต้นกำลังแบบนี้ เหมาะสำหรับโรงสีข้าวขนาดกลางและใหญ่

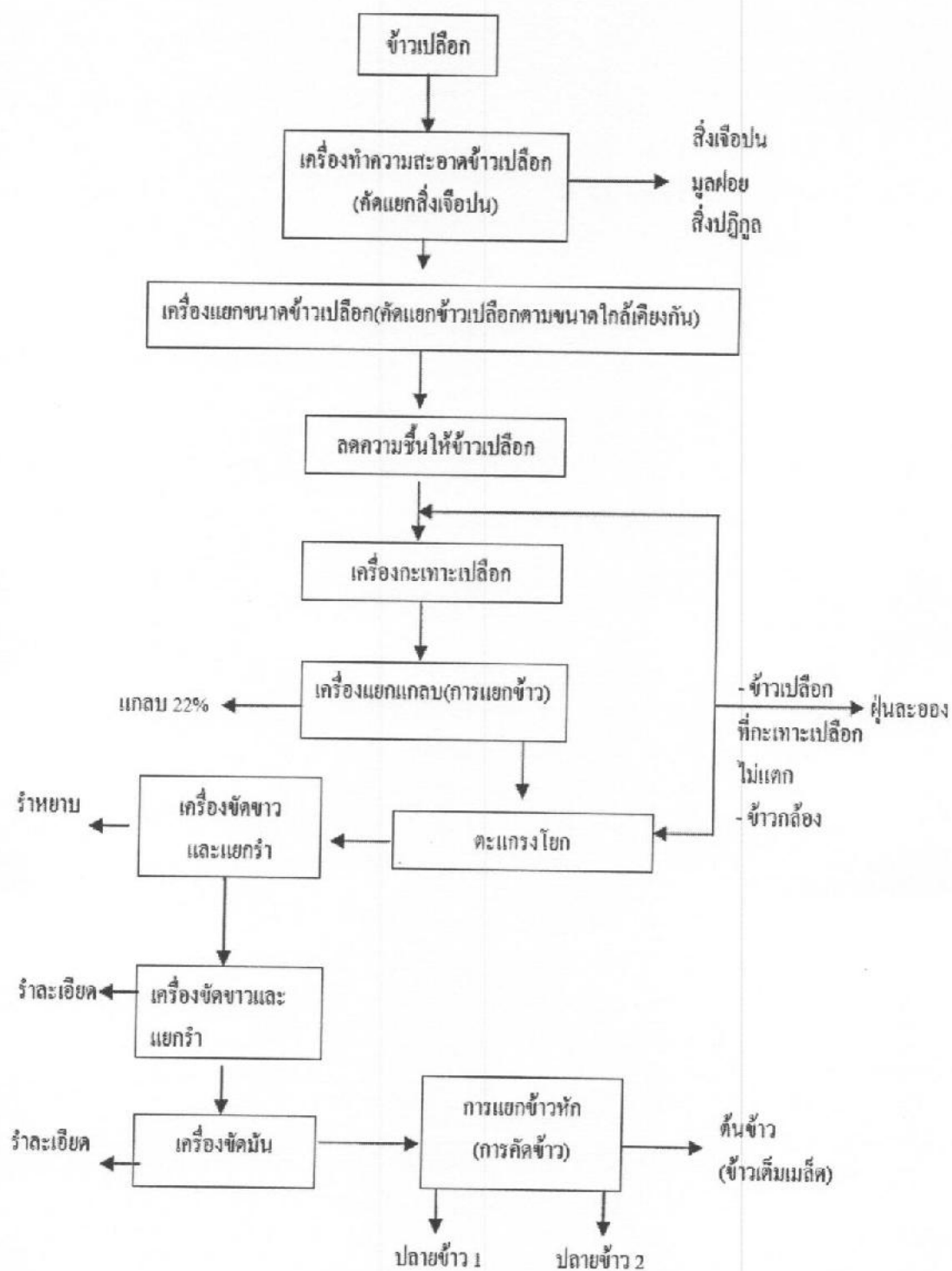
(2) เครื่องยนต์ดีเซล ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เหมาะกับโรงสีข้าวขนาดกลางและขนาดเล็กค่าติดตั้งถูกกว่าเครื่องต้นกำลังชนิดอื่นๆ แต่ค่าใช้จ่ายเพื่อเป็นค่าน้ำมันเชื้อเพลิงค่อนข้างสูง

(3) มอเตอร์ไฟฟ้า จะใช้กระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อนมอเตอร์ เมื่อเริ่มเดินเครื่องจะใช้กระแสไฟฟ้าสูงมาก แต่เมื่อมอเตอร์ทำงานและขับเคลื่อนเครื่องสีข้าวแล้วกระแสไฟฟ้าจะลดลง เหมาะสมกับโรงสีข้าวขนาดเล็ก

2.2.2 กรรมวิธีการสีข้าว

2.2.2.1 กระบวนการสีข้าว

หลังการเก็บเกี่ยวจะมีการนวดข้าวซึ่งหมายถึง การกะเทาะเอาเมล็ดข้าวออกจากรวง การนวดข้าวมีหลายวิธี เช่น การนวดแบบฟาดกำข้าว การนวดแบบใช้สัตว์ย่ำ และการนวดโดยใช้เครื่องทุ่นแรงย่ำ แล้วทำความสะอาดเพื่อแยกเมล็ดที่ลีบและเศษฟางข้าวออก เหลือเฉพาะเมล็ดข้าวเปลือกที่ต้องการ เมล็ดข้าวภายหลังการเก็บเกี่ยวใหม่ ๆ มีความชื้นร้อยละประมาณ 20-25 เมื่อตากข้าวทิ้งไว้แห้งเป็นเวลา 5-7 วัน ความชื้นของเมล็ดข้าวลดลงเหลือประมาณร้อยละ 13-15 ซึ่งเหมาะสมในการสีข้าว และการเก็บรักษา ข้าวเปลือกเก็บไว้ในยุ้งฉางที่แห้ง อากาศถ่ายเทสะดวก จากนั้นจึงนำข้าวเปลือกที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการสีข้าวต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 กระบวนการสีข้าวจากอุตสาหกรรมการสีข้าวด้วยเครื่องจักร

2.2.2.2 ขั้นตอนการสีข้าว

เมล็ดข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 13-15 จะเป็นการขึ้นที่เหมาะสมในการสีข้าวและเก็บรักษา โดยขั้นตอนหลักของการสีข้าว มี 5 ขั้นตอน ดังนี้

(1) การทำความสะอาดข้าวเปลือก

เป็นกรรมวิธีทำความสะอาดข้าวเปลือกก่อนการสีโดย แยก ฟาง เศษ ผง เมล็ดข้าวลีบ ฝุ่น และอื่น ๆ ที่ปะปนออกเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องสีข้าวเสียหาย ให้เครื่องทำงานได้เต็มที่ เครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกมีกรรมวิธีพื้นฐาน คือ การสี ฝัด พัดลมเป่า และใช้ตะแกรงร่อน

(2) การกะเทาะข้าวเปลือก

เป็นขั้นตอนการแยกเปลือกออกจากเมล็ดข้าว มีหลายวิธี ในโรงสีขนาดเล็กส่วนใหญ่ใช้แบบลูกยาง 2 ลูก ซึ่งใช้ลักษณะของเปลือกที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวเป็นหลักในการออกแบบ เครื่องกะเทาะที่นิยมใช้ได้แก่ แบบ โม่หิน (Abrasive disc) และแบบลูกยาง (Rubber Rolls)

(3) การแยกข้าว

เป็นขั้นตอนการแยกข้าวเปลือกที่หลงเหลือและปะปนมากับข้าวกล้อง จากขั้นตอนการกะเทาะ ข้าวเปลือกจะถูกส่งกลับเครื่องกะเทาะข้าวเปลือกใหม่ ส่วนข้าวกล้องถูกแยกไปเข้าเครื่องสีขัดขาว ในโรงสีขนาดใหญ่มีเครื่องแยกข้าว แต่โรงสีขนาดเล็ก เครื่องสีข้าวขนาดเล็กอาจไม่ต้องมีขั้นตอนนี้

(4) การขัดข้าว

เป็นขั้นตอนขัดเอารำออกจากเมล็ดข้าวเพื่อให้ข้าวขาว กลไกการขัดข้าวขาว แบ่งเป็น 2 หลักการ คือ แบบใช้การเสียดสี และแบบขัดสี ในโรงสีขนาดเล็ก เครื่องจะทำการกะเทาะและขัดขาวในเวลาเดียวกัน บางครั้งมีตะแกรงเสริมเพื่อแยกข้าวหักด้วย

(5) การแยกข้าวหัก

เป็นขั้นตอนการแยกข้าวหักออกจากเมล็ดข้าวขาวที่ผ่านขั้นตอนการขัดสีมาแล้ว ข้าวหักแยกเป็นขนาดต่าง ๆ ตามตะแกรงขนาดต่าง ๆ ส่วนใหญ่ใช้ตะแกรงสั่น ตะแกรงจะแยกข้าวเต็มเมล็ดและเมล็ดข้าวชั้นเล็กจากเมล็ดข้าวที่หักครึ่ง เมล็ดยาวแต่บางจะผ่านรูไปรวมกับเมล็ดหัก

2.2.3 สิ่งที่ได้จากการสีข้าว

สิ่งที่ได้จากการสีข้าวแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

2.2.3.1 แกลบ (Husk)

เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด หาง กลีบเลี้ยงและข้าวเมล็ดซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 20–24 ของข้าวเปลือก แกลบเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น คาร์โบไฮเดรต พวกลูเซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส ประมาณร้อยละ 68.2 มีอินนินร้อยละ 19.2 – 24.7 และเถ้าร้อยละ 13.2 – 29.0

2.2.3.2 รำ (Bran)

เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด คัพภะและผิวนอกๆของข้าวสาร มีอยู่ประมาณร้อยละ 8 – 10 ของข้าวเปลือก รำมีคุณค่าทางอาหารสูงเพราะมีสารประโยชน์จำนวนมาก เช่น โปรตีนร้อยละ 10.6 – 13.4 ไขมันร้อยละ 10.1 – 22.4 Nitrogen free extract ร้อยละ 38.7-44.3 และวิตามินบีร้อยละ 0.544 ประโยชน์ของรำ เช่น ใช้ทำเป็นอาหารสัตว์ สกัดน้ำมันรำ และอาหารเด็กอ่อน เป็นต้น

2.2.3.3 ข้าวสาร (Milled rice)

มีประมาณร้อยละ 68 – 70 ของข้าวเปลือกประกอบด้วยแป้งประมาณร้อยละ 90 มีโปรตีนบ้างเล็กน้อย และเป็นส่วนที่มนุษย์นำไปรับประทาน ข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวจะถูกนำไปคัดแยกเป็นข้าวเต็มเมล็ด ดันข้าวและข้าวหักประเภทต่างๆ ซึ่งจะได้แต่ละส่วนมาน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณภาพของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น คุณสมบัติของข้าวเปลือกก่อนสี และเครื่องจักรที่ใช้ในการสีข้าว (เครือวัลย์ อัดตะวิริยะสุข, 2534)

2.2.4 เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

เครื่องสีขี้นับว่าเป็นเครื่องจักรอีกประเภทหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยเฉพาะเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรชาวไทยมาช้านาน และถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งรูปแบบของการผลิตข้าวสารเพื่อการบริโภคของเกษตรกรภายในประเทศนั้น ส่วนมากจะทำได้ด้วยการนำข้าวเปลือกมาสีด้วยโรงสีข้าวหรือเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ซึ่งปัจจุบันนี้เกษตรกรได้มีการนำเครื่องสีข้าวขนาดเล็กมาใช้ในการแปรรูปข้าวเปลือกกันมากขึ้น เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว เกษตรกรไม่ต้องเสียเวลาเดินทางหากต้องการที่จะสีข้าวเพื่อบริโภคในครัวเรือน อีกทั้งผลิตผลที่ถือว่าเป็นผลพลอยได้จากการสีขี้นั้นจะประกอบไปด้วย ปลายข้าว รำ และแกลบ ซึ่งเกษตรกรสามารถนำไปจำหน่ายหรือนำไปใช้ภาคเกษตรกรรมต่างๆได้ ช่วยให้สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง

ในแต่ละปีประเทศไทยปลูกข้าวประมาณ 66 ล้านไร่ มีผลผลิตรวมปีละประมาณ 27 ล้านตัน โดยใช้บริโภคภายในประเทศประมาณ 13 ล้านตัน ส่วนที่เหลือส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศในรูปของข้าวสารและผลิตภัณฑ์จากข้าว (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) สำหรับการออกแบบเครื่องสีข้าวขนาดเล็กก็จะแตกต่างกันตามท้องถิ่น มีทั้งแบบแกนตั้งและแกนนอน

แต่โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ลูกหินที่เป็นแบบแกนนอน ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจากราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องถิ่น เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเครื่องสีข้าวในระดับหมู่บ้าน ซึ่งเกษตรกรตามหมู่บ้านในชนบทจะนิยมนำข้าวเปลือกไปสีกับโรงสีประเภทนี้ เพราะสามารถสีได้ตามความต้องการกล่าวคือเกษตรกรได้ข้าวสารจากข้าวเปลือกของตนเองและยังได้ปลายข้าวและรำด้วย แต่เกษตรกรจะต้องจ่ายเงินหรือข้าวให้กับเจ้าของโรงสีตามที่ตกลงกัน แต่ถ้าเป็นโรงสีขนาดใหญ่เกษตรกรจะได้แต่เพียงข้าวสารประมาณร้อยละ 50-60 เท่านั้นจากเจ้าของโรงสี ชนิดและลักษณะของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก สามารถจำแนกได้ ดังนี้ (จักร จักกะพาก, 2528)

2.2.4.1 เครื่องสีข้าวแบบลูกหินแนวนอน 2 ลูกแยกส่วน (2- Horizontal Abrasive)

เครื่องสีแบบนี้จะมีลูกหิน 2 ลูก คือ ลูกหินกะเทาะ และลูกหินขัดขาว โดยมีพัดลมดูดอากาศซึ่งจะทำการแยกแกลบออกจากข้าวที่กะเทาะแล้ว ก่อนส่งไปยังลูกหินขัดขาว เมื่อผ่านลูกหินขัดขาวแล้วปลายข้าวจะถูกแยกออก โดยตะแกรงร่อนต่อไป

2.2.4.2 เครื่องสีข้าวแบบลูกหินแนวนอน 2 ลูกในเครื่องเดียวกัน (2- Horizontal Abrasive Compact)

เครื่องสีแบบนี้จะมีลูกหิน 2 ลูก วางในระนาบในเครื่องเดียวกัน โดยที่ลูกหินกะเทาะอยู่ในด้านบนลูกหินขัดขาว ระหว่างลูกหินทั้งสองจะมีพัดลมดูดอากาศ เพื่อให้แยกแกลบออกจากข้าวที่กะเทาะแล้ว และใช้ตะแกรงร่อนในการแยกปลายข้าวออก

2.2.4.3 เครื่องสีข้าวแบบลูกหินแนวนอนสามลูก (3- Horizontal Abrasive)

ลูกหินตัวแรก เป็นตัวกะเทาะ ส่วนลูกหินอีก 2 ตัว จะเป็นลูกหินขัดขาว เพื่อให้ข้าวมีความขาวตามต้องการ การขัดขาวแบบนี้จะทำให้ข้าวที่ได้มีคุณภาพดีขึ้นและมีการแตกหักน้อยลง

2.2.4.4 เครื่องสีข้าวแบบไม่หินแนวนอน (Horizontal Dies Double Pass)

เครื่องสีแบบนี้จะมีจานกะเทาะแบบไม่สองลูก วางตัวในแนวตั้งบนเพลที่หมุนในแนวนอน จานกะเทาะตัวแรกบริเวณผิวกะเทาะจะพอกด้วยกากเพชร ส่วนจานที่สองจะหุ้มด้วยยางข้าวเปลือกจะไหลผ่านช่องระหว่างจานทั้งสองการไหลผ่านของข้าวเปลือกครั้งแรกจะเป็นการกะเทาะเอาเปลือกออกซึ่งจะได้ข้าวกล้องและนำข้าวกล้องไหลผ่านเป็นครั้งที่สองเป็นการขัดขาว โดยมีพัดลมดูดอากาศทำหน้าที่แยกแกลบออกไปและมีตะแกรงร่อนในการแยกรำและปลายข้าวออกจากข้าวสาร

2.2.4.5 เครื่องสีข้าวแบบลูกยางกะเทาะเปลือกและลูกหินขัดขาวแนวนอน (Rubber Roll Huller & Horizontal Abrasive)

เครื่องสีแบบนี้จะมีลูกยางทรงกระบอกสองลูกหมุนในทิศตรงกันข้ามด้วยความเร็วที่ต่างกัน และจะมีลูกหินขัดขาวอยู่ในระนาบ โดยมีพัดลมดูดอากาศใช้ในการแยกแกลบก่อนที่จะส่งไปยังลูกหินขัดขาว และมีตะแกรงร่อนในการคัดแยกปลายข้าว และรำออก

2.2.4.6 เครื่องสีข้าวแบบลูกเหล็กแนวนอน (Engelberg)

ประกอบด้วยลูกเหล็กทรงกระบอกติดตั้งบนเพลลาที่หมุนในแนวนอนภายในทรงกระบอกบริเวณด้านล่างจะเป็นตะแกรงเพื่อใช้แยกรำ การกะเทาะเปลือกจะใช้วิธีการปรับแผ่นเหล็กที่วางอยู่ด้านข้างตลอดความยาวเพื่อทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างข้าวเปลือกกับผนังของลูกเหล็กกะเทาะการกะเทาะและการขัดจะกระทำพร้อมกันข้าวสารที่ได้จะเป็นข้าวรวมโดยการแยกปลายข้าว

2.2.4.7 เครื่องสีข้าวแบบลูกเหล็กแนวนอนและลูกเหล็กมีริ้วยาง (Engelberg and Horizontal Rubber Lined)

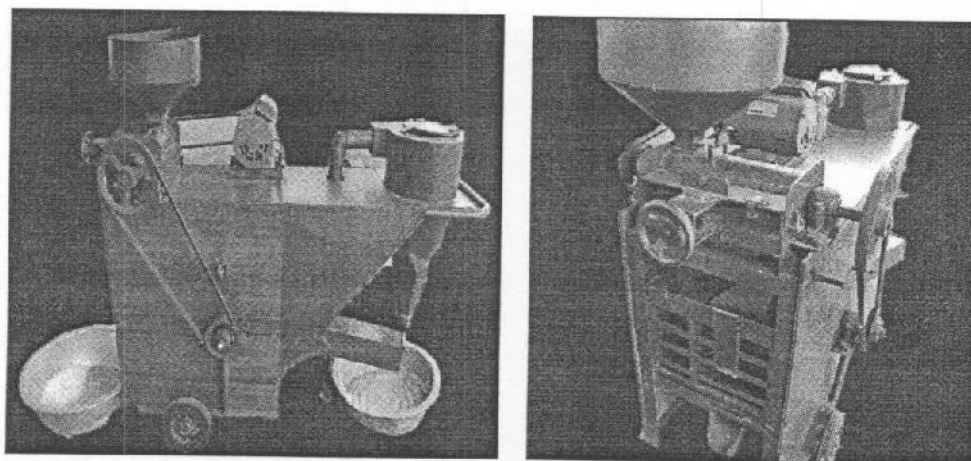
มีลูกเหล็กแนวนอนทำหน้าที่ในการกะเทาะเปลือก และมีลูกเหล็กมีริ้วยางทำหน้าที่ในการขัดขาว ด้านล่างของลูกเหล็กทั้งสองจะมีตะแกรงทำหน้าที่ในการแยกรำ เมื่อข้าวผ่านชุดขัดขาวแล้วแกลบจะถูกแยกโดยพัดลมดูดอากาศ ก่อนที่ข้าวจะผ่านไปคัดแยกข้าวหักและปลายข้าวออกโดยตะแกรงร่อนต่อไป

2.2.4.8 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแนวนอนลูกเดียว (Single Horizontal Abrasive)

เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแนวนอนลูกเดียว (Single Horizontal Abrasive) เป็นเครื่องสีข้าวที่ใช้ในการศึกษาทดลองในงานวิจัยในครั้งนี้ โดยด้านบนของห้องกะเทาะเปลือกเป็นภาชนะสำหรับใส่ และปล่อยข้าวเปลือก (Hopper) โดยจะปล่อยข้าวเปลือกให้ไหลลงสู่ห้องกะเทาะเปลือก เพื่อกะเทาะเอาเปลือกข้าวออก ก่อนที่จะลำเลียงเมล็ดข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกแล้วให้ไหลลงสู่กระบวนการขัดสีภายในห้องขัดสีต่อไป เครื่องสีข้าวชนิดนี้จะใช้หลักการการส่งถ่วงกำลังด้วยมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ด้วยกระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ในการขับเคลื่อนการหมุนของลูกยางกะเทาะและลูกหินขัด

โดยภายในห้องขัดสีจะมีลูกหินขัดหนึ่งลูก ตัวลูกหินขัดเป็นเหล็กหล่อทรงกระบอกปิดหัวท้ายติดอยู่กับเพลลา ผิวของลูกหินขัดจะถูกพอกด้วยหินกากเพชร เพื่อให้มีความคมในการขัดขาวเมล็ดข้าว ในกระบวนการขัด ลูกหินขัดจะหมุนขนานกับพื้นระนาบ โดยด้านข้างของลูกหินขัดจะมีแท่งยางวางในแนวนอนตลอดความยาวกับลูกหิน ซึ่งระยะห่างระหว่างลูกหินขัดกับแท่งยางสามารถปรับระยะได้ตามต้องการ ลูกหินขัดจะหมุนอยู่ภายในห้องขัดสีซึ่งเป็นทรงกระบอกเหล็ก ด้านล่างของห้องขัดสีเป็นตะแกรงรูดลมหรือรูดรำ เพื่อให้รำหายและรำ

ตะเข็บแยกตัวออกจากเมล็ดข้าวโดยใช้ลมดูด ซึ่งเครื่องสีข้าวแบบนี้มีพัดลมดูดอากาศเพื่อใช้ในการดูดแยกแบริณและแกลบที่ได้จากการสีข้าว ส่วนปลายข้าวและข้าวขาวจะถูกแยกออกจากกันโดยตะแกรงร่อน ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง

ตารางคุณสมบัติของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง	
กำลังการผลิต	500 กิโลกรัม (ข้าวเปลือก) / 12 ชั่วโมง
ขนาดตัวเครื่อง	80 x 165 x 130 เซนติเมตร
มอเตอร์ต้นกำลัง	ขนาด 1.5 แรงม้า 1 ตัว
ขนาดลูกหิน	12 x 4 นิ้ว 1 ลูก
ลูกยางขัดข้าวขนาด	12 x 4 นิ้ว 1 เส้น
คูตีฝัดแบบมาตรฐาน	1 คู 2 ช่อง
พัดลมดูดร่า Turbo Charge	1 ชุด
ไซโคลนร่า	1 ลูก
แผงสวิทช์ควบคุมมอเตอร์	1ชุด

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

ปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อกระบวนการสีข้าวและผลผลิตของข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ได้แก่

2.2.5.1 คุณภาพข้าวเปลือกที่นำมาสี ได้แก่ พันธุ์ข้าว ลักษณะทางกายภาพของข้าว ร้อยละความชื้นของข้าวเปลือก เป็นต้น

2.2.5.2 กระบวนการสีข้าว ได้แก่ อัตราการป้อนข้าวเปลือก ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว เป็นต้น

2.2.5.3 สภาพแวดล้อมของการสี เช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในอากาศ เป็นต้น

2.3 บรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้าวเปลือกและเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

การทบทวนบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากงานวิจัยและบรรณกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก และกระบวนการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยจากการศึกษาดังกล่าวพบว่า มีผู้ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยไว้แล้วบางส่วน ดังเช่น อรุณ อุ่นไธสง (2549) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการสีข้าว จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการสีข้าว ได้แก่ กระบวนการขัดขาว ซึ่งมีน้ำหนักความสำคัญสูงสุด โดยมีดัชนีชี้วัด 4 ส่วน คือ การปรับระยะหินขัดขาว ความเร็วรอบ การไหลของข้าวสู่ระบบขัดขาว และอุณหภูมิและการไหลของลมดูดในห้องขัดขาว มาเกี่ยวข้อง ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ กัญญา เชื้อพันธุ์ (2541) ที่ได้กล่าวไว้ว่า ความสูญเสียในกระบวนการสีข้าว คือ การแตกหักของข้าวสาร โดยขั้นตอนในกระบวนการสีข้าวที่มีผลต่อการแตกหักของข้าวสารคือ ขั้นตอนการกะเทาะเปลือก และ ขั้นตอนการขัดขาว

ส่วนขั้นตอนหรือเทคนิคของการดังกล่าวต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสีข้าวก็มีผู้ได้ศึกษาเอาไว้เช่นกันโดย เครือวัลย์ อัดตะวิริยะกุล (2534) ได้กล่าวเอาไว้ว่า การตั้งระยะห่างระหว่างหินขัดข้าว กับแท่งยาง ถ้าชิดกันมากไปข้าวจะหักมาก อัตราการหมุนของหินขัดข้าวถ้าเร็วมากไปข้าวจะหักมาก และอัตราการไหลของข้าวสู่เครื่องกะเทาะเปลือกถ้าสูงมากข้าวจะหักมาก และ ผดุงศักดิ์ วานิชชัง (2535) ก็ได้แนะนำเอาไว้ว่า ควรปรับแท่งยางขัดข้าวเข้าไปให้เหลือระยะห่างระหว่างหินขัดข้าวกับแท่งยางกว้างเล็กกว่าความกว้างของเมล็ดข้าวเล็กน้อย ในขณะที่ สุขอังคณา ลิ (2547) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดช่องปล่อยข้าวเปลือก และรูปร่างของช่องปล่อยข้าวเปลือกที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลลงสู่ห้องสีข้าว ต่อประสิทธิภาพการสีข้าวของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแกนนอน โดยทำการปรับช่องปล่อยข้าวเปลือกให้มีพื้นที่แตกต่างกัน เริ่มจาก 450 mm^2 675 mm^2 900 mm^2 $1,125 \text{ mm}^2$ $1,350 \text{ mm}^2$ $1,575 \text{ mm}^2$ $1,800 \text{ mm}^2$ และ $2,025 \text{ mm}^2$ ได้ทำการออกแบบ

ช่องปล่อยข้าวเปลือกให้มีรูปร่าง 4 ลักษณะ คือ สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า (ขนานกับลูกหิน) สี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตั้งฉากกับลูกหิน) และวงกลม พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ไม้บรรทัด สเกลละเอียด 0.5 mm เพื่อช่วยวัดระยะห่างระหว่างลูกหินกับหน้ายางให้สามารถปรับอัตราการไหลได้คงที่แทนการปรับโดยดูจากเมล็ดข้าวสารที่ออกมา จากผลการทดลองขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยข้าวที่ทำให้เครื่องสีข้าวมีประสิทธิภาพการสีสูงสุด คือ พื้นที่ $1,125 \text{ mm}^2$ ได้ประสิทธิภาพเป็นร้อยละ 68.73 ส่วนลักษณะรูปร่างของช่องปล่อยข้าวที่ทำให้เครื่องสีข้าวมีประสิทธิภาพสูงสุดคือ สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนานกับลูกหินขัดข้าว ในขณะที่ ริดิกานต์ บุญแข็ง และสุขอังคณา ลิ (2549) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสีหรือของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก 2 ปัจจัย คือ ระยะห่างระหว่างยางกับลูกหินและความเร็วรอบ ซึ่งทำการทดลองกับข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 โดยได้แบ่งช่วงระดับของปัจจัยในส่วนของระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน เป็น 5 ระดับได้แก่ 1.1 1.3 1.5 1.7 และ 1.9 mm และช่วงระดับของความเร็วรอบเป็น 5 ระดับได้แก่ 1,340 1,380 1,420 1,460 และ 1,500 rpm โดยใช้ Two Way ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล จากผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการสีข้าวที่ให้ร้อยละข้าวหักเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ ความเร็วรอบ 1,420 rpm และระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน 1.5 mm ซึ่งมีร้อยละข้าวหักเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ 14.5

ส่วนคุณสมบัติของข้าวเปลือกที่จะนำมาสีนั้นก็มีผลต่อร้อยละของข้าวหักด้วยเช่นกัน ดังที่ไมตรี แนวพาณิชย์ (2544) ได้กล่าวเอาไว้ว่าคุณภาพของข้าวที่สีออกมานั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดพันธุ์ข้าว รูปร่าง ขนาด ความชื้น รวมทั้งกลไกการกะเทาะเปลือกและขัดขาว ในเครื่องสีข้าวด้วย สอดคล้องกับการวิจัยของ Stermer (1968) ที่ได้สรุปอิทธิพลของความชื้นที่มีผลกระทบต่อ การแตกหักของข้าวเอาไว้ว่า เมล็ดข้าวที่มีความชื้นสูงจะเกิดการแตกหักมากกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ ในขณะที่ Autrey, H. S. et al. (1955) ก็ได้ทดลองสีข้าวเมล็ดยาวและเมล็ดปานกลางที่มีความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 13 ถึง 14 ตามมาตรฐานเปียก ในห้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ โดยให้อุณหภูมิห้องคงที่ 29.4 ± 1.1 องศาเซลเซียส พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมและให้ร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุดคือร้อยละ 70 (โดยทำการทดลอง ณ จุดที่เครื่องสีมีประสิทธิภาพสูงสุดคือที่อัตราป้อน 34.1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยใช้ Degree of Milling เทียบกับมาตรฐาน USDA Grade No.1) โดยร้อยละข้าวเต็มเมล็ดของข้าวเมล็ดยาวและเมล็ดปานกลางเท่ากับ 39.1 ถึง 42.3 และ 52.8 ถึง 54.6 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ สัมพันธ์ ไทยเทพ (2541) ซึ่งพบว่าในประเทศไทย การแตกหักจากกระบวนการสีข้าวมีอัตราตั้งแต่ร้อยละ 16 ในโรงสีขนาดใหญ่ จนถึงร้อยละ 43 ในโรงสีขนาดเล็ก และจากการสำรวจพบว่าส่วนมากโรงสีมักไม่ได้เก็บข้อมูลหรือบันทึกข้อมูลในการทำงานไว้ แต่จะปฏิบัติงานด้วยความชำนาญของพนักงาน โดยการสังเกตและปรับแก้เฉพาะส่วน

ของระบบการสีนั่นเป็นอย่างไรไป และ โรงสีมักจะขาดความเข้มงวดในคุณภาพการสีข้าวในแง่ของ ปริมาณข้าวหัก เพราะถือว่าข้าวหักเป็นผลผลิตที่ยังขายได้ และ ต้นเหตุปัญหาและสาเหตุของการ แรกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าว นอกจากเครื่องสีข้าวแล้วยังรวมไปถึงคุณภาพของเมล็ด ข้าวเปลือกที่นำมาสีด้วย

และ Kunze, O.R. et al. (1965) ก็ได้ศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิข้าวต่อการ แรกหักของเมล็ดข้าว โดยควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่และแปรผันอุณหภูมิโดยเพิ่มอุณหภูมิ จาก 20.0 จนถึง 34.4 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดการแตกหักภายในเมล็ดข้าวเพียงเล็กน้อย และจาก การศึกษาที่เกี่ยวกับการแตกร้าวของข้าวกล้องพบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์เป็นสาเหตุให้ ข้าวกล้องแตกร้าว ซึ่งการเกิดรอยร้าวนี้มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์น้อยบ้าง มากบ้าง โดยการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ทีละมากๆ ทำให้ข้าวเริ่มเกิดการแตกร้าว ส่วนการ เปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ทีละน้อยๆ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ข้าวเกิดรอยร้าวเป็นส่วนใหญ่ นั้น จะ เกิดถัดมาซึ่งทั้งสองพบว่า เมื่อนำข้าวที่มีความชื้นที่ร้อยละ 11.2 ตามมาตรฐานเปียกไปเก็บไว้ที่ อุณหภูมิ 33.3 องศาเซลเซียส พบว่าข้าวเกือบร้อยละ 50 จะเกิดการแตกร้าวภายใน 0.8 ถึง 1.6 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าว ในขณะที่ บัณฑิต สุริยวงศ์พงศา (2547) ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตรา การไหลและอุณหภูมิของลมดูดรำในห้องขัดขาวที่มีผลต่อการแตกหักของข้าว โดยใช้ข้าวดอกมะลิ 105 ในการทดลอง และใช้เครื่องขัดขาวแบบหินขัดขาวกรวยแกนตั้งในการทดสอบ โดยทดสอบการ ขัดขาวภายใต้สภาวะการควบคุมอากาศ และไม่ควบคุมอากาศ พบว่าการขัดขาวในสภาวะการ ควบคุมอากาศสามารถลดปริมาณข้าวหักได้ดีกว่าสภาวะที่ไม่มีการควบคุมอากาศ และจากการศึกษา ของ Bhatia, K. (1969) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอัตราการไหลของลมดูดรำ โดยได้ทำการทดลองเป่าลมผ่าน เพื่อให้ข้าวเย็นลงระหว่างการสี ที่อัตรา 4.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีต่อปริมาตรเครื่องสี 1 ลูกบาศก์ เมตร ทำให้อุณหภูมิข้าวระหว่างการสีลดลงจากการศึกษาพบว่าสามารถลดการแตกหักได้ประมาณ ร้อยละ 3 และจากการศึกษาของ Henderson, S. M. (1954) ก็พบว่าอุณหภูมิข้าวที่สูงขึ้นในระหว่าง การสีข้าวเป็นสาเหตุให้ข้าวเกิดการแตกหักมากขึ้น สอดคล้องกับ สมนึก ชูศิลป์ และประสันท์ ชุ่มใจ หาญ (2544) ได้รายงานว่าอุณหภูมิห้องที่สูงขึ้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการแตกหักของเมล็ดข้าว โดยการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสภาระสูงสุดเฉลี่ยของแรงดึง แรงกด และแรงคัด ของข้าว กล้องหอมมะลิ มีค่าเป็น 15.20 71.72 และ 19.63 นิวตัน ตามลำดับ ในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศา ภาระรับแรงสูงสุด แรงดึง แรงกด และแรงคัด ลดลง 0.303 1.372 และ 0.320 นิวตัน ตามลำดับ การศึกษาแนวการแตกหักของข้าวภายหลังการทดสอบ เปรียบเทียบกับการแตกหักของข้าวสารในการสีพบว่า การแตกหักในการทดสอบ แรงดึง แรงกด และแรงคัด สอดคล้องกับการแตกหักของการสีข้าว

ในขณะที่ นภา กังเกียรติกุล (2535) ก็ได้มีการศึกษาการสีข้าวในห้องที่ควบคุมภาวะอากาศโดยควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศให้อยู่ที่ร้อยละ 45 60 75 และ 90 และแปรผันอุณหภูมิที่ 20 26 32 และ 38 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าที่ความชื้นร้อยละ 60 และอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นภาวะที่ให้ร้อยละข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุดคือ 51.0 45.0 และ 50.6 สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 สุพรรณบุรี 60 และหลวงประทาน ตามลำดับ ส่วนภาวะอากาศที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 45 และ 90 จะให้ค่าร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดต่ำกว่า นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลกระทบของภาวะอากาศและระยะพักตัวของข้าวสารระหว่างขั้นตอนการขัดขาวที่มีผลต่อค่าร้อยละ การแตกหัก พบว่าการขัดขาวที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 60 ในอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ให้ร้อยละของข้าวสารเต็มเมล็ดสูงสุด สำหรับการขัดขาวแบบพักเป็นช่วงโดยปล่อยให้ข้าวมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิภาวะอากาศ พบว่าให้ร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดสูงกว่าการขัดขาวแบบต่อเนื่อง ในลักษณะที่ไม่มีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็กเอาไว้โดย ประพันธ์ ศิริพลับพา (2530) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบการสร้างเครื่องสีข้าวแบบใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด โดยการใช้แบบหินลูกกลิ้งหมุนในเปลือกเหล็กซึ่งเป็นระบบที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ในการทดสอบข้าวทั้งหมด 8 พันธุ์ เป็นพันธุ์ข้าวเจ้า 4 พันธุ์ คือพันธุ์เหลืองใหญ่ 148 พันธุ์ พันธุ์ กข.15 พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ข้าวเหนียวอีก 4 พันธุ์ คือพันธุ์กำแพง 15 พันธุ์ ข้าวเหนียวสันป่าตอง พันธุ์ กข.10 โดยทดสอบที่รอบหินกะเทาะ 510 รอบต่อนาที 596 รอบต่อนาที และ 715 รอบต่อนาที สรุปได้ว่าเครื่องสีข้าวที่สร้างขึ้นนี้เหมาะสมที่จะสีข้าวเปลือก ที่มีความชื้นน้อยๆ ที่รอบหินกะเทาะ 715 รอบต่อนาที เพราะให้อัตราการสีข้าวได้สูงถึง 43.61 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยข้าวที่สีได้มีร้อยละของข้าวหักเฉลี่ยร้อยละ 22.72 และเสียดำกระแสไฟฟ้าเพียงชั่วโมงละ 1.50 บาทเท่านั้น

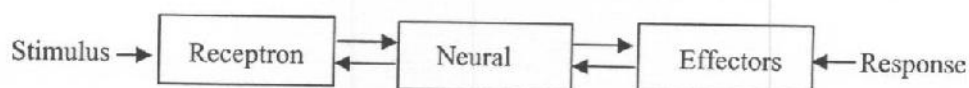
กุศล ประกอบการ (2542) ก็ได้ทำการวิจัยเรื่อง การทดสอบเปรียบเทียบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ขบวนการทำงานไม่ซับซ้อน การซ่อมบำรุงรักษาง่าย จากการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กจากประเทศจีน ประเทศญี่ปุ่น และเครื่องสีข้าวจากประเทศไทย พบว่า เมื่อทำการทดลองสีข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร สำหรับพันธุ์ข้าว 5 ชนิด คือ กข.35 สายพันธุ์ดี สุพรรณ 1 ทองหนึ่ง (111) และพันธุ์ชัยนาท 1 เครื่องสีข้าวขนาดเล็กจากประเทศจีน จะมีอัตราการสีสูงกว่าเครื่องสีข้าวจากญี่ปุ่นและเครื่องสีข้าวจากประเทศไทย คือ อัตราการสีมีค่าเฉลี่ยเป็น 87.50 34.00 และ 19.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ แต่เครื่องสีข้าวขนาดเล็กจากประเทศไทยและจากประเทศญี่ปุ่น จะให้ค่าร้อยละของคืนข้าวสูงกว่าเครื่องสีข้าวขนาดเล็กจากประเทศจีน คือ มีค่าเฉลี่ยที่ 65.49 64.74 และ 59.50 ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบค่าร้อยละของการแตกหักของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กทั้ง 3 แบบพบว่า ร้อยละการแตกหักของข้าวเฉลี่ยของเครื่องสีข้าวจากประเทศจีนสูงสุดคือ 64.94

รองลงมาเครื่องสีข้าวขนาดเล็กจากประเทศญี่ปุ่นและเครื่องสีข้าวขนาดเล็กจากประเทศไทยก็มีค่าเฉลี่ยเป็น 35.48 และ 34.50 ตามลำดับ

จากการศึกษาวิจัยดังกล่าวข้างต้น พบว่ามีตัวแปรและปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวอยู่หลายตัวแปร ในปัจจุบันการนำตัวแปรการผลิตที่เกี่ยวข้องจากกระบวนการสีข้าว มาศึกษาและทำการทดลองเพื่อพัฒนาระบบการสีข้าวให้ดียิ่งขึ้นนั้นส่วนมากแล้วจะทำด้วยวิธีการทางสถิติหรือทางคณิตศาสตร์ การทำนายผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิตนั้นก็จะเป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงการผลิต การทำนายหรือการพยากรณ์ส่วนมากแล้วอาศัยวิธีการทางสถิติหรือทางคณิตศาสตร์ซึ่งหากตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีความซับซ้อนการทำนายให้มีความคลาดเคลื่อนสูง จากข้อจำกัดดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการนำทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มาประยุกต์ใช้ในการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กต่อไป

2.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

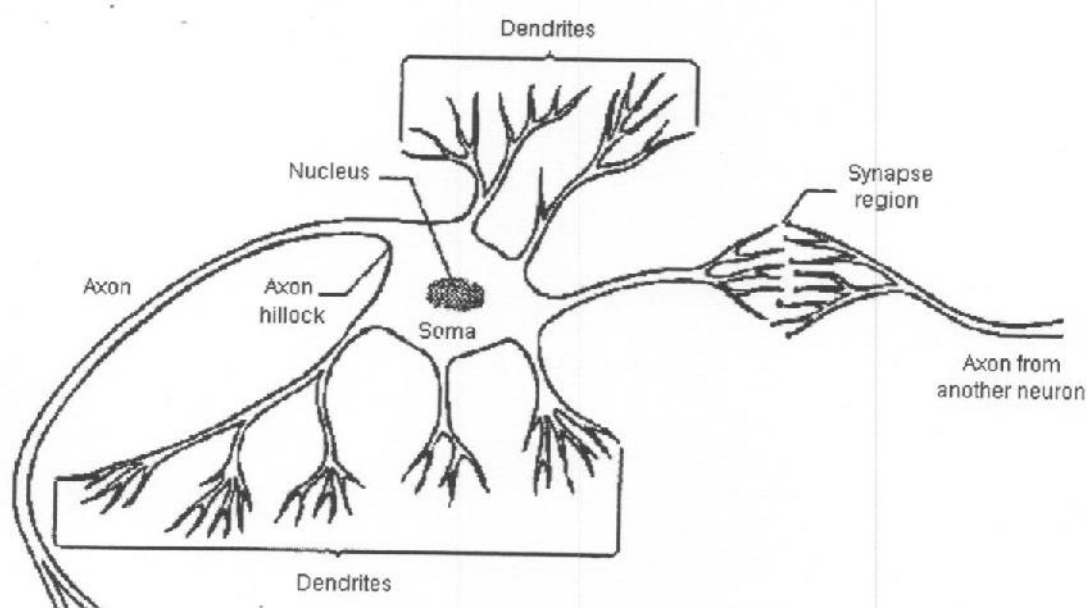
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เกิดขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาการทำงานของสมองมนุษย์ ส่วนประกอบของระบบประสาทของมนุษย์นั้นจะประกอบด้วยระบบหลัก ๆ สามระบบด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ได้แก่ ระบบส่วนการรับรู้ (Receptor) ทำหน้าที่รับรู้สัมผัสจากสิ่งแวดล้อมภายนอกของร่างกายแล้วจะเปลี่ยนสัญญาณเป็นคลื่นไฟฟ้าส่งผ่านสัญญาณข้อมูลไปยังส่วนที่สองหรือสมอง (Neural Net) ซึ่งทำหน้าที่แปลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับ แล้วส่งผลที่ได้ไปยังส่วนผลลัพท์ (Effectors) เพื่อส่งออกไปสู่ส่วน Output สมองต่อสิ่งที่ได้รับรู้



ภาพที่ 2.7 Block Diagram แสดงถึงระบบการรับรู้ของมนุษย์ (ภิสิตธิศักดิ์ เกื้อมา, 2550)

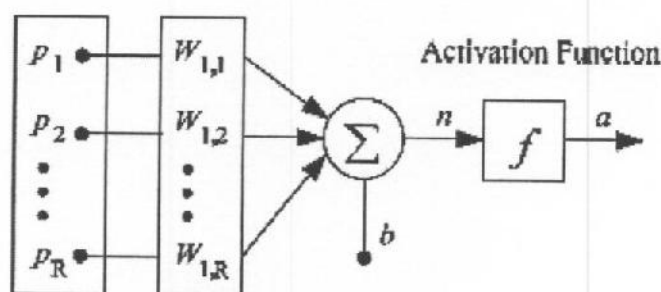
สมอง ประกอบด้วยเซลล์สมองหรือนิวรอน (Neuron) ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานที่ประกอบเป็นเนื้อเยื่อสมอง เซลล์สมอง (Neuron) มีส่วนประกอบสำคัญคือตัวเซลล์ (Cell Body) ที่มีนิวเคลียส (Nucleus) อยู่ภายใน ถัดจากตัวเซลล์ คือแอกซอน (Axon) และเดนไดรต์ (Dendrites) เป็นเส้นใยประสาททำหน้าที่รับส่งสัญญาณประสาท ซึ่ง Dendrites ประกอบด้วยเส้นใยประสาทจำนวนมากอยู่

รอบๆ ตัวเซลล์ทำหน้าที่รับสัญญาณประสาทจากเซลล์อื่นๆ ส่วน Axon เป็นเส้นใยประสาทเส้นเดียว ยื่นออกจากตัวเซลล์ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณประสาทออกจากเซลล์ไปยังเซลล์อื่นๆ ที่ส่วนปลายของ Axon จะแยกเป็นแขนงเรียกว่า Axonal Arborization ซึ่งส่วนปลายของ Axonal Arborization มีจุดเชื่อมต่อเล็กๆ เรียกว่าจุดประสานประสาท (Synapses) ในแต่ละ Axonal Arborization มีจำนวนจุดประสานประสาทไม่เท่ากันซึ่งทำให้เกิดระดับการเชื่อมต่อ (Connection Strength) ที่ไม่เท่ากัน อีกทั้งจำนวนจุดประสานประสาทดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดช่วงชีวิต ซึ่งระดับการเชื่อมต่อนี้คือความสามารถในการจำ (Memory) ความคิด (Thinking) ฯลฯ ของสมองโดยการเรียนรู้ (Learning) ทำให้จำนวนจุดประสานประสาทเปลี่ยนแปลงได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 เซลล์ประสาทในสมองมนุษย์ (Chester, M., 1993)

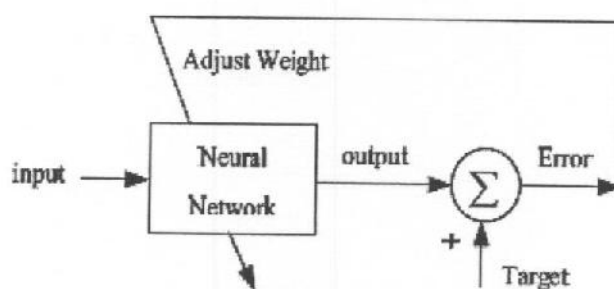
หลังจากที่นักวิทยาศาสตร์ศึกษาจนเข้าใจหลักการประมวลผลของสมองแล้วได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model) ขึ้นมาเพื่อจำลองแบบการทำงานของเซลล์สมองของมนุษย์ เรียกว่าเครือข่ายนิวรอลหรือโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) ซึ่งมีแผนภาพของโนด (Node) พื้นฐาน ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 โหนดพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม (ธวัช เกษสถิตย์, 2549)

2.4.1 หลักการของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เป็นระบบที่มีส่วนประกอบซึ่งจำลองรูปแบบการทำงานจากระบบของสมองมนุษย์ หน้าที่และการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่และสามารถสอน (Train) ระบบเพื่อนำไปใช้งานเฉพาะได้ หลักการทำงานของ Neural จะอาศัยการปรับค่าน้ำหนัก (Weight) ในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2.10 การทำงานของ Neural จะมีการเปรียบเทียบผลลัพธ์ (Output) ของ Neural ที่ได้กับค่าของเป้าหมาย (Target) ที่กำหนด หากในกรณีที่ได้อผลลัพธ์ (Output) มีค่าแตกต่างหรือไม่เท่ากับค่าเป้าหมาย (Target) ระบบของ Neural จะทำการปรับค่าของน้ำหนัก (Weight) ไปจนกว่าค่าของผลลัพธ์ (Output) ตัวใหม่มีค่าเท่ากับค่าเป้าหมาย (Target) ซึ่งการสอน (Train Neural) เพื่อให้ระบบมีการเรียนรู้ (Learning) ต้องมีข้อมูลที่ป้อนเข้าหรือข้อมูลที่เป็นอินพุต (Input) และค่าที่ใช้เป็นค่าเป้าหมาย (Target) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบนั้นจะต้องมีการจัดข้อมูลให้เป็นไปแบบคู่ลำดับ เพื่อใช้ในการสอนระบบ (Train Network)



ภาพที่ 2.10 หลักการของนิวรอลเน็ตเวิร์ค (ธวัช เกษสถิตย์, 2549)

2.4.2 การเลือกตัวแปร

ตัวแปร (Variable) ในโครงข่ายประสาทเทียมมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรนำเข้า (Independent variable or Input) และตัวแปรตาม (Dependent variable or Output) การพิจารณาตัวแปรที่ใช้ในระบบควรพิจารณาอยู่ 2 ประการ คือ ตัวแปรจะต้องมีนัยสำคัญต่อระบบ และควรมีนัยสำคัญที่สามารถทำนายคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือตัวแปรอิสระควรที่จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ในทางกลับกันตัวแปรอิสระหลายตัวไม่ควรมีความสัมพันธ์กันเอง มิฉะนั้นจะทำให้ตัวแปรอิสระมีความสามารถในการอธิบายตัวแปรตามน้อยลง ความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจตรวจสอบโดยใช้ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) (Smith, M., 1993)

เงื่อนไขในการเลือกค่าแสดงคุณลักษณะของตัวแปร (Attribute) ในกรณีของข้อมูลเป็นเลขฐานสอง และตัวอย่างที่ใช้ในการสอนคือ 1) ควรที่จะเข้าใจง่ายไม่ซับซ้อน ใช้ระยะเวลาสั้น 2) ความจำเป็นหรือความพอเพียงตามเงื่อนไข 3) ตัวอย่างที่ใช้สอนควรที่เป็นตัวแปรกลุ่มที่เป็นตัวแทนของปัญหา 4) จำนวนที่ใช้สอนควรมีจำนวนมากพอซึ่งจะให้ผลของการเรียนรู้ดีขึ้น (Yeh, Y.C. et al., 1990)

2.4.3 การนำเสนอตัวแปรในโครงข่ายประสาทเทียม

การนำเสนอตัวแปร (Presenting Variable) ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยตัวแปรนำเข้า (Input) และตัวแปรส่งออก (Output) โดยตัวแปรนำเข้า (Input) เป็นค่าที่รับเข้ามาทางหน่วยข้อมูล และตัวแปรส่งออก (Output) จะถูกแสดงผลทางหน่วยผลลัพธ์ ตัวแปรที่นำเสนอมี 2 ชนิด คือ เชิงปริมาณซึ่งอยู่ในรูปของจำนวนจริงและเชิงคุณภาพ ซึ่งจะอยู่ในรูปของเลขฐานสอง บางครั้งอาจนำเสนอตัวแปรทั้งสองชนิดร่วมกันในโครงข่ายเดียวกันได้ (Smith, M., 1993) นอกจากนี้ยังสามารถทำการปรับข้อมูลให้เป็นบรรทัดฐานหรือนอร์มาไลซ์ (Normalize) ย่อส่วน (Scaled) ให้ข้อมูลจำนวนจริงของตัวแปรนำเข้า (Input) และตัวแปรส่งออก (Output) อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ตามขอบเขตของ Transformation Function เพื่อสามารถคำนวณปรับแก้โครงข่ายได้รวดเร็วขึ้น

2.4.4 ผลลัพธ์และหน่วยผลลัพธ์

ชั้นผลลัพธ์ (Output layer) ประกอบด้วย หน่วยผลลัพธ์ (Output node) ที่ประมวลผลโดยโครงข่ายประสาทเทียม อาจแสดงโดยใช้ตัวเลขฐานสอง (Binary) หรือตัวเลขจริงแล้วแต่ลักษณะของปัญหาและ Transformation Function ที่เลือกใช้ นอกจากนี้ หน่วยแสดงผลอาจมีมากกว่า 1 หน่วยก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบหรือกำหนดตามลักษณะของปัญหา อย่างไรก็ตาม โครงข่ายประสาทเทียมที่มีหน่วยแสดงผลเพียงหน่วยเดียวจะให้ผลลัพธ์ที่เข้าใจและแปลผลง่ายกว่า (Smith, M., 1993)

2.4.5 ค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบน

ในการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายแต่ละแห่งจะมีค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งแสดงด้วยค่าจำนวนจริง และการเลือกค่าน้ำหนักเริ่มต้นจะมีความสำคัญมาก (Medsker, L. et al., 1993) เพราะมีผลต่อระยะเวลาในการสอน (Training) หรือเรียนรู้ (Learning) ของกระบวนการเรียนรู้ ซึ่งจำนวนค่าน้ำหนัก (Weight) ที่มีในระบบจะมีค่าเท่ากับการเชื่อมต่อหรือเท่ากับจำนวนตัวแปรนั่นเอง

ค่าการเบี่ยงเบน (Bias) เป็นค่าจำนวนจริงที่บวกเพิ่มเข้าไปของแต่ละหน่วยในแต่ละชั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรู้จำ กรณีของปัญหาที่ออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายได้ดี ค่าเบี่ยงเบน (Bias) อาจจะไม่มีก็ได้ ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาในการสอนหรือการเรียนรู้ (Training) ของกระบวนการเรียนรู้รวดเร็วขึ้น

2.4.6 อัตราการเรียนรู้ และโมเมนตัม (Learning rate and Momentum)

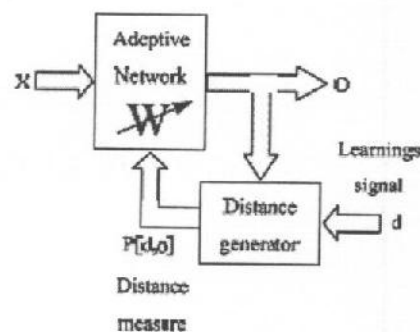
อัตราการเรียนรู้ (learning rate, η) คืออัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (Weight) บนโครงข่ายประสาทเทียมก่อนที่จะเข้าสู่ชุดข้อมูล และค่าโมเมนตัม (Momentum, α) คือ ความเร่งที่ทำให้เกิดอัตราการเรียนรู้ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Back Propagation เป็นระบบที่มีการเรียนรู้โดยการสอนจากกลุ่มตัวอย่างหรือที่เรียกว่าการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervise Learning) เพื่อให้โครงข่ายปรับค่าน้ำหนักในการเชื่อมต่อ ปกติการปรับค่าน้ำหนักจะต้องอาศัยค่าตัวแปรของทุกๆ ตัวอย่างโดยการใช้ทฤษฎี เกรเดียนต์ เดสเซนท์ (Gradient Decent) ซึ่งเป็นการหาค่าน้ำหนัก (Weight) ที่ทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด การเลือกค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) และโมเมนตัม (Momentum) จึงมีความสำคัญยิ่งในกระบวนการจำลองโครงข่ายประสาทเทียม อนึ่ง ปัญหาในแต่ละปัญหามีสองอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) และโมเมนตัม (Momentum) ที่ต่างกัน การเลือกค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) ที่สูงเกินไปอาจจะทำให้เกิดการเดินทางไปหาค่าคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดมีการแกว่งอาจจะนำไปสู่ปัญหาจุดต่ำสุดไม่แท้จริง (Local minima) ได้ ในทางตรงกันข้ามเมื่อเลือกค่าที่น้อยเกินไปก็อาจจะสิ้นเปลืองเวลาในการคำนวณได้ ซึ่งควรจะปรับเปลี่ยนค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) ก่อนการปรับค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งจะช่วยให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักอย่างกะทันหัน สำหรับโมเมนตัมจะช่วยให้ค่าน้ำหนักมีราบเรียบขึ้น (Khan, A. et al., 1993)

2.4.7 กระบวนการสอน (Learning)

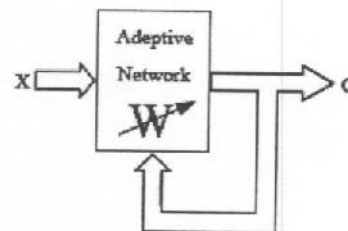
การสอนระบบเริ่มจากการให้น้ำหนักเริ่มต้นซึ่งเป็นการสุ่มปรับตัวทำให้ค่าที่ได้จากการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมถูกต้องยิ่งขึ้น หรือผิดพลาดน้อยลง กระบวนการดังกล่าวอาจใช้เวลามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การสุ่มค่าน้ำหนักเริ่มต้น อัตราการเรียนรู้ โมเมนตัม เกณฑ์ที่ใช้ควบคุมข้อผิดพลาด และหยุดสอนโครงข่าย ได้แก่ ผลรวมค่าคลาดเคลื่อน

กำลังสอง (Sum squared error, SSE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Squared Error: MSE)

การเรียนรู้มี 2 ประเภท การเรียนรู้โดยการสอน (Supervised Learning) แสดงได้ตามภาพที่ 2.11 (ก) และการเรียนรู้ปราศจากการสอน (Unsupervised Learning) แสดงตามภาพที่ 2.11 (ข) ข้อแตกต่าง คือ การเรียนรู้โดยการสอน (Supervised Learning) ต้องการลำดับซึ่งประกอบด้วยข้อมูล (Input) และผลลัพธ์ (Output) ที่ถูกต้องจำนวนมากพอ เริ่มจากป้อนข้อมูล และผลลัพธ์เหล่านี้ให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะประมวลผล และนำค่าที่ได้จากการประมวลผลเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริง ความแตกต่างระหว่างค่าทั้งสองเรียกว่า ค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งจะนำมาปรับค่าน้ำหนัก (Weight) ส่วนการเรียนรู้โดยปราศจากการสอน (Unsupervised Learning) โครงข่ายจะไม่สามารถรับรู้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากผลลัพธ์จริง ดังนั้นโครงข่ายจะต้องเรียนรู้ให้สามารถค้นหาโครงสร้างที่เหมาะสมของรูปแบบข้อมูลตัวอย่าง เป็นการปรับกระจายเชิงสถิติของข้อมูลตัวอย่างการเรียนรู้แบบนี้เป็นวิธีการสร้างความเข้มแข็งให้กับค่าน้ำหนักที่เชื่อมโยงกับหน่วยข้อมูลที่ตอบสนองได้ดีกับหน่วยผลลัพธ์ ในขณะเดียวกันก็ลดความสำคัญของหน่วยข้อมูลตัวอย่างที่อ่อนแอลง



(ก) แบบ Supervised Learning



(ข) แบบ Unsupervised Learning

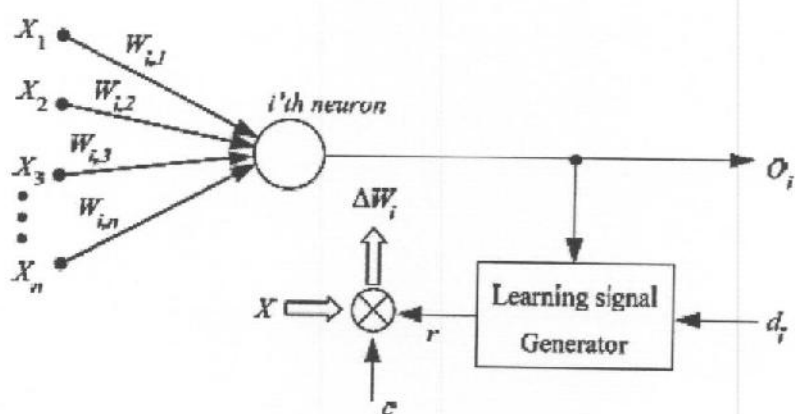
ภาพที่ 2.11 Block Diagram แสดงชนิดของการเรียนรู้ (ชว๊ช เกษสทิพย์, 2549)

2.4.8 กฎการเรียนรู้ของเน็ตเวิร์ค (Learning Rules)

จากกฎการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสองแบบ คือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) และการเรียนรู้แบบปราศจากการสอน (Unsupervised Learning) มีข้อแตกต่าง คือ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการ Train Network ตามเงื่อนไขเฉพาะ

การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) จะต้องมีการจัดเตรียมกลุ่มข้อมูลแบบคู่ลำดับ ในที่นี้ให้ p เป็นค่านำเข้า (Input) ส่วน t เป็นค่าเป้าหมาย (Target) หรือเป็นค่าที่ต้องการ เมื่อป้อนค่านำเข้า (Input) และค่าเป้าหมาย (Target) เข้าสู่ระบบแล้วโครงข่ายจะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ (Output) ที่ได้กับค่าเป้าหมาย (Target) ที่กำหนด โดยที่โครงข่ายจะทำการปรับค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าการเบี่ยงเบน (Bias) เพื่อที่จะให้เกิดค่าของ Output ตัวใหม่ขึ้นและให้มีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (Target) ให้มากที่สุด จึงเรียกกระบวนการเรียนรู้แบบนี้ว่าการเรียนรู้แบบมีผู้สอนหรือ Supervised Learning

เรียนรู้แบบปราศจากการสอน (Unsupervised Learning) ค่าของน้ำหนัก (Weight) และค่า Bias จะปรับปรุงค่าตามการเปลี่ยนแปลงของค่านำเข้า (Input) อย่างเดียวจะไม่มีค่าเป้าหมาย (Target) ให้ใช้เปรียบเทียบเหมือนของแบบ Supervised Learning กฎการเรียนรู้ทั่วไปของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากการศึกษา ในที่นี้เมื่อให้ค่า Weight vector $w_i = [w_{i1} w_{i2} \dots w_{in}]'$ เพิ่มขึ้นอย่างมีสัดส่วนกับผลคูณของ Input Vector x และสัญญาณการเรียนรู้ r เป็นส่วนของฟังก์ชัน $w_i x$ สัญญาณสอนหรือเป้าหมายเป็น d_i โดยสามารถแสดงตามภาพที่ 2.12 และแสดงเป็นสมการได้ดังสมการ (2 - 1)



ภาพที่ 2.12 การเรียนรู้ของ Weight (d_i จะมีเฉพาะการเรียนรู้แบบ Supervised learning) (ธวัช เกษมธิดย์, 2549)

$$r = r(w_i, x, d_i) \quad (2-1)$$

เมื่อ x เป็น Input vector, o เป็น Output vector และ d เป็นค่าเป้าหมายที่ต้องการ การปรับค่าของ Weight vector w_i จะเกิดขึ้นในขั้นการเรียนรู้ในแต่ละช่วงของเวลา t สามารถเขียนเป็นสมการ การเรียนรู้ได้ดังสมการ (2-2)

$$\Delta w_i(t) = cr[w_i(t), x(t), d_i(t)]x(t) \quad (2-2)$$

c มีค่าเป็นบวก เรียกว่าค่าคงที่ของการเรียนรู้ (Learning constant) Weight vector จะปรับค่าตาม เวลา t ของขั้นตอนการเรียนรู้ ดังสมการ (2-3)

$$w_i(t+1) = w_i(t) + cr[w_i(t), w(t), d(t)]x(t) \quad (2-3)$$

อักษรตัวห้อยท้ายแสดงช่วงของการ Train ในแต่ละ step ในแต่ละ step k ของการ Train ดังสมการ (2-4)

$$w_i^{k+1} = w_i^k + cr(w_i^k, x^k, d_i^k)x^k \quad (2-4)$$

ค่า Weight ที่ได้เป็นค่าในแต่ละช่วงเวลาและไม่ต่อเนื่อง เวลาการเรียนรู้ที่ต่อเนื่องสามารถเขียนดัง สมการ (2-5)

$$\frac{dw_i(t)}{dt} = crx(t) \quad (2-5)$$

2.4.9 การทดสอบ (Testing)

กระบวนการทดสอบ (Testing) เป็นการทดสอบความน่าเชื่อถือหรือประสิทธิภาพ ของโครงข่ายที่ผ่านกระบวนการสอน (Learning) หรือเรียนรู้ (Training) มาแล้วถือเป็นขั้นตอน สำคัญในการพัฒนาระบบ โครงข่ายประสาทเทียม การทดสอบเป็นการตัดสินใจว่าโครงข่ายประสาท เทียมสามารถทำงานได้เช่นเดียวกับการสอน (Learning) หรือไม่ (Smith, M., 1993) หรือการทดสอบ เป็นการวัดประสิทธิภาพของ โครงข่ายประสาทเทียม (Medsker, L. et al., 1993)

McKim, R. et al. (1996) ได้เสนอวิธีทดสอบ (Test) ประสิทธิภาพโครงข่ายอยู่ 2 วิธี วิธีแรก เมื่อสอนโครงข่ายแล้ว (Trained) จึงทดสอบ (Test) โครงข่าย ด้วยการป้อนตัวอย่างข้อมูลและผลลัพธ์เพื่อให้โครงข่ายที่ถูกสอนแล้ว (Trained) ประมวลผลเช่นเดียวกับกระบวนการสอน หรือเรียนรู้ (Training) อีกครั้งหนึ่ง (โดยใช้ค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าเบี่ยงเบน (Bias) สุดท้ายภายใต้เงื่อนไข หรือเกณฑ์ที่ใช้ในการยุติความรู้) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลกับผลลัพธ์จริง ถ้าค่าคลาดเคลื่อนระหว่างผลลัพธ์ที่ประมวลผลได้กับผลลัพธ์จริงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้แสดงว่าโครงข่ายดังกล่าวสามารถใช้งานได้ ส่วนอีกวิธีหนึ่งให้การสอน (Training) และการทดสอบ (Testing) ทำควบคู่กัน โดยตั้งเงื่อนไขว่า เมื่อค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการสอน (Training) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จะหยุดสอนโครงข่าย และจะป้อนชุดตัวอย่างเพื่อทดสอบโครงข่าย เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ประมวลผลได้กับผลลัพธ์จริงเพื่อตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนกับเกณฑ์ยอมรับ โดยจะต้องกระทำซ้ำ (Iteration) จนกระทั่งผลรวมของผลต่างกำลังสองระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของโครงข่ายของทั้งสองกลุ่มตัวอย่างต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้

2.4.10 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (Mean Square Error)

ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของ Network เป็นค่าผลรวมของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสองหรือเรียกว่า Least Mean Square error (LMS) ที่เกิดจากการ Train network แบบ Supervise Learning การเรียนรู้ต้องมีการเตรียมชุดของข้อมูลให้กับ Network เพื่อใช้ในการปรับพฤติกรรมระบบโดยจัดเตรียมข้อมูลเป็นชุดๆ ดังสมการ (2 – 6)

$$\{p_1, t_1\}, \{p_2, t_2\}, \{p_3, t_3\}, \dots, \{p_Q, t_Q\} \quad (2-6)$$

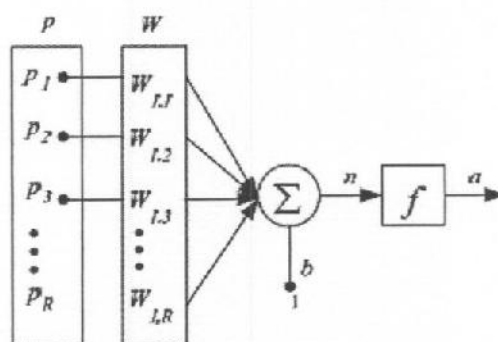
เมื่อ p_Q เป็น Input ของ Network t_Q เป็นค่าเป้าหมายที่ต้องการของ Output network จะรับค่า Input แล้วให้ค่า Output ออกมาเพื่อเปรียบเทียบกับค่าของค่าเป้าหมายที่กำหนดให้เดิม ค่าผิดพลาดที่ได้คำนวณจาก Output ของ Network ลบด้วยค่าเป้าหมาย แต่เราต้องการลดผลรวมค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดให้น้อยที่สุด ดังสมการ (2 – 7)

$$MSE = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q e(k)^2 = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q (t(k) - a(k))^2 \quad (2-7)$$

เมื่อ a เป็นค่า Output ของ Network

2.4.11 รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม (Neuron Network Modeling)

โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้ ส่วนแรกเป็นส่วนของตัวแปรนำเข้า (Input) ของโครงข่าย (network) แทนด้วยสัญลักษณ์ตัวอักษร P ซึ่งจะอยู่ในรูปของเวกเตอร์ โดย Input แต่ละตัวจะมีค่าน้ำหนัก (Weight) ประจำ Input แทนด้วยอักษรตัว W ผลคูณ ที่เกิดจากการคูณค่า Weight กับค่า Input แต่ละค่าจะนำมารวมกัน (Summing) ณ จุดรวมสัญญาณ จากนั้นจะนำผลคูณที่ได้ทั้งหมดมารวมกับค่าของไบอัส (Bias) ซึ่งแทนด้วยตัวอักษร b แล้วส่ง ผลรวมที่ได้ผ่านไปยังชั้นถ่ายโอน (Transfer Function) แทนด้วยสัญลักษณ์ f และออกไปส่วน ชั้นส่งออก (Output) ของระบบ ดังแสดงได้ในภาพที่ 2.13



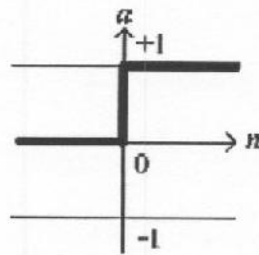
ภาพที่ 2.13 ส่วนประกอบของของ Neural (ธวัช เกษสถิตย์, 2549)

จากภาพที่ 2.13 Output ของ neural สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (2-8)

$$a = f(Wp + b) \quad (2-8)$$

2.4.12 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Functions)

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Functions) ที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) นิยมใช้อยู่สามรูปแบบ ได้แก่ ฟังก์ชันถ่ายโอนฮาร์ดลิมิต (Hard Limit Transfer Function) ฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงเส้น (Linear Transfer Function) และฟังก์ชันถ่ายโอนลอจิสติกโหมด (Log sigmoid Transfer Function) ฟังก์ชันถ่ายโอนฮาร์ดลิมิต (Hard Limit Transfer Function) แสดงใน ภาพที่ 2.14 จะกำหนด ค่า Output ของ Neural เป็นดังนี้ ถ้า Input (n) ของ Neural มีค่าน้อยกว่า 0 ค่า Output (a) ที่ได้จะมีค่าเป็น 0 และถ้า Input (n) มีค่าเท่ากับ 0 หรือมากกว่า 0 ค่า Output จะมีค่าเป็น 1

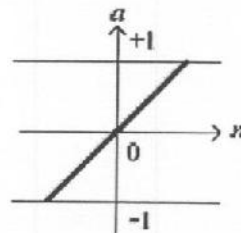


ภาพที่ 2.14 สัญลักษณ์ Hard Limit Transfer Function (ธวัช เกษสติดย์, 2549)

จากภาพที่ 2.14 Output ของ neural สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (2-9)

$$a = \begin{cases} 1, & \text{if } n \geq 0 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2-9)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงเส้น (Linear Transfer Function) หรือฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ linear ใช้งานเพื่อการประมาณค่าที่เป็นแบบเชิงเส้น

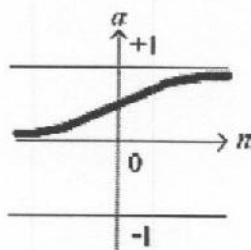


ภาพที่ 2.15 สัญลักษณ์ Linear Transfer Function (ธวัช เกษสติดย์, 2549)

จากภาพที่ 2.15 Output ของ neural สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ(2-10)

$$a = \begin{cases} n, & \text{if } n > 0 \\ 0, & \text{if } n = 0 \\ -n, & \text{if } n < 0 \end{cases} \quad (2-10)$$

ฟังก์ชันถ่ายโอนลอจิสติก (Log Sigmoid Transfer Function) สามารถรับ Input ค่าต่างๆ ได้ทั้งค่าที่เป็นบวกและค่าที่เป็นลบ และให้ Output ในย่าน 0 ถึง 1 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Log Sigmoid ใช้ใน Back propagation Network ดังแสดงในภาพที่ 2.16



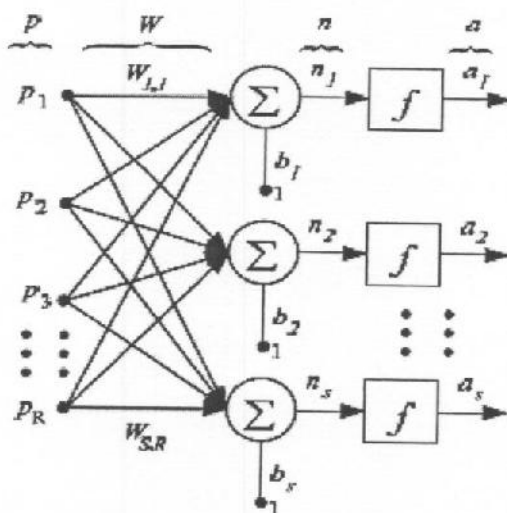
ภาพที่ 2.16 แสดงสัญลักษณ์ Log Sigmoid Transfer Function (ธวัช เกษสถิตย์, 2549)

จากภาพที่ 2.16 Output ของ neural สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (2-11)

$$a = \frac{1}{1 + \exp(-n)} \quad (2-11)$$

2.4.13 ชั้นของโครงข่าย (Neural Layer)

ชั้นของโครงข่าย (Neural layer) ประกอบด้วยชั้นมากกว่าหนึ่งชั้น ในแต่ละชั้นของโครงข่าย จะประกอบไปด้วยโครงข่ายหลายๆตัวได้ แต่โครงข่ายหนึ่งชั้นนั้นจะประกอบด้วย Input, Weight และ Bias ผลที่ได้จากการคูณระหว่าง Weight กับ Input แต่ละตัวจะนำมารวมกับค่า Bias ในชั้น หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่รวมแล้วเข้าฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) และส่งไปสู่ชั้นถัดไป ตัวอย่างโครงข่ายแบบชั้นเดียวประกอบด้วยจำนวน Neural หลายๆ ตัว แสดงในภาพที่ 2.17 ในที่นี้ Neural จะมี Input จำนวน R ตัว และมีจำนวนของ Neural จำนวน S ตัว

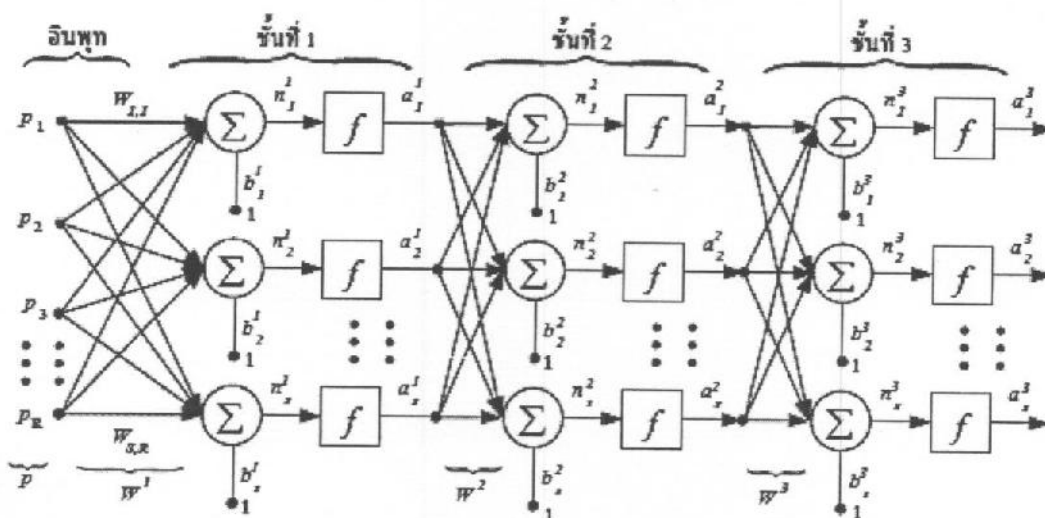


ภาพที่ 2.17 แสดงโครงข่าย (Neural) แบบชั้นเดียว (ธวัช เกษสถิตย์, 2549)

จากภาพที่ 2.17 Output ของ Neural สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (2-12)

$$a = f(Wp + b) \quad (2-12)$$

นิวรอนชนิดหลายชั้น (Multiple Layers of Neurons) ในแต่ละชั้นจะมี Weight Matrix (W), มี Bias vector (b) และมี Vector Output (a) ตัวอย่างของ Network แบบสามชั้นแสดงตามภาพที่ 2.18 ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 รวมกันเรียกว่า ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ส่วนชั้นที่ 3 เรียกว่า ชั้น Output (Output Layer)



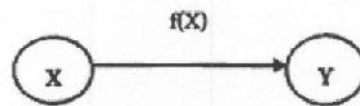
ภาพที่ 2.18 นิวรอนแบบหลายชั้น (ธวัช เกษสิทธิ์, 2549)

จากภาพที่ 2.18 Output ของ Neural สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (2-13)

$$a = f(w^3 f(w^2 f(w^1 p + b^1) + b^2) + b^3) \quad (2-13)$$

2.4.14 ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และหน่วยของชั้นซ่อน (Hidden Layer Node)

ชั้นซ่อน (Hidden layer) คือชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นรับข้อมูลนำเข้า (Input) และชั้นแสดงผล (Output) ชั้นซ่อน (Hidden layer) ประกอบด้วยหน่วยของชั้นซ่อน (Hidden node) ซึ่งจะช่วยให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการรู้จำสูงขึ้น และยังแก้ปัญหาเอ็กลูซิฟเอร์ (Exclusive or: XOR) ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ไม่มีควมสัมพันธ์เชิงเส้นตรงดังแสดงในภาพที่ 2.19 (ชาญชัย วราธนสิน, 2544) โดยเป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่มีชั้นซ่อน

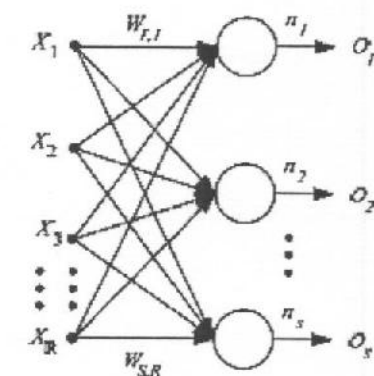


ภาพที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y (ชาญชัย วราชนสิน, 2544)

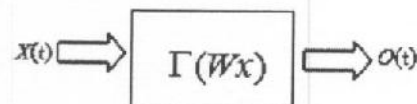
จากภาพที่ 2.19 เมื่อ X และ Y เป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ตามลำดับ และ $f(X)$ เป็นฟังก์ชันการแปลงค่า X ไปเป็น Y ในกรณีของ X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearly Dependence) สามารถจะคำนวณฟังก์ชันแปลงค่า $f(X)$ ได้ ตัวอย่างเช่น เมื่อกำหนดให้ $a_1 = \{0,1\}$ และ $a_2 = \{1,0\}$ จะได้ $X = \{a_1, a_2\}$ และ $Y = \{1,1\}$ ดังนั้นสามารถหาฟังก์ชันแปลงได้ดังนี้ $X \cdot f(X) = Y \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ จะได้ว่าฟังก์ชันแปลง $f(X) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ ในทางตรงกันข้าม ถ้าตัวแปร X ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearly Independence) ก็จะไม่สามารถหาฟังก์ชันการแปลง $f(X)$ ได้ ตัวอย่างเช่น เมื่อกำหนดให้ $a_1 = \{0,0\}$ และ $a_2 = \{1,1\}$ จะได้ $X = \{a_1, a_2\} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$ ซึ่งในกรณีนี้จะไม่สามารถหาฟังก์ชันแปลงที่สอดคล้องกับ Y ได้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มชั้นซ่อนเข้าไปก็สามารถที่จะแก้ปัญหาที่เป็นความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นตรงได้

2.4.15 โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed forward Network)

พิจารณาส่วนต่างๆ ของ Feed forward Network แสดงตามภาพที่ 2.20 โดยมีจำนวนของ หน่วยย่อย (Node) จำนวน S ตัวและมีจำนวน Input (R) Input แทนสมการ Output และ Input ดังนี้



(ก) การต่อเน็ตเวิร์ค



(ข) บล็อกไดอะแกรม

ภาพที่ 2.20 Neural Network Feed Forward Network แบบชั้นเดียว (ธวัช เกษสถิตย์, 2549)

$$O = [O_1, O_2, \dots, O_s]^T \quad \text{เป็น Output Vector} \quad (2-14)$$

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_R]^T \quad \text{เป็น Input Vector}$$

Weight w_{ij} ของ Neural ตัวที่ i ต่อกับ Input ตัวที่ j ดังนั้นสามารถเขียนสมการของ Neural ตัวที่ i ได้ดังสมการ (2-15)

$$net_i = \sum_{j=1}^R w_{ij} x_j, \quad \text{สำหรับ } i = 1, 2, \dots, S \quad (2-15)$$

การถ่ายโอนที่ไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อป้อน Input (P) จำนวน R ตัว Output ที่ได้ในแต่ละตัวของ Neural จำนวน S ตัว ผลของการ Mapping ที่ได้ในการถ่ายโอนของเน็ตเวิร์กดังสมการ (2-16)

$$o_i = f(w_i'x), \quad \text{สำหรับ } i = 1, 2, \dots, S \quad (2-16)$$

และค่า Weight Vector ของ Output แต่ละค่าเป็นดังสมการ (2-17)

$$w_i \triangleq [w_{i1} w_{i2} \dots w_{iR}]^T \quad (2-17)$$

เมื่อ Γ เป็น Matrix Operator แบบไม่เป็นเชิงเส้น ผลการ Mapping ของ Input Space (P) สู่อะ Output Space (a) ของ Network จะเขียนได้ดังสมการ (2-18)

$$o = \Gamma[Wx] \quad (2-18)$$

เมื่อ W เป็น Weight Matrix หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คอนเน็คชันเมตริก (Connection Matrix) แสดงได้ดังสมการ (2-19) และ (2-20)

$$W \triangleq \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1R} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2R} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{s1} & w_{s2} & \dots & w_{sR} \end{bmatrix} \quad (2-19)$$

$$\Gamma[\cdot] \triangleq \begin{bmatrix} f(\cdot) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & f(\cdot) & \dots & 0 \\ \vdots & & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & f(\cdot) \end{bmatrix} \quad (2-20)$$

กรณีที่ Feed Forward ไม่มีการหน่วงเวลาระหว่าง Input และ Output สามารถเขียนสมการในช่วง
ขณะนี้ได้ดังสมการ (2 – 21)

$$o(t) = \Gamma[Wx(t)] \quad (2-21)$$

2.4.16 หลักการแพร่กระจายย้อนกลับ (Back propagation)

เทคนิคแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back propagation) เป็นขั้นตอนวิธีของการเรียนรู้ของ Network วิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในโครงข่ายแบบหลายชั้น (Multilayer Perceptron) หรือที่เรียกอีกอย่างว่า Widrow-Hoff learning rule ซึ่งโครงข่ายจะทำการปรับค่าของน้ำหนัก (Weight) หลังจากใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับสอน (Train) ให้แก่โครงข่ายในแต่ละครั้งแล้วเสร็จ ค่า Output ของ Network จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง (Target) แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด (Error) ซึ่งค่าความผิดพลาด (Error) นี้ จะถูกส่งกลับเข้าสู่ Network เพื่อใช้ปรับปรุงค่าน้ำหนัก (Weight) ต่อไป

เทคนิคแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back propagation) เป็นขั้นตอนการสอน (Train) เซิงระบบ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ โดยแบบที่ง่ายที่สุดเพื่อการปรับค่าของ Back propagation learning ค่าของน้ำหนัก (weight) และค่า (Bias) จะถูกลดค่าลงอย่างรวดเร็วและให้มากที่สุด ค่า Gradient จะมีค่าเป็นลบ และในแต่ละรอบของการคำนวณจะได้ดังสมการ (2 – 22)

$$X_{k+1} = X_k - \alpha_k g_k \quad (2-22)$$

ในที่นี้ X_{k+1} เป็นค่าน้ำหนัก (Weight) ตัวใหม่ X_k เป็นค่าของน้ำหนัก (Weight) ตัวเก่า α_k เป็นค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) และ g_k เป็นค่า Gradient

การปรับปรุงค่า Gradient มีอยู่ 2 วิธีที่แตกต่างกัน ได้แก่แบบ Incremental mode และแบบ Batch mode ในโหมด Incremental mode นั้น ค่าของ Gradient จะมีการคำนวณค่าและจะ

ปรับค่าของ Weight หลังจากที่มีการป้อน Input แต่ละค่าแล้วเสร็จ ส่วนในโหมด Batch mode นั้น จะต้องป้อน Input ทั้งหมดให้กับ Network ก่อนถึงจะมีการปรับค่าของ Weight และค่าของ Bias

2.4.17 โครงข่ายประสาทเทียมและการพยากรณ์ (Neural network & Prediction)

รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม (Pattern of network) ที่นำมาใช้งานเพื่อการทำนายชุดข้อมูลนั้น โดยหลักแล้วจะเป็นวิธีที่แก้ปัญหอย่างเป็นขั้นเป็นตอน โดยโครงข่ายจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าหรือปรับค่าที่ได้ของระบบเพื่อให้ได้ค่าของ Output ไปสู่ค่าหรือให้ใกล้เคียงกับค่าของเป้าหมาย (Target) มากที่สุด สำหรับรูปแบบของ Network นั้น ก่อนทำการสร้างหรือออกแบบจะต้องทำความเข้าใจ Dynamic ของระบบ ข้อมูลและเป้าหมายที่ต้องการของผู้ออกแบบ กรณีที่มีการป้อนข้อมูลเป็นเซตหรือกลุ่ม จำนวนของข้อมูลในแต่ละกลุ่มผู้ออกแบบสามารถกำหนดเองได้ โดยจำนวนและกลุ่มของข้อมูลจะมีผลโดยตรงต่อเวลาที่ใช้ Train และค่าความผิดพลาด (Error) ของระบบ ตัวอย่างในกรณีที่ต้องการ Train ข้อมูลที่เป็นกลุ่มหรือเป็นเซตๆ ละ 4 ข้อมูล และมี Output จำนวน 1 Output สามารถเขียนความสัมพันธ์ของข้อมูล Input และ Output ที่ได้ดังสมการ (2-23) (2-24) (2-25) และ (2-26)

$$y(1) = F(p(1), p(2), p(3), p(4)) \quad (2-23)$$

$$y(2) = F(p(2), p(3), p(4), p(5)) \quad (2-24)$$

$$y(3) = F(p(3), p(4), p(5), p(6)) \quad (2-25)$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$y(n) = F(p(n), p(n+1), p(n+2), p(n+3)) \quad (2-26)$$

เมื่อ

y เป็น Output ของเน็ตเวิร์ค

p เป็น Input ของเน็ตเวิร์ค

n เป็นลำดับที่ของข้อมูล

และค่าที่เป็นเป้าหมายของระบบเป็น ดังสมการ (2-27) (2-28) และ (2-29)

$$T(1) = p(5) \quad (2-27)$$

$$T(2) = p(6) \quad (2-28)$$

$$\vdots$$

$$T(n) = p(n+1) \quad (2-29)$$

เมื่อ

T เป็นค่าเป้าหมาย (Target)

p เป็น Input ของเน็ตเวิร์ค

n เป็นลำดับของข้อมูล

หลังจากป้อนข้อมูลเข้าระบบเพื่อทำการ Train แล้ว Neural network จะทำการปรับค่าของ Weight เพื่อให้ได้ค่าของ Output เข้าใกล้ค่าเป้าหมายให้มากที่สุด ดังนั้นค่าของ Weight จะเป็นดังสมการ (2-30)

$$\Delta w_{ij} = k \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (2-30)$$

เมื่อ k เป็นค่า Acceleration และ เป็นผลรวมยกกำลังสองของค่าที่เกิดจากค่าเป้าหมายลบด้วย ค่าของ Output ในกรณีที่มีจำนวนข้อมูลทั้งหมดจำนวน R ข้อมูล ค่าความผิดพลาดของระบบเป็น ดังสมการ (2-31)

$$E = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^R (y_n - T_n)^2 \quad (2-31)$$

2.4.18 การวัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์

เป้าหมายของการพยากรณ์ คือการทำให้ค่าผิดพลาดในการพยากรณ์ต่ำที่สุดโดยวัดได้จากวิธีต่างๆ ดังนี้

2.4.18.1 ร้อยละของค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) แสดงดังสมการ (2-32)

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{E_i}{y_i} * 100 \quad (2-32)$$

2.4.18.2 รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) แสดงดังสมการ (2-33)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i)^2} \quad (2-33)$$

2.4.18.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) แสดงดังสมการ (2 – 34)

$$MSE = \sum_{i=1}^N (E_i)^2 / N \quad (2-34)$$

2.4.18.4 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Error: ME) แสดงดังสมการ (2 – 35)

$$ME = \sum_{i=1}^N (E_i) / N \quad (2-35)$$

2.4.18.5 ค่าร้อยละของค่าความคลาดเคลื่อน (Percentage Error: PE) แสดงดังสมการ (2 – 36)

$$PE = \left(\frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right) 100 \quad (2-36)$$

2.4.18.6 ร้อยละของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) แสดงดังสมการ (2 – 37)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (2-37)$$

โดยที่

N หมายถึง จำนวนของข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการพยากรณ์

E_i หมายถึง ผลต่างระหว่าง ค่าจริงของข้อมูลตัวที่ i ได้ กับ ค่าของข้อมูลตัวที่ i ซึ่งได้มาจากการพยากรณ์

A_t หมายถึง ค่าจริงของข้อมูลตัวที่ t

F_t หมายถึง ค่าของข้อมูลตัวที่ t ซึ่งได้มาจากการพยากรณ์

2.4.19 ประโยชน์และการประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เพื่อการใช้งาน

โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อีกในหลาย ๆ สาขา ประโยชน์ของโครงข่ายประสาทเทียมนั้น ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานในสาขาต่าง ๆ ดังนี้ (Howard Demuth and Mark, 1994)

- 2.4.19.1 งานด้านอวกาศ ใช้งานในระบบนำร่องนักบิน ระบบจำลองและควบคุมการบิน
- 2.4.19.2 งานด้านยานยนต์ ใช้งานระบบนำทางอัตโนมัติ
- 2.4.19.3 งานด้านการธนาคาร ใช้งานด้านการตรวจสอบการอ่านเอกสารประมาณการเครดิต
- 2.4.19.4 งานด้านการเงิน ใช้งานด้านสินเชื่อ วิเคราะห์งานเครดิต พยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยน
- 2.4.19.5 งานด้านบันเทิง ใช้งาน Animation, Special effects
- 2.4.19.6 งานด้านอุตสาหกรรม ใช้ในงานทำนายค่าต่างๆ ในกระบวนการผลิต
- 2.4.19.7 งานด้านประกันภัย ประยุกต์ใช้ในงานประมาณเพื่อลดต้นทุนต่ำสุดประมาณการกรมธรรม์

2.5 บรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

การทบทวนบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำนายหรือพยากรณ์ค่าต่างๆ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network for prediction) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากงานวิจัยและบรรณกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยจากการศึกษาพบว่า มีผู้ที่ได้ทำการศึกษาวิจัย เช่น Chegini, G. R. et al. (2008) ใช้โครงข่ายประสาทเทียมโดยการใช้เทคนิค Back propagation ในการทำนายค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตน้ำส้มผอง และผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยวัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้คือ เพื่อใช้ในการทำนายค่า คุณสมบัติต่างๆของน้ำส้มผอง และ ค่าปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต และการประเมินผลกระทบของค่าปัจจัยต่างๆที่มีต่อ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural network Model) โดยใช้โครงข่ายที่มีโครงสร้างคือ 3-14-10-7 จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าค่าตัวแปรต่างๆที่จะนำมาใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมมีความสำคัญต่อความแม่นยำของการทำนายผล และการใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาใช้งานในการทำนายผลได้ดีกว่าวิธีการทางคณิตศาสตร์ มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Olagide, J. O. et al. (2007) ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในการทำนายผลผลิตของน้ำมันถั่วลิสง ที่ได้จากการใช้เครื่องอัดแบบ

ไฮโดรลิกโดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการบีบอัดเช่น ปริมาณความชื้น ระยะเวลาในการอัด ค่าแรงกดต่างๆ) เวลาในการให้ความร้อน อุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อน โดยใช้เทคนิค Back Propagation แบบ Levenberg –Marquadt และใช้ Tansigmod Function เป็น Transfer Function ในชั้นซ่อน ซึ่งจากการศึกษาโดยการเปรียบเทียบกับวิธีทางสถิติ พบว่าการใช้ โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ผลผลิตมีความแม่นยำกว่าวิธีการทางสถิติ

ในขณะที่งานวิจัยของ Shankar และ Bandyopadhyay (2007) ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้เทคนิค Back propagation ในการทำนายคุณสมบัติของการกระบวนการ Extrude โดยเครื่อง Extrude แบบ Screw เดียว เทียบกับวิธี Respond Surface Methodology (RSM) โดยมีโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมมี 1 Hidden layer และใช้ Transfer Function แบบ Logistic Sigmoid เป็น Transfer Function โดยมีข้อมูลปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ได้แก่ Barrel Temperature, Screw Speed, Feed Moisture Content and Feed Composition, Percentage of Fish Powder in the Feed เป็นต้น ผลการทดลองการทำนายคุณสมบัติของการ Extrude โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมพบว่าผลการทำนายจะให้ความใกล้เคียงกับข้อมูลการทดสอบจริง มากกว่าวิธีการ Respond Surface Methodology (RSM) โดยวิธี โครงข่ายประสาทเทียม จะให้ค่า Mean Square Error (MSE) ที่น้อยกว่าวิธี RSM จากการวิจัยพบว่าวิธีการทดลองแบบใช้โครงข่ายประสาทเทียม ให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับของจริงมากกว่าการทดลองที่ใช้วิธี Respond Surface Methodology (RSM) ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยดังกล่าว ทำให้ทราบว่า การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลหรือการพยากรณ์นั้น จะให้ผลที่แม่นยำกว่าวิธีการทางสถิติและคณิตศาสตร์ โดยให้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองเป็นอย่างมาก ดังจะเห็นได้จากการวิจัยของ Cherian, R.P. et al. (2000) ที่ได้พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายการเลือกผงโลหะ และตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องในการผลิต Powder Metallurgy (PM) โดย โครงข่ายประสาทเทียมมีข้อมูล 200 ข้อมูลในการ Training โครงข่ายโดยข้อมูลที่ได้นำมาจาก Computer Aided Selection of Iron Powder (CASIP) โครงข่ายประสาทเทียมที่ศึกษานี้กำหนดให้ Input 3 Input ที่เป็นคุณสมบัติทางกล ได้แก่ Tensile Strength, Elongation, and Hardness และกำหนดให้ Output ที่ 6 ตัว ได้แก่ Sintered Density, Compaction Pressure, Sintering Temperature, Sintering Atmosphere and Percent Carbon, Copper additions ซึ่งจากการศึกษาได้บอกไว้ว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแตกต่างไปจากวิธีทางสถิติอื่นๆ คือไม่จำเป็นต้องมีการสร้างสมมุติฐานเกี่ยวกับรูปแบบการทำงานที่เกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ และผลการวิจัยพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการทำนายที่มีความแม่นยำสูงและใกล้เคียงกับความเป็นจริง สอดคล้องกับการวิจัยของ สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์ (2552) ที่ได้ประยุกต์ใช้วิธีการประเมินค่าสัมประสิทธิ์แบบโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลผลิตอ้อย โดยใช้แบบจำลองของ

โครงข่ายทั้งหมด 16 รูปแบบ ซึ่งแบบจำลองแต่ละรูปแบบมีค่าร้อยละของค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 20 ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าการทำนายที่ดี และผลที่ได้จากการทำนายค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง ในขณะที่ยกการศึกษาของ Paisan Kittisupakorn et al. (2009) ได้ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายเพื่อช่วยควบคุมกระบวนการ Pickling Process ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่มีตัวแปรที่แปรผันค่อนข้างสูง ซึ่งยากต่อการที่ใช้ตัวควบคุมแบบธรรมดา การศึกษาวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multi – layer Feed Forward Neural Network โดยการ Train ระบบใช้วิธี Levenberg-Marquard ใช้ Sigmoidal Function ในเป็นฟังก์ชันกระตุ้น โดยการศึกษาโครงข่ายประสาทเทียมเทียบกับการควบคุมแบบ PI Control จากการศึกษาพบว่าวิธี โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี PI Control และผลจากการทดลองทำให้ทราบว่า วิธีโครงข่ายประสาทเทียมมีแนวโน้มสูงที่จะสามารถใช้งานได้กับกระบวนการที่มีความแปรผันของตัวแปรได้ดี

ในทำนองเดียวกัน Hidayet Oguz et al. (2010) ก็ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างผลของการทดลองและการทำนายค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดลองกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่างชนิดกัน ได้แก่ Diesel 100 % B100 B20 E5-B20 E10-B20 และ E15-B20 โดยค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ทำการศึกษาการทำนายได้แก่ค่า Torque, Fuel Consumption, และ Specific Fuel Consumption. โดยการใช้ Back Propagation Algorithm ในการทดลอง และใช้ Tangent – Sigmoid (TANSIG) เป็น Transfer Function โดยใช้ชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด 96 ชุด โดยแบ่งข้อมูลที่ใช้ในการ Train และ Test อยู่ที่ร้อยละ 74 และ 26 ตามลำดับ โครงสร้างของ Neural Network ที่ใช้คือ 2-28-4 โดยให้ Input คือ รอบของเครื่องยนต์ (Rev,1/min) และชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ และ Output คือ Torque, Fuel Consumption, และ Specific Fuel Consumption ผลการทำนายพบว่าค่าการทำนายให้ความแม่นยำสูง โดยผลการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองเป็นอย่างมาก รวมทั้งจากการศึกษาของ Rahman, M. M. และ Bala, B. K. (2010) ที่ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้เทคนิค Back propagation ในการทำนายผลผลิตของการผลิตปอ โดยโครงสร้างของ ANN เป็นแบบ 4 layer มี Input 6 ตัว ได้แก่ Julian day, Solar Radiation, Maximum Temperature, Minimum Temperature, Rainfall, and Type of Biomass และมี Output คือ Plant dry โดยมี 2 Hidden Layer และข้อมูลที่ใช้ในการ Training 2 ชุด ผลการทำนายพบว่าสามารถทำนายผลผลิตได้อย่างแม่นยำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลผลิตต่างๆจะมีความแม่นยำก็ต่อเมื่อมีการ Train ระบบที่เหมาะสม ในขณะที่ Supachai Pathumnakul et al. (2009) ก็ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายอัตราการผลิต และระดับฝุ่นในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งจากการวิจัยพบว่าการทำนายค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องในการผลิตอาหารสัตว์

มีความแม่นยำ ซึ่งจะทำให้งานในการเลือกสูตรอาหารในการผลิต และยังสามารถคาดการณ์ถึงปัญหาก่อนที่จะเริ่มมีการผลิตได้

รวมทั้งการศึกษาวิจัยของ Adnan topuz (2010) ที่ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายพฤติกรรมกรอบแห้งของผลิตภัณฑ์การเกษตร ได้แก่ Hazelnut Bean และ Chickpea โดยใช้ฐานข้อมูลการอบแห้งที่ได้จากการทดลองในการปฏิบัติการ Fluidized Bed Drying System ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยใช้ผลการทดลองที่ได้จากผลผลิตทั้ง 3 ชนิดใช้ในการ Train ระบบของ Neural โดยการใช้ Back Propagation Algorithm ผลการทำนายพบที่มีความสอดคล้องกันระหว่างผลการทำนาย ซึ่งผลจากการทำนายพบว่าค่า Mean Relative Error (MRE) และค่า Mean Absolute Error (MAE) เมื่อได้ข้อมูลไม่ทราบจำนวนใช้กับเครือข่ายได้ 3.92 และ 0.033 ตามลำดับซึ่งผลการทำนายมีความแม่นยำเป็นที่น่าพอใจมาก และจากการศึกษาวิจัยของ Necla Kara Togun and Sedat (2010) ได้ทำการศึกษการทำนายค่า Torque และค่า Brake Specific Fuel Consumption ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Gasoline Engine) ด้วยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) แบบ Feed Forward Back Propagation โดยกำหนดให้ Input ได้แก่ ค่า Spark Advance, Throttle Position, และ Engine Speed และกำหนดให้ Torque และค่า Brake Specific Fuel Consumption เป็น Output ของโครงข่าย โดยกำหนดให้ใช้ Leaning Algorithm แบบ Levanberg – Marquardt (LM) ซึ่งมี Active Function แบบ Logistic Sigmoid (logsig) จากการทดลองพบว่าค่าโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายค่า Torque คือ $3 - 13 - 1$ และสรุปได้ว่าค่า Torque และค่า Brake Specific Fuel Consumption ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Gasoline Engine) สามารถทำนายได้จากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมได้อย่างแม่นยำ

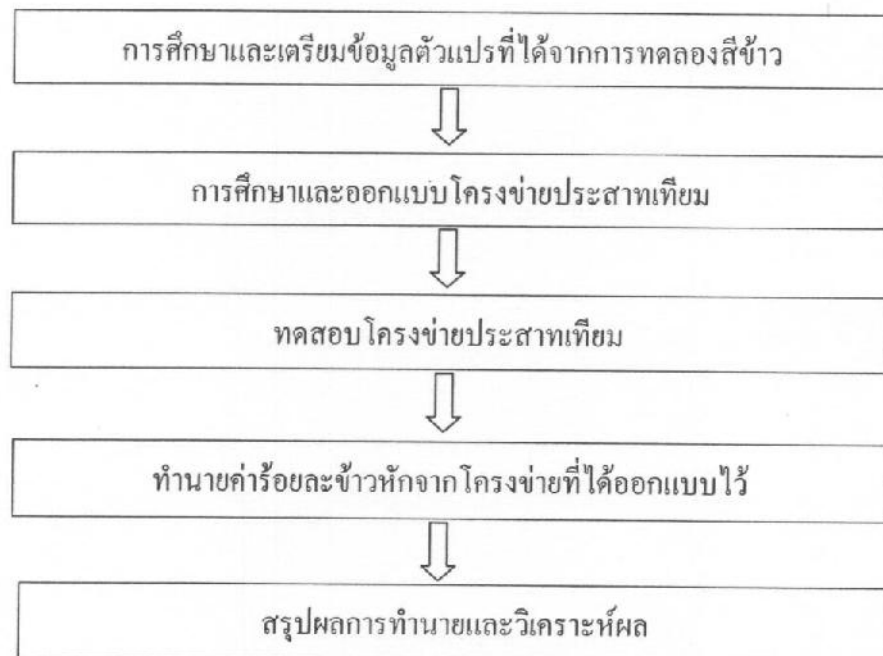
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงและให้ความเที่ยงตรงแม่นยำในการทำนายผลต่างๆ ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาระบบการทำนายค่าผลผลิตที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก เนื่องจากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กนั้น เป็นกระบวนการที่มีตัวแปรต่างๆ เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมาก จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีแนวคิดที่จะนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้กับการทำนายการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก เพื่อเป็นการนำเทคนิคใหม่ๆ เข้ามาช่วยในการพัฒนากระบวนการผลิตข้าวสารจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยและพัฒนาระบบการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยการใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) แบบโครงสร้างหลายชั้น (Multilayer Perceptron) ชนิดมีผู้สอน (Supervised Learning) แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed - Forward) ด้วยเทคนิควิธีการแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการทำนาย โดยมีการกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

- (1) การศึกษาและเตรียมข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดข้าวหักในกระบวนการสีข้าว
- (2) ศึกษาและออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม
- (3) การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม
- (4) ทำนายค่าร้อยละข้าวหักโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ออกแบบไว้
- (5) สรุปผลการทำนายและวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนในการวิจัย

3.1 การศึกษาและเตรียมข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

เป็นการศึกษาและเตรียมตัวแปรและเงื่อนไขต่างๆ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากการปรับตั้งค่าเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก การทดลองจะทำการสีข้าวเพื่อเก็บข้อมูลที่นำไปใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแนวนอนลูกเดียว (Single Horizontal Abrasive) โดยใช้ข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 ที่ความชื้นร้อยละ 14 ± 0.5 ในการทดลอง และทำการสีข้าวโดย มีตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ขนาดพื้นที่ที่หน้าตัดช่องปล่อยข้าวเปลือก ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว ซึ่งตัวแปรดังกล่าวล้วนมีผลต่อการแตกหักของข้าวสารในกระบวนการสีข้าว

การเก็บข้อมูลที่จะนำไปใช้กับโครงข่ายประสาทเทียม เป็นการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ให้กับเครื่องสีข้าวแล้วทำการทดลองสีข้าวเพื่อเก็บข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากตัวแปรทั้งหมดจะนำไปใช้ในการสอน (Train) ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ในการทำนายหาค่าร้อยละการแตกหักของเมล็ดข้าวสาร โดยมีขั้นตอนการศึกษาและเก็บข้อมูลดังนี้

3.1.1 การกำหนดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง

การกำหนดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง เป็นการกำหนดค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกที่จะใช้ในการทดลอง เพื่อให้ได้ความชื้นตามที่กำหนดไว้ เนื่องจากค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่เหมาะสมในการที่จะนำมาสีข้าวอยู่ที่ร้อยละ 13 – 15 (ธิติกานต์ บุญแข็ง และ สุขอังคณา ลี, 2549) การทดลองนี้จึงกำหนดให้ค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่จะใช้ในการทดลองเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 14 ± 0.5

โดยข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง เป็นข้าวเปลือกพันธุ์ดอกมะลิ 105 ที่มาจากแหล่งปลูกเดียวกัน โดยมีที่มาจาก สหกรณ์การเกษตร อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ผ่านการทำความสะอาดและลดความชื้นด้วยการตากแดด พันธุ์ข้าวดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 888 – 2532

โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา วิธีการดำเนินการ และค่าชี้ผลการศึกษาดังนี้

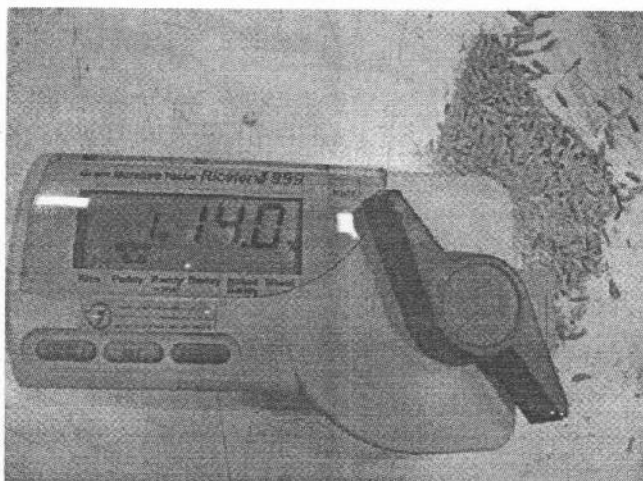
อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

- (1) ข้าวเปลือกพันธุ์ดอกมะลิ 105
- (2) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- (3) เครื่องวัดความชื้นแบบดิจิทัล ที่กระทรวงพาณิชย์ให้การรับรอง

วิธีการกำหนดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง มีขั้นตอนการ

ดำเนินการ

โดยสุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกที่จะใช้ในการทดลอง โดยสุ่มเก็บ 50 ชุดแล้วนำมาวัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบดิจิตอล เพื่อหาค่าความชื้นเฉลี่ยของเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง ให้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 14 ± 0.5 ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ถ้าความชื้นไม่ได้ให้นำข้าวเปลือกไปอบหรือตากแดด แล้วนำมาวัดใหม่จนกว่าจะได้ความชื้นตามต้องการ



ภาพที่ 3.2 การวัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบดิจิตอล

$$\text{ความชื้นข้าวเปลือก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบ} - \text{น้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบ}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนอบ}} \times 100 \quad (3-1)$$

คำชี้ผลการศึกษา :

(1) ค่าเฉลี่ยร้อยละของความชื้นข้าวเปลือก

3.1.2 การศึกษาและเก็บข้อมูลตัวแปรอัตราการเปิดพื้นที่หน้าตัดช่องปล่อยข้าวเปลือก

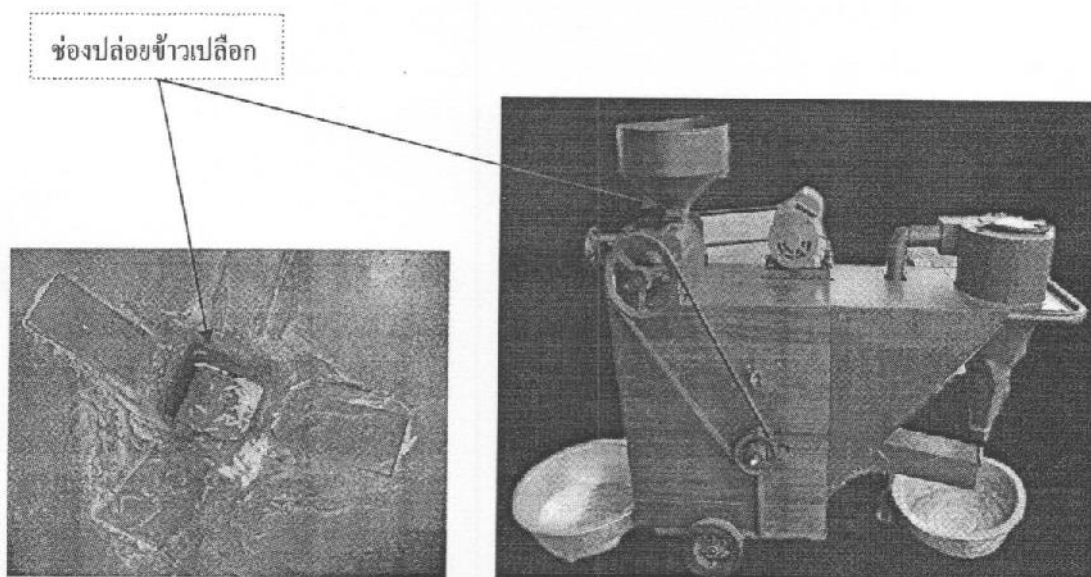
ช่องปล่อยข้าวเปลือกเป็นช่องที่ใช้ในการควบคุมการไหลของข้าวเปลือกเพื่อเข้าสู่ห้องกะเทาะและขัดข้าวเปลือก โดยช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองเป็นช่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งจากการศึกษาของ สุขอังคณา ติ (2547) ได้ทำการศึกษาดังอิทธิพลของขนาดการปรับช่องปล่อยข้าวเปลือกของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแกนนอนลูกเดียว (Single Horizontal Abrasive) ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด $2,116 \text{ mm}^2$ ต่อประสิทธิภาพการสีข้าวของเครื่องสีข้าวโดยใช้ข้าวคอกมะลิ 105 ในการทดลอง จากพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด $2,116 \text{ mm}^2$ ได้ทำการทดลองโดยการปรับพื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยข้าวเปลือกให้มีพื้นที่แตกต่างกัน เริ่มจาก 450 mm^2 675 mm^2

900 mm² 1,125 mm² 1,350 mm² 1,575 mm² 1,800 mm² และ 2,025 mm² เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่เหมาะสมกับปริมาตรของห้องชุด ผลการศึกษาวิจัยพบว่า ขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยข้าวที่ทำให้เครื่องสีข้าวมีประสิทธิภาพการสีสูงสุด คือ พื้นที่ 1,125 mm² ได้ประสิทธิภาพที่ร้อยละ 68.73

การศึกษาเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรของพื้นที่หน้าตัดช่องปล่อยข้าวเปลือก การวิจัยนี้จะทำการทดลองสีข้าวที่การตั้งค่าอัตราการปรับพื้นที่หน้าตัดช่องป้อนข้าวเปลือกอยู่ที่ 3 ระดับ โดยการเลือกค่าพื้นที่หน้าตัดตามที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้ว คือ 1,125 และเลือกค่าที่สูงกว่า และ ค่าที่ต่ำกว่า อย่างละ 1 ลำดับชั้น โดยการทดลองนี้จะคำนวณพื้นที่หน้าตัดที่กำหนดไว้เทียบเป็นร้อยละของพื้นที่หน้าตัดช่องปล่อยข้าวเปลือกทั้งหมด ซึ่งร้อยละของพื้นที่หน้าตัดที่ได้จะทำการประมาณค่าใกล้เคียงจำนวนเต็มสิบ พื้นที่หน้าตัดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่จะทำการทดลองสีข้าว ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยข้าวที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดพื้นที่หน้าตัดของ ช่องปล่อยข้าวเปลือก	ระดับที่ 1 (mm ²)	ระดับที่ 2 (mm ²)	ระดับที่ 3 (mm ²)
	900 หรือเทียบเป็น 40 %	1,125 หรือเทียบเป็น 50 %	1,350 หรือเทียบเป็น 60 %



ภาพที่ 3.3 ช่องปล่อยข้าวเปลือก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา : เวอร์เนีย

วิธีการในการปรับช่องขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องปล่อยข้าวเปลือกมีวิธีการดังต่อไปนี้

(1) ทำการวัดและคำนวณหาพื้นที่ของช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ต้องใช้ในการทดลอง เพื่อระบุตำแหน่งและทำสัญลักษณ์หรือเครื่องหมายไว้ในตำแหน่งที่ต้องการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก

(2) เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกตามตำแหน่งต่างๆที่ได้มีการตั้งค่าเอาไว้ในระหว่างการสีข้าว

(3) เก็บข้อมูลต่างๆที่ได้จากการสีข้าวด้วยการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกทั้ง 3 ค่า

3.1.3 การศึกษาและการเก็บข้อมูลตัวแปรของความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว

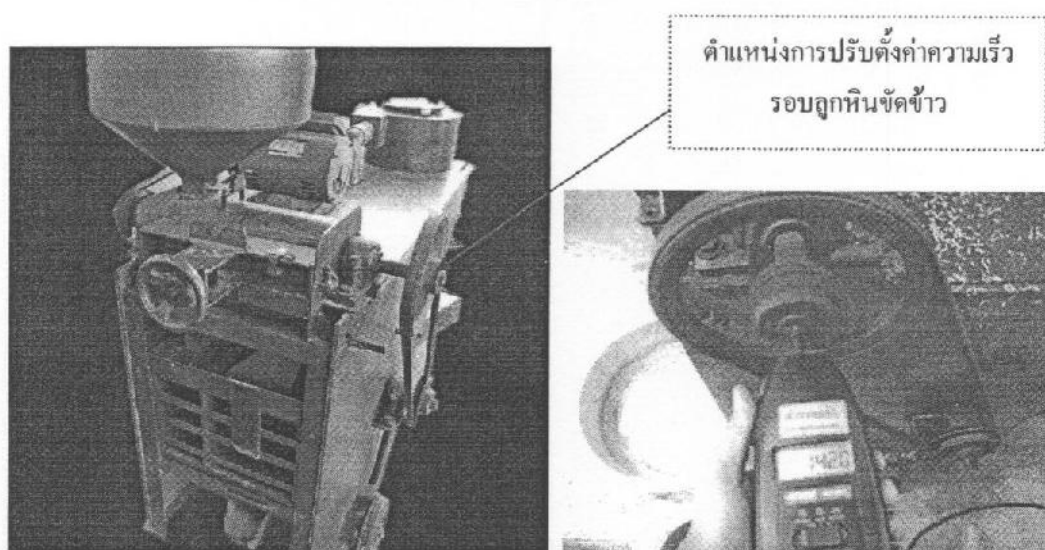
การกำหนดความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว เป็นการตั้งค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ต้นกำลัง ด้วยการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ (Inverter) ซึ่งใช้หลักการปรับค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าป้อนให้กับมอเตอร์ต้นกำลัง เมื่อความถี่กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลงความเร็วรอบของมอเตอร์ก็จะเปลี่ยนไป ส่งผลให้ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวปรับเปลี่ยนไปด้วยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์จึงเป็นการเพิ่มหรือลดความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในเครื่องสีข้าว

การศึกษาปัจจัยความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว สามารถทำได้โดย การกำหนดค่าความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว ที่ 3 ระดับ โดยการนำข้อมูลจากการศึกษาของ ธิติกานต์ บุญแข็ง (2549) ที่ได้มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสีหของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแกนนอนลูกเดียว (Single Horizontal Abrasive) ในการทดลองได้ทดสอบปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ระยะห่างระหว่างแท่งยางกับลูกหินขัดข้าวและความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว โดยทำการทดสอบลูกหินขัดข้าวที่นิยมใช้ในท้องตลาดทั่วไปและทดลองกับข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 โดยได้แบ่งช่วงระดับของปัจจัยในส่วนของระยะห่างระหว่างแท่งยางกับลูกหิน เป็น 5 ระดับได้แก่ 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 และ 1.9 mm และช่วงระดับความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวเป็น 5 ระดับได้แก่ 1,340 1,380 1,420, 1,460 และ 1,500 rpm โดยใช้ Two Way ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล จากผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการสีข้าวที่ให้ร้อยละข้าวหักเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,420 rpm และระยะห่างระหว่างแท่งยางกับลูกหินที่ 1.5 mm ซึ่งมีร้อยละของข้าวหักเฉลี่ยน้อยที่สุด คือร้อยละ 14.5

จากการศึกษาดังกล่าว จึงได้นำค่าที่ได้ตามที่ได้มีการศึกษาเอาไว้ คือ 1,420 rpm และเลือกค่าที่ต่ำกว่า และค่าที่สูงกว่า อย่างละ 1 ลำดับชั้นของการทดลอง ค่าระดับความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่จะทำการศึกษาในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ระดับความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในการทดลอง

ระดับความเร็วของลูกหิน ขัดข้าว	ระดับที่1 (rpm)	ระดับที่2 (rpm)	ระดับที่3 (rpm)
	1,380	1,420	1,460



ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งและการปรับตั้งค่าความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

- (1) มอเตอร์
- (2) อุปกรณ์ปรับความเร็วมอเตอร์ (Inverter)
- (3) เครื่องวัดความเร็วรอบ

วิธีการปรับตั้งความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว สามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบวัดตำแหน่งพูลเลย์ (Pulley) ของลูกหินขัดข้าว และปรับตั้งความเร็วรอบของมอเตอร์ให้ได้ตามค่าที่ต้องการ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- (1) นำเครื่องปรับค่าความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter) มาติดตั้งเข้ากับมอเตอร์ที่จะใช้ในการปรับความเร็วรอบ
- (2) ตั้งค่าความเร็วของมอเตอร์ที่จะใช้ในการทดลอง ที่เครื่องปรับความเร็วมอเตอร์
- (3) ทำการทดลองสีข้าวด้วยระดับความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวทั้ง 3 ระดับ
- (4) บันทึกผลการทดลอง

3.1.4 การศึกษาและเก็บข้อมูลตัวแปรของระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว

การกำหนดตัวแปรของระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว ทำได้โดยการทดลองสีข้าวเปลือกพันธุ์ดอกมะลิ 105 ที่การตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวและแท่งยางขัดข้าว ที่ 3 ระดับ สามารถทำได้ด้วยการเลือกค่าระยะห่างที่ระดับต่างๆ 3 ค่า โดยการนำข้อมูลจากการศึกษาของ ธิติกานต์ บุญแข็ง (2549) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความเร็วรอบและระยะห่างระหว่างยางขัดกับลูกหิน ที่ใช้ในการสีข้าวหอมมะลิ 105 โดยใช้ฟังก์ชัน Two Way ANOVA ในโปรแกรม Minitab Release 14 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน เป็น 5 ระดับ ได้แก่ 1.1 1.3 1.5 1.7 และ 1.9 mm ผลการทดลองพบว่า ที่สภาวะความเร็วรอบ 1,420 rpm และระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน 1.5 mm มีค่าร้อยละข้าวหักเฉลี่ยน้อยที่สุด คือร้อยละ 14.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

จากการศึกษาดังกล่าว จึงได้นำค่าที่ได้ตามที่มีการศึกษาไว้ คือ 1.5 mm และเลือกค่าที่ต่ำกว่า และค่าที่สูงกว่า อย่างละ 1 ลำดับชั้นมาใช้ในการทดลอง โดยค่าตัวแปรระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวและแท่งยางขัดข้าว ที่จะใช้ในการทดลองสีข้าว ดังแสดงในตารางที่ 3.3

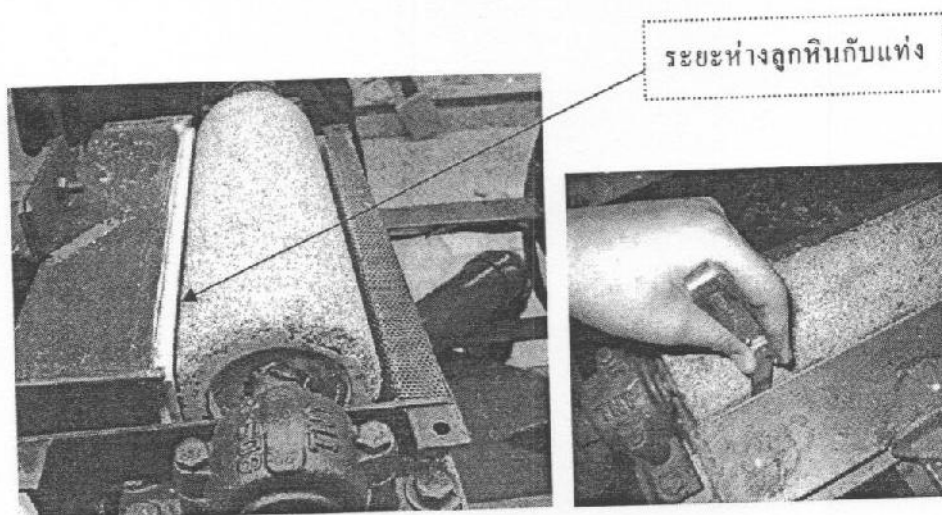
ตารางที่ 3.3 ระดับระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวและแท่งยางที่ใช้ในการทดลอง

ระดับระยะห่างระหว่างลูก หินกับแท่งยาง	ระดับที่1 (mm)	ระดับที่2 (mm)	ระดับที่3 (mm)
	1.3	1.5	1.7

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา : Feeler Gauge

วิธีการปรับตั้งระยะห่างของลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางสามารถทำได้ดังนี้

- (1) ปรับตั้งระยะห่างของลูกหินขัดข้าวและแท่งยางขัดข้าว โดยใช้ Feeler Gauge วางแทรกระหว่างช่องว่างที่ต้องการวัดความห่าง
- (2) ปรับหมุนลูกปิดเพื่อกำหนดระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวและแท่งยางขัดข้าว ให้ได้ตามระยะที่ต้องการ
- (3) ทำการทดลองสีข้าว และ เก็บข้อมูล



ภาพที่ 3.5 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าว กับแท่งยางขัดข้าว และการปรับตั้งค่า

3.1.5 การศึกษาและเก็บข้อมูลการสีข้าว

เป็นการเก็บตัวอย่างข้าวสารจากการสีข้าวที่ได้จากกรณีต่างๆที่ใช้ในการทดลอง การทดลองสีข้าวที่ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 กรณีเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในการสีข้าว

	ขนาดพื้นที่หน้าตัดช่อง ปล่อยข้าวเปลือก (mm^2)	ความเร็วรอบของลูกหินขัด ข้าว (rpm)			ระยะห่างระหว่างลูกหินกับ แท่งยางขัดข้าว (mm)		
กรณีที่ 1	900 หรือ 40%	1,380	1,420	1,460	1.3	1.5	1.7
กรณีที่ 2	1,125 หรือ 50%	1,380	1,420	1,460	1.3	1.5	1.7
กรณีที่ 3	1,350 หรือ 60%	1,380	1,420	1,460	1.3	1.5	1.7

แต่ละกรณีจะมีการแบ่งเงื่อนไขการทดลองสีข้าวออกเป็น 9 เงื่อนไข การสีข้าวเพื่อเก็บข้อมูลของแต่ละเงื่อนไขทำได้โดย แบ่งเวลาในการเก็บตัวอย่างข้าวสารของแต่ละเงื่อนไขออกเป็นเงื่อนไขเป็นละ 5 นาที โดยทำการแยกเก็บทุกๆ 10 วินาที จากนั้นนำข้าวสารที่ได้จากแต่ละเงื่อนไขไปหาค่าร้อยละข้าวหัก โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ออกแบบไว้

3.1.6 ค่าร้อยละปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวที่ได้จากการสีข้าว

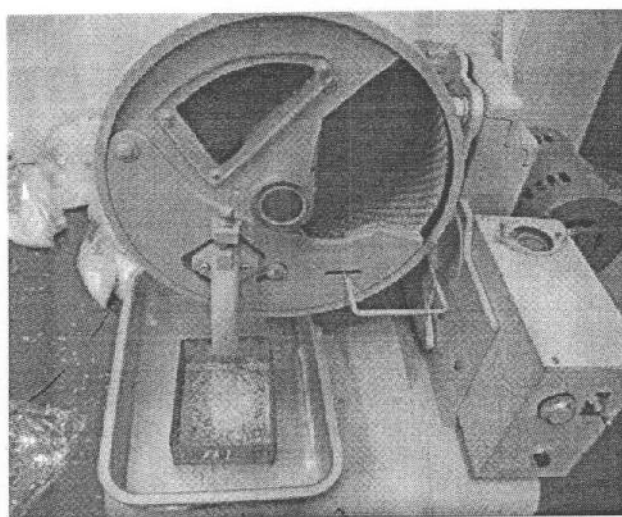
การหาค่าร้อยละปริมาณการแตกหักของเมล็ดข้าวที่ได้จากการสีข้าว หรือค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวหัก ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บข้อมูลร้อยละของการแตกหักของเมล็ดข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวตามค่าตัวแปรต่างๆของเครื่องที่ได้ตั้งไว้ สามารถทำได้โดยการนำข้าวสารที่ได้จากการสีข้าวมาทำการคัดแยกข้าวหักโดยใช้เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าว จากนั้นนำข้าวหักที่แยกได้มาคำนวณหาค่าร้อยละข้าวหักได้ดังสมการนี้

$$\text{ร้อยละข้าวหัก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวรวม} - \text{น้ำหนักต้นข้าว}}{\text{น้ำหนักข้าวรวม}} \times 100 \quad (3 - 2)$$

ซึ่งค่าร้อยละข้าวหักที่ได้ จะนำไปใช้เป็นตัวแปรส่งออก (Output) ในการสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

- (1) เครื่องแยกเมล็ดข้าว
- (2) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล



ภาพที่ 3.6 เครื่องแยกเมล็ดข้าวหักที่ใช้การวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี

3.2 ศึกษาโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) และเทคนิควิธีแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation)

โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เป็นวิธีการจำลองระบบเหมือนเซลล์ประสาทของมนุษย์มาใช้ในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะสร้างวิธีการคำนวณให้ระบบคอมพิวเตอร์รู้จักทำการประมาณค่า หรือ จดจำคุณลักษณะของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง เนื่องจากไม่สามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใดๆมาใช้อธิบาย หรือ แก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนในการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาทำการคำนวณได้อีกด้วย (ปิติกฤตย์, 2545) โครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นอัลกอริทึมชนิดหนึ่งที่มีความสามารถและเป็นที่นิยมในการแก้ปัญหาระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยทั่วไปแล้วโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในการแก้ปัญหามากมาย ได้แก่ การแยกแยะ (Classification) การประมาณ (Approximation) รวมถึงการรู้จำ (Recognition)

ข้อมูลที่ใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการสอนโครงข่ายแบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Learning) คือมีการป้อนข้อมูลเข้า (Input) และกลุ่มเป้าหมาย (Target) ให้กับโครงข่ายอย่างชัดเจน ดังนั้นการศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการนำทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ชนิดเพอร์เซพตรอนหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron) แบบมีการสอน (Supervised Learning) ด้วยเทคนิควิธีแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) มาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมพยากรณ์ค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดเพอร์เซพตรอนหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron) เป็นชนิดที่มีการนำไปประยุกต์ใช้หลายด้าน โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบนี้เป็นโครงข่ายที่มีการเรียงตัวเป็นชั้นๆหลายชั้น (Multi Layer) มีการส่งข้อมูลไปข้างหน้า (Feed - Forward) และใช้วิธีการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยการเปรียบเทียบคำตอบจากแบบจำลองคำตอบจริง (Supervised Learning) สาเหตุที่แบบจำลองนี้มีชื่อ "Back Propagation" ก็เป็นเพราะวิธีการที่ใช้ในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูล จะทำโดยการส่งข้อมูลความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ ย้อนกลับมายังชั้นก่อนหน้านั้น เพื่อปรับค่าน้ำหนักของเส้นประสาทเทียมอย่างต่อเนื่องเพื่อลดค่าความผิดพลาดของระบบให้น้อยลง โดยโครงสร้างส่วนหลักของแบบโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบไปด้วย ข้อมูลนำเข้า (Input) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และ ส่วนข้อมูลนำออก (Output) ซึ่งโครงสร้างส่วนชั้นซ่อน (Hidden Layer) เป็นโครงสร้างส่วนที่ต้องทำการทดลองหาจำนวน Node และฟังก์ชันแปลงค่า (Transfer Function) ที่เหมาะสม โดยจะสามารถกำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งจะมีจำนวนชั้นซ่อน (Hidden Layer) ตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป

และแต่ละชั้นจะมีที่ Node หรือที่ Neural ก็ได้ โครงข่ายจะต้องกำหนดรูปแบบการสอน (Train) เพื่อให้โครงข่ายเกิดการเรียนรู้จากข้อมูล

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาโดย ทินกร คุณสมิตปัญญา (2548) กล่าวว่า การทดลองหา Hidden Layer ที่เหมาะสม ไม่มีกฎเกณฑ์ในการทดลองที่แน่นอน และเป็นไปไม่ได้ที่จะทดลองหาโครงสร้างส่วน Hidden Layer ทุกกรณี เพราะจำนวนการทดลองจะมีค่าเป็นอนันต์ ดังนั้นจึงมีผู้พยายามกำหนดหลักเกณฑ์ในการทดลองหาค่า Hidden Layer ที่เหมาะสมขึ้นมา เช่น Yeh, Y.C. et al. (1990) ได้เสนอวิธีการกำหนดจำนวน Hidden Layer ในการทดลองโดยพิจารณาจำนวน Nodes ของข้อมูล Input แล้วกำหนดจำนวน Hidden Nodes ให้มีจำนวนน้อยกว่า 1 เท่า เท่ากัน และมากกว่าหนึ่งเท่าของจำนวน Nodes ของข้อมูล Input เช่น ถ้ามีข้อมูล Input จำนวน 8 Nodes การทดลองกำหนดให้มี Hidden Nodes เท่ากับ 4 8 16 และ 8 8 (2 Layer) ส่วน Tokar และ Johnson (1999) ใช้การเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1 – 400 โหนด ในขณะที่ Tohma และ Igata (1944) ทดลองใช้จำนวนโหนดที่มีค่าเท่ากับ 6 12 18 24 36 60 และ 120 โหนด ในขณะที่บางการศึกษาใช้การกำหนดให้ค่าโหนดคงที่เพียงค่าเดียว เช่น Loong et al. (2000) กำหนดจำนวนโหนดในชั้นแฝงเป็น 30 จากศึกษาพบว่าการกำหนดจำนวนชั้นและโหนดในชั้นซ่อนแต่ละชั้นยังไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัว แต่จากการวิจัยพบว่า หากมีจำนวนชั้นและจำนวนโหนดน้อยเกินไป โครงข่ายอาจจะไม่สามารถเรียนรู้ได้ตามต้องการ ในทางกลับกันจำนวนชั้นและจำนวนโหนดมากเกินไป โครงข่ายมีแนวโน้มที่จะจำตัวอย่างที่ใช้ในการเรียนรู้มากกว่าที่จะเรียนรู้รูปแบบกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถตอบปัญหาที่ซับซ้อนมากๆ ได้ ส่วนจำนวนโหนดในชั้นซ่อน ก็เป็นการประมาณและทดลองในรูปแบบของ Trial and Error เป็นส่วนใหญ่ (ธัญนันท์ ฤทธิมณี, 2549)

สำหรับการศึกษานี้ได้กำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้

3.2.1 โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลอง

โครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ประกอบไปด้วยโครงสร้าง 3 ส่วนหลักๆ คือ

3.2.1.1 ส่วนนำเข้า (Input Neurons) หน่วยประมวลผลประเภทนี้จะจัดเรียงอยู่ในส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมในชั้นแรก หรือที่เรียกว่าชั้น Input Layer เป็นหน่วยของการประมวลผลที่ใช้ป้อนข้อมูลนำเข้า (Input) เข้าไปในโครงข่ายประสาทเทียม เป็นส่วนที่ไม่มีการรับข้อมูลจากหน่วยประมวลผลหน่วยอื่นๆ แต่จะมีการส่งข้อมูลออกไปให้หน่วยถัดไป

3.2.1.2 Hidden Neurons คือหน่วยประมวลผลที่มีทั้งการส่งและการรับข้อมูลกับหน่วยประมวลผลหน่วยอื่นๆ หน่วยประมวลผลประเภทนี้จะจัดเรียงอยู่ระหว่างชั้น Input Layer กับชั้น Output layer เรียกว่า Hidden Layer

3.2.1.3 Output Neurons หน่วยประมวลผลประเภทนี้อยู่ในโครงข่ายประสาทเทียมชั้นหลังสุด เรียกว่า Output Layer เป็นหน่วยประมวลผลที่ไม่มีการส่งข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลอื่นๆอีก แต่จะมีการรับข้อมูลเข้ามา หน่วยนี้จะเป็นหน่วยที่ให้ผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือข้อมูลนำออก (Output) หรือผลการทดลองนั่นเอง

3.2.2 การเลือกตัวแปรนำเข้า (Input) และตัวแปรส่งออก (Output)

สำหรับการเลือกตัวแปรนำเข้า (Input) นั้นจะพิจารณาจากตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการแตกหักของเมล็ดข้าวสาร ซึ่งได้แก่ ขนาดช่องปล่อยข้าวเปลือก ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าว กับแท่งยางกะเทาะเปลือก ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว เป็นต้น ส่วนตัวแปรส่งออก (Output) เป็นค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าว ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ข้อมูลที่ใช้ในการสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียมจะมีการแปลงค่าข้อมูล (Data transformation) ซึ่งเป็นกระบวนการของการปรับขอบเขตของข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในการสอนให้โครงข่ายประสาทเทียมเกิดการเรียนรู้ เนื่องจากหากข้อมูลนำเข้ามีช่วงของข้อมูลนำเข้าที่แตกต่างกันมากอาจทำให้เกิดปัญหาการเรียนรู้ของโครงข่ายได้ ดังนั้นข้อมูลจริงทั้งหมดจึงต้องถูกแปลงค่าโดยวิธีการแปลงค่าข้อมูลดังกล่าวจะใช้วิธีการทำข้อมูลให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) ซึ่งเป็นการลดทอนข้อมูลให้อยู่ในขอบเขตที่น้อยลงให้อยู่ในย่าน $[0, 1]$ เพื่อให้เหมาะสมกับฟังก์ชันที่ใช้งานของโครงข่ายประสาทเทียม วิธีการลดทอนข้อมูลนั้นมีหลายวิธี แต่ที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การแปลงค่าข้อมูลในลักษณะเป็นเชิงเส้น (Min - max Normalization) ซึ่งแสดงดังสมการ

$$V' = \frac{(V - \min_{old})}{(\max_{old} - \min_{old})} \quad (3 - 3)$$

โดย

V' คือ ค่าข้อมูลที่ได้หลังจากผ่านสมการ

V คือ ค่าข้อมูลก่อนผ่านสมการ

$\min_{old}$ คือ ค่าที่มีค่าน้อยที่สุดของข้อมูล

$\max_{old}$ คือ ค่าที่มีค่ามากที่สุดของข้อมูล

หลังจากที่ได้ผลลัพธ์จากโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว ข้อมูลที่ได้จะต้องถูกแปลงมาเป็นค่าจริงด้วยตามสมการที่ (3 - 4)

$$V = [V'(\max_{old} - \min_{old})] + \min_{old} \quad (3 - 4)$$

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรนำเข้า (Input) และตัวแปรส่งออก (Output) ของโครงข่ายประสาทเทียม

ลำดับ	ตัวแปรนำเข้า (Input)	สัญลักษณ์
1	ขนาดพื้นที่หน้าตัดช่องปล่อยข้าวเปลือก (mm^2)	X1
2	ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว (mm)	X2
3	ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (rpm)	X3
4	เวลาในการสีข้าว	X4
ลำดับ	ตัวแปรส่งออก (Output)	สัญลักษณ์
1	ร้อยละข้าวหัก	Y

3.3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมนั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า (Multilayer Feed Forward) เทคนิคแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation) โดยใช้การเรียนรู้แบบแบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Learning) ใช้กฎการเรียนรู้แบบ Levenberg Marquardt Algorithm เนื่องจากโครงสร้างแบบนี้ มีลักษณะที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากและสามารถทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้เวลาไม่นาน (Hagan, M.T. et al., 1996) ซึ่งนับว่าโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้เป็นหนึ่งในโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้มากที่สุด (Movagharnnejad and Nikzad, 2007)

การกำหนดจำนวนชั้นของโครงข่าย (Layer) โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดจำนวนชั้น (Layer) เท่ากับ 2 ชั้น โดยนับจากชั้นซ่อน (Hidden Layer) ไปจนถึงชั้นส่งออก (Output) ซึ่งในทางปฏิบัติโครงข่ายประสาทเทียมมี 2 หรือ 3 ชั้นเท่านั้น ส่วนโครงข่ายประสาทเทียม 4 ชั้นหรือมากกว่า ไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการฝึกสอน (Hagan, M.T. et al., 1996) มีอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) เท่ากับ 0.1 และมี Epoch เท่ากับ 1000 ซึ่งเป็นค่าพื้นฐานที่ใช้ในกล่องเครื่องมือโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Toolbox) ของซอฟต์แวร์ MATLAB การตรวจสอบ Performance Function ใช้ Mean square error (MSE) ในการวัดความผิดพลาด

3.3.1 สถาปัตยกรรมโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการวิจัย

การออกแบบสถาปัตยกรรมโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการวิจัยนี้ สามารถทำได้โดยการกำหนดจำนวนหน่วยย่อย (Node) ในชั้นซ่อน (Hidden Layer) โดยเริ่ม

จาก 5 Node และเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 Node แต่ไม่เกิน 15 Node เพื่อนำมาวิเคราะห์หาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการทำนายค่าร้อยละข้าวหัก โดยการทดลองในครั้งนี้มีการกำหนดโครงสร้างและรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการวิจัย

Network Architecture	Number of Input Node	Hidden Layer 1	Number of Output Node
4 - 5 -1	4	5	1
4 - 10 -1	4	10	1
4 -15 -1	4	15	1

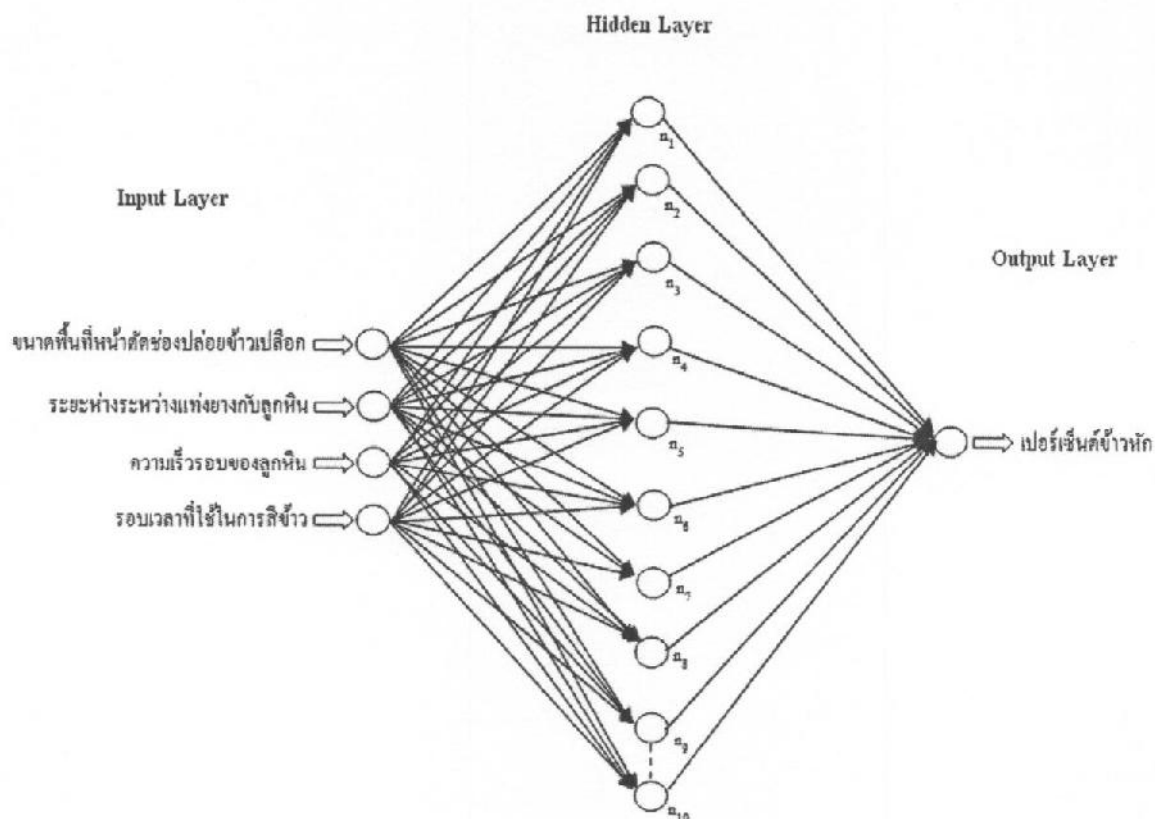
จากตารางที่ 3.6 แสดงการกำหนดรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Architecture) จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่

4- 5 -1 หมายถึงโครงข่ายที่มีตัวแปรนำเข้า (Input) 4 ตัวแปร มีจำนวนหน่วยย่อย (Node) ในชั้นซ่อน 5 Node และมีชั้นข้อมูลตัวแปรส่งออก (Output) 1 ตัวแปร

4- 10 -1 หมายถึงโครงข่ายที่มีตัวแปรนำเข้า (Input) 4 ตัวแปร มีจำนวนหน่วยย่อย (Node) ในชั้นซ่อน 10 Node และมีชั้นข้อมูลตัวแปรส่งออก (Output) 1 ตัวแปร

4- 15 -1 หมายถึงโครงข่ายที่มีตัวแปรนำเข้า (Input) 4 ตัวแปร มีจำนวนหน่วยย่อย (Node) ในชั้นซ่อน 15 Node และมีชั้นข้อมูลตัวแปรส่งออก (Output) 1 ตัวแปร

ตัวอย่างโมเดลของโครงข่ายประสาทเทียม ที่มีข้อมูลนำเข้า (Input) 4 ตัวแปรหรือ 5 โหนด จำนวนโหนดในชั้นซ่อน (Hidden Layer) จำนวน 10 Node และจำนวนข้อมูลส่งออก (Output) 1 ตัวแปร ซึ่งเขียนอยู่ในรูปแบบ 4 - 10 -1 แสดงดังในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างโครงสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

3.3.2 อัลกอริธึมและเงื่อนไขที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น แบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า (Multilayer Feed Forward) ด้วยเทคนิคแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation) เนื่องจากสามารถที่จะเรียนรู้ได้โดยการปรับค่าน้ำหนัก เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าผลลัพธ์กับค่าเป้าหมายลดลง

3.3.2.1 ในการทดลองได้แบ่งข้อมูลที่ใช้กับโครงข่ายออกเป็น 2 ส่วน โดยกำหนดให้ข้อมูลที่ใช้ในการสอนโครงข่าย (Training Data) ที่ร้อยละ 70 และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโครงข่าย (Testing Data) ที่ร้อยละ 30

3.3.2.2 ใช้การเรียนรู้แบบแบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised Learning) โดยใช้ฟังก์ชันการสอน (Training Function) แบบ Levenberg Marquardt Algorithm (TRAINLM) เนื่องจากประมวลผลได้ค่อนข้างเร็ว

3.3.2.3 ใช้ฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ (Adaption Learning Function) แบบ Gradient Descent with Momentum Weight and Bias Learning Function (LEARNGDM)

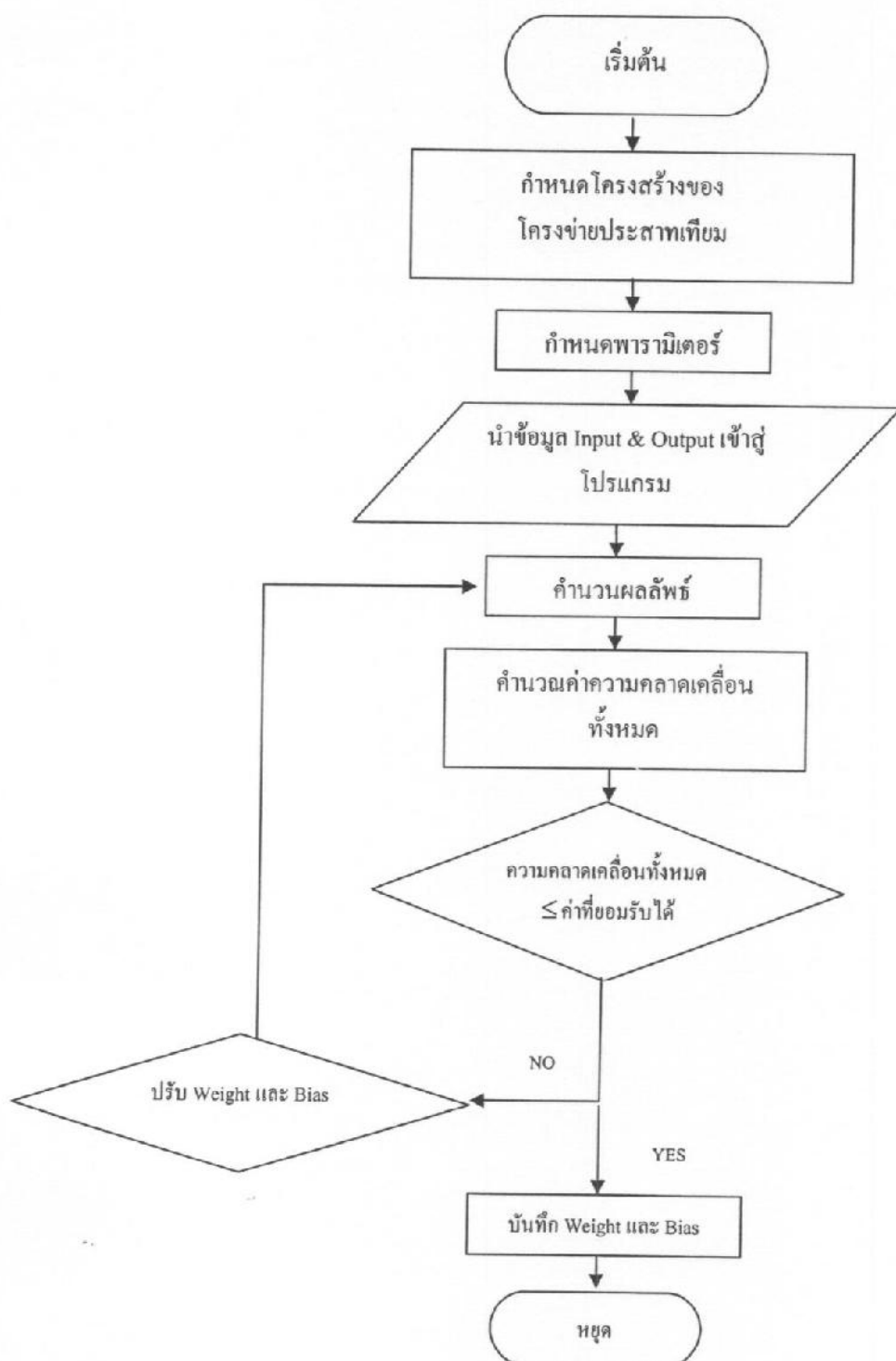
3.3.2.4 ใช้ Mean Square Error (MSE) ในการวัดความผิดพลาด ในการกำหนดความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์

3.3.2.5 โครงข่ายที่ใช้ในการทดลองกำหนดให้จำนวนชั้นเท่ากับ 2 ชั้น โดยนับจากชั้นแฝง (Hidden Layer) ไปจนถึงชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) ดังนั้นในที่นี้จึงใช้ชั้นแฝง (Hidden Layer) 1 ชั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักออกแบบไม่เกิน 3 ชั้น และสูงสุดไม่เกิน 5 ชั้น เนื่องจากหากเลือกจำนวนมาก อาจทำให้การประมวลผลช้าลงมากตามไปด้วย

3.3.2.6 ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ภายในโครงสร้างเป็นแบบ Log-Sigmoid Transfer Function (Logsig), Tan-sigmoid Transfer Function (Tansig) และ Hard limit Transfer Function (Purelin)

3.3.3 ลำดับขั้นตอนการทำงาน (Algorithm) สำหรับการสอนโครงข่ายประสาทเทียม (Training Process)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการทดลอง โดยการสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Training Process) เริ่มจากการป้อนชุดข้อมูลนำเข้า (Input) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการสอน (Training) ชุดข้อมูลเป้าหมาย (Target) จากนั้นกำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมได้แก่ จำนวนชั้นของโครงข่ายประสาทเทียม (Number of Network Layers) จำนวนหน่วยของชั้นแฝง (Hidden Layer Nodes) และกำหนดฟังก์ชันและพารามิเตอร์ต่างๆของโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดไว้มาใช้งาน จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าส่งออก (Output) เพื่อเปรียบเทียบผลค่าคลาดเคลื่อนทั้งหมด โดยระบบจะเปรียบเทียบค่าส่งออกที่ได้ (Actual Output) กับค่าเป้าหมาย (Target) หากค่าส่งออก (Output) และค่าเป้าหมาย (Target) ถ้าค่าคลาดเคลื่อนทั้งหมดมากกว่าค่าที่กำหนดหรือยังไม่ครบตามจำนวนรอบที่กำหนด ระบบจะทำการปรับค่า Weight และ Bias โดยเริ่มจากการปรับ ในชั้นส่งออก (Output) ก่อน แล้วจึงปรับค่าในชั้นซ่อน (Hidden Layer) ถัดมา แล้วทำการคำนวณและเทียบค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดอีกครั้ง เมื่อค่าคลาดเคลื่อนทั้งหมดเท่ากับค่าที่กำหนดหรือครบตามจำนวนรอบ โปรแกรมจะหยุดการสอน (Train) และทำการบันทึกค่า เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการทดสอบต่อไป ภาพกระบวนการสอน (Train) สามารถแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แผนผังการสอนโครงข่ายประสาทเทียม (Training Process)

3.3.4 กระบวนการทดสอบ (Testing Process)

กระบวนการทดสอบ (Test) เป็นการคำนวณไปข้างหน้าเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการคำนวณย้อนกลับ โดยการนำค่า Weight Bias และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการเรียนรู้หรือที่ผ่านกระบวนการสอน (Training) โดยการเลือกใช้ข้อมูลที่มีความแตกต่างกับข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการสอน (Train) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมก่อนการนำไปใช้ในการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ขั้นตอนกระบวนการทดสอบสามารถแสดงได้ตามภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แผนผังการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม (Testing Process)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลที่ได้จากการวิจัยการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวแบบลูกหินแกนนอนลูกเดี่ยว (Single Horizontal Abrasive) ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม แบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า (Multilayer Feed Forward) ด้วยเทคนิคแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation) โดยใช้การเรียนรู้แบบแบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ใช้กฎการเรียนรู้ (Training Function) แบบ Levenberg Marquardt Algorithm (TRAINLM) และใช้ Adaption Learning Function แบบ Gradient Descent with Momentum Weight and Bias Learning Function (LEARNGDM) โดยกำหนดให้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ภายในโครงสร้างเป็นแบบ Log-sigmoid Transfer Function (Logsig), Linear Transfer Function (Purelin) และ Tan-sigmoid Transfer Function (Tansig) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนดให้แต่ละโครงข่าย

Neural Network	Transfer function	
	Hidden Layer	Output Layer
Network 1	Logsig	Logsig
Network 2	Purelin	Logsig
Network 3	Tansig	Logsig
Network 4	Logsig	Purelin
Network 5	Purelin	Purelin
Network 6	Tansig	Purelin
Network 7	Logsig	Tansig
Network 8	Purelin	Tansig
Network 9	Tansig	Tansig

4.1 การสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและการสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียม

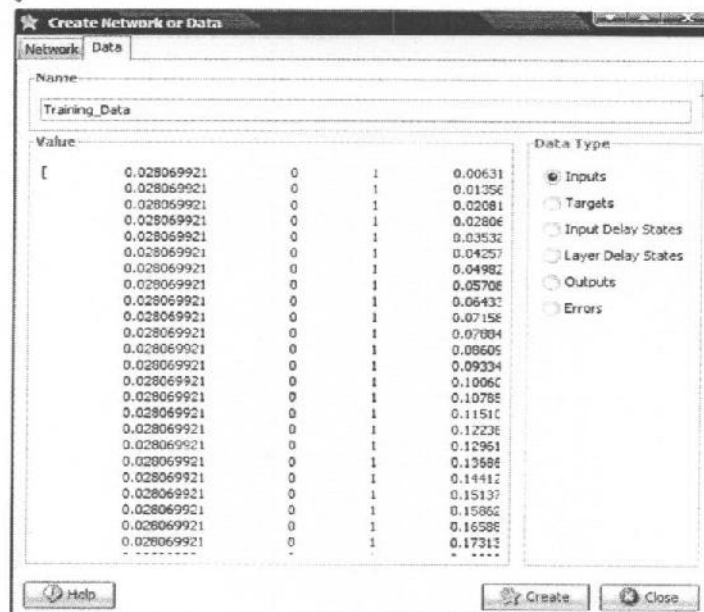
การสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและการสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียม มีขั้นตอนดังนี้

4.1.1 เรียกใช้ฟังก์ชัน NNtool ผ่านโปรแกรม MATLAB



ภาพที่ 4.1 การเรียกใช้ฟังก์ชัน nn_tool จากโปรแกรม MATLAB

4.1.2 การนำเข้าข้อมูลการสอนโครงข่าย (Training Data) และข้อมูลผลลัพธ์เป้าหมาย (Target Data) เข้าสู่โปรแกรม



ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างที่แสดงถึงการนำเข้าข้อมูลเพื่อใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียม

4.1.3 วิธีการสร้างโครงข่ายประสาทเทียม เริ่มจากการกำหนดค่าฟังก์ชันการทำงานต่างๆสามารถทำได้ดังนี้

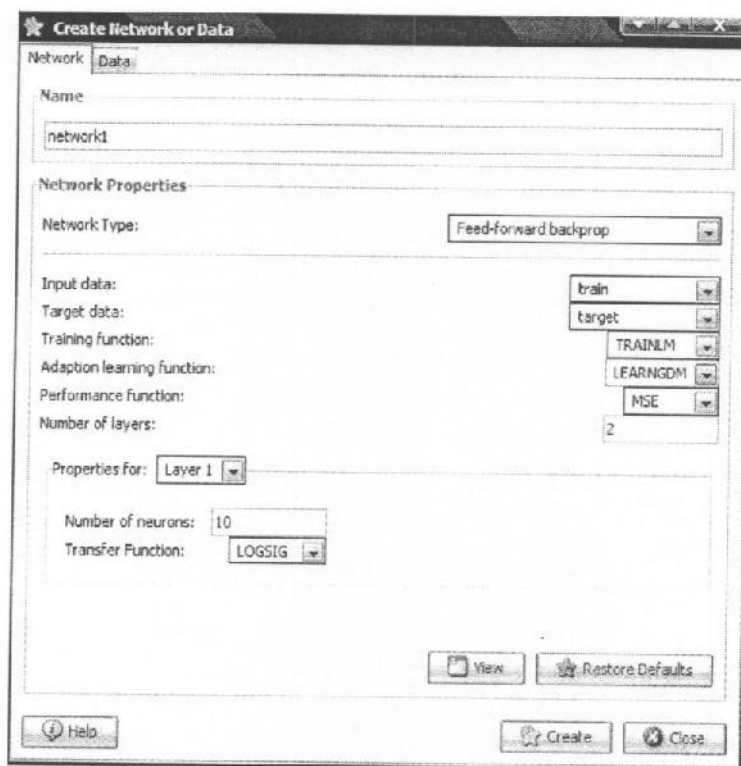
4.1.3.1 การกำหนดชนิดของโครงข่าย ในที่นี้กำหนดให้เป็น โครงข่ายประสาทเทียมแบบ (Feed-forward backpropagation)

4.1.3.2 การกำหนด Training Function และ Learning Function

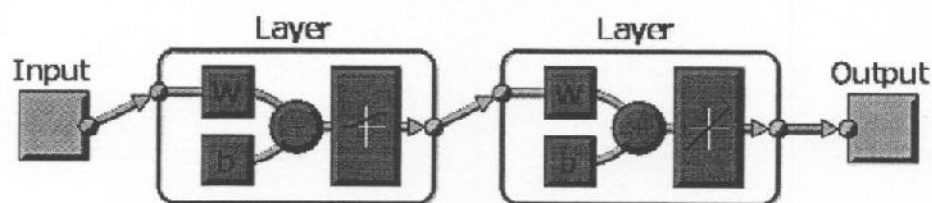
4.1.3.3 การกำหนดชั้นของโครงข่าย ในการทดลองนี้กำหนดเป็น 2 ชั้น

4.1.3.4 กำหนดจำนวนโหนด (Number of Neural)

4.1.3.5 กำหนด Transfer Function



ภาพที่ 4.3 การกำหนด Function การทำงานต่างๆ ที่จะใช้ในการทำนาย

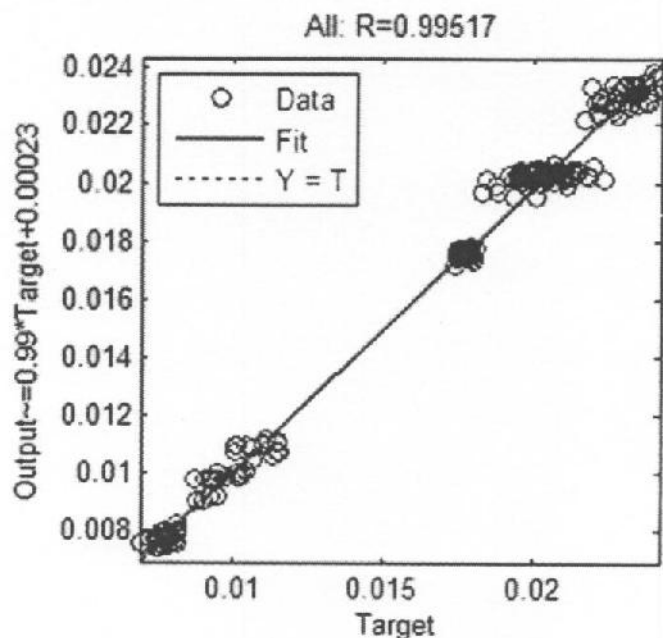


ภาพที่ 4.4 โครงสร้างของโครงข่ายที่ได้จากการออกแบบเพื่อใช้ในการทดลอง

4.1.4 ทำการสอน (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมตามเงื่อนไขของโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละกรณีที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นนำผลที่ได้จากการสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียมของแต่ละเงื่อนไขมาทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่ได้จากการสอน (Training) ซึ่งตารางเปรียบเทียบผลที่ได้จากการสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียมสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียม

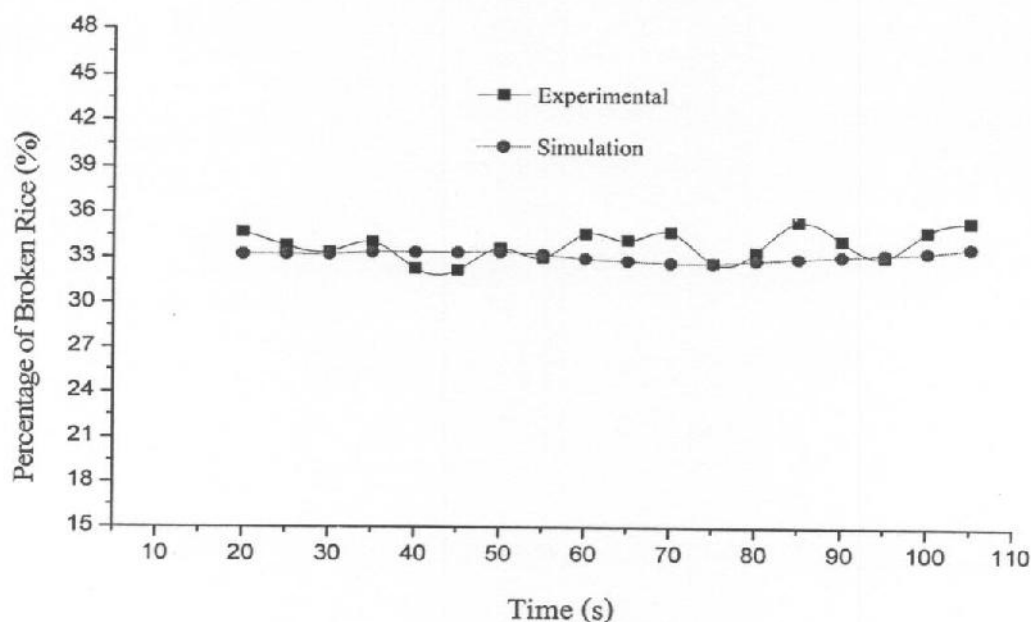
	Network type	Feed Forward Back Propagation						
	Performance function	Mean Squire Error (MSE)						
	Number of Layer	2						
	Training Function	TRAINLM						
	Adaption learning function	LEARNGDM						
	Name	Transfer function	Transfer function	Regression				
	Layer 1	Layer 2	Training	Validation	Test	All	MSE	
5 Node	Network 1	Logsig	Logsig	0.93247	0.94613	0.94959	0.93699	1.31E-05
	Network 2	Purelin	Logsig	0.63398	0.56396	0.66346	0.62363	2.27E-05
	Network 3	Tansig	Logsig	0.92381	0.94908	0.92302	0.93016	1.38E-05
	Network 4	Logsig	Purelin	0.99469	0.99286	0.99475	0.99405	3.31E-07
	Network 5	Purelin	Purelin	0.20959	0.14181	0.28309	0.20408	3.17E-05
	Network 6	Tansig	Purelin	0.99604	0.99236	0.99282	0.99462	3.53E-07
	Network 7	Logsig	Tansig	0.99538	0.9965	0.99454	0.99525	3.06E-07
	Network 8	Purelin	Tansig	0.17341	0.20909	0.31107	0.20051	3.43E-05
	Network 9	Tansig	Tansig	0.99523	0.99277	0.99472	0.99445	3.31E-07
10 Node	Network 1	Logsig	Logsig	0.93362	0.94398	0.93702	0.93621	1.56E-05
	Network 2	Purelin	Logsig	0.2858	0.2969	0.22206	0.27923	2.85E-05
	Network 3	Tansig	Logsig	0.94035	0.94715	0.91976	0.93761	1.55E-05
	Network 4	Logsig	Purelin	0.9957	0.99513	0.99031	0.99445	3.38E-07
	Network 5	Purelin	Purelin	0.23533	0.10359	0.18554	0.19556	3.05E-05
	Network 6	Tansig	Purelin	0.99529	0.99127	0.99592	0.9945	3.58E-07
	Network 7	Logsig	Tansig	0.99521	0.99637	0.99207	0.99498	3.66E-07
	Network 8	Purelin	Tansig	0.21076	0.15234	0.20087	0.19452	3.17E-05
	Network 9	Tansig	Tansig	0.99539	0.9946	0.99462	0.9949	3.17E-07
15 Node	Network 1	Logsig	Logsig	0.92918	0.94559	0.94326	0.93655	1.26E-05
	Network 2	Purelin	Logsig	0.33336	0.29177	0.909419	0.2797	3.02E-05
	Network 3	Tansig	Logsig	0.93422	0.94405	0.9338	0.93588	1.44E-05
	Network 4	Logsig	Purelin	0.99589	0.99359	0.99436	0.99571	3.00E-07
	Network 5	Purelin	Purelin	0.23981	0.19954	0.14445	0.2014	3.11E-05
	Network 6	Tansig	Purelin	0.99675	0.98619	0.99256	0.99319	3.46E-07
	Network 7	Logsig	Tansig	0.99545	0.99377	0.9965	0.99521	3.75E-07
	Network 8	Purelin	Tansig	0.1744	0.2155	0.24589	0.19622	3.23E-05
	Network 9	Tansig	Tansig	0.98292	0.94842	0.95642	0.97071	1.49E-06



ภาพที่ 4.6 ผล Regression รวมที่ได้จากการสอน โครงข่ายประสาทเทียม 4 – 15 -1

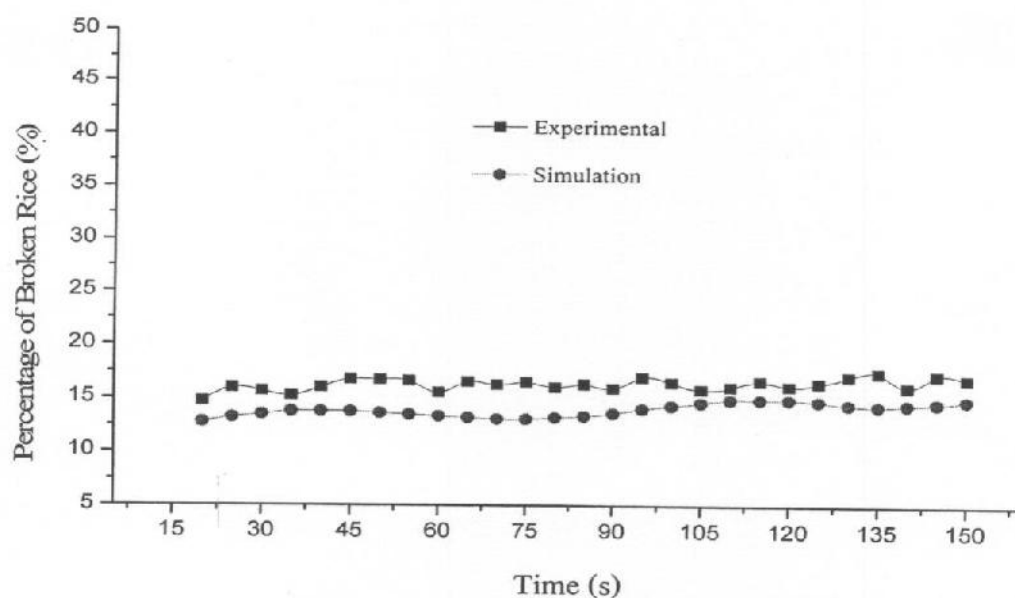
จากนั้นทำการทดสอบ (Testing) โครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าความผิดพลาดได้น้อยที่สุด ซึ่งในการทดลองนี้ก็คือโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 4 - 15 -1 โดยใช้ข้อมูลในการทดสอบจากชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Data) ป้อนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายค่าร้อยละข้าวหัก จากนั้นนำผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมาทำการเทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองสีข้าว

โดยตัวอย่างกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลระหว่างค่าร้อยละข้าวหักจริงที่ได้จากการทดลองและค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียม หลังจากที่ได้มีการแปลงค่ากลับแล้ว จากกราฟตัวอย่างผลการทดสอบ (Testing) เป็นการทำนายที่ได้จากการสีข้าวที่เงื่อนไขการสีข้าวที่มีการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 40 50 และ 60 โดยที่กำหนดระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว 1.3 mm และความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว 1.420 rpm ซึ่งกราฟการทำนายสามารถแสดงดังในภาพที่ 4.7 - 4.9 ตามลำดับ



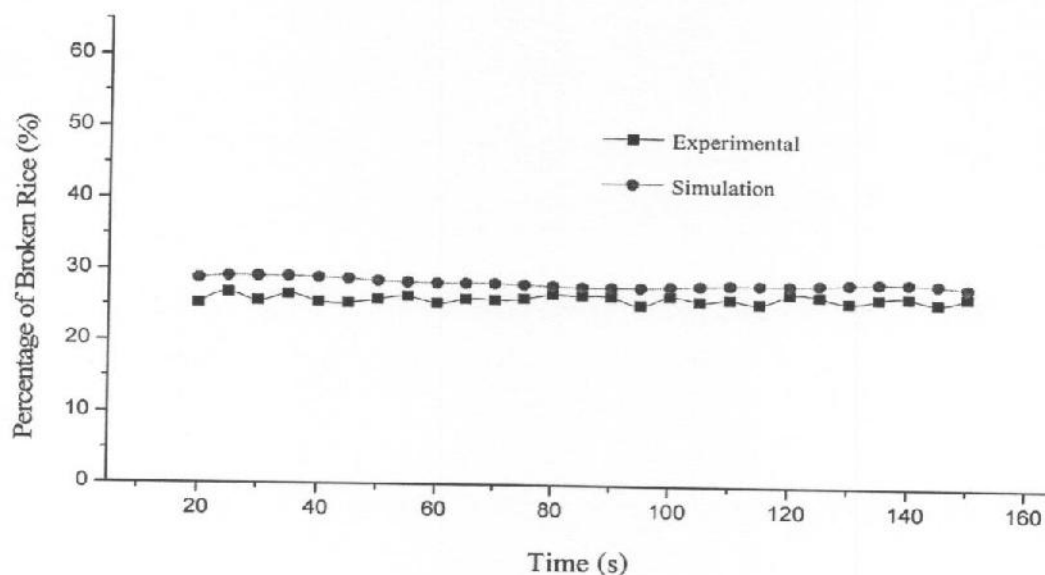
ภาพที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองและค่าข้าวหักที่ได้จากการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

จากภาพที่ 4.7 จากเงื่อนไขการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกร้อยละ 40 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 mm และความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1.420 rpm



ภาพที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองและค่าข้าวหักที่ได้จากการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

จากภาพที่ 4.8 จากเงื่อนไขการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกร้อยละ 50 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 mm และความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1.420 rpm



ภาพที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองและค่าข้าวหักที่ได้จากการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

จากภาพที่ 4.9 จากเงื่อนไขการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกร้อยละ 60 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 mm และความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1.420 rpm

จากภาพที่ 4.7 – 4.9 แสดงให้เห็นว่า กราฟผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม กับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลอง จากกราฟการเปรียบเทียบผลการทำนายพบว่า ผลการทำนายที่ได้มีค่าออกมาใกล้เคียง และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยตารางแสดงผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับผลค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเป็นค่าที่ได้ก่อนมีการแปลงค่ากลับให้เป็นค่าปกติ หลังจากการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) สามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการทำนาย ของค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลอง ในกรณีที่ยังเป็นค่าที่ได้จากการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) ก่อนการแปลงค่ากลับให้เป็นค่าปกติ

ตารางที่ 4.3 ผลการทำนายของค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลอง

ลำดับ	ค่าข้าวหักที่ได้จากการสีจริง	ค่าข้าวหักที่ได้จากการทำนาย
1	0.022826345	0.0226
2	0.02297605	0.0225
3	0.023365996	0.0225
4	0.02354928	0.0225
5	0.022912629	0.0225
6	0.022623154	0.0225
7	0.023074932	0.0226
8	0.021846232	0.0226
9	0.021775773	0.0226
10	0.022791576	0.0226
11	0.022346792	0.0225
12	0.023476683	0.0223
13	0.023164409	0.0222
14	0.023546153	0.0221
15	0.02210401	0.0221
16	0.022627662	0.0222
17	0.024034147	0.0223
18	0.023156039	0.0224
19	0.022381637	0.0225
20	0.023590253	0.0226
21	0.024018857	0.0228
22	0.008714533	0.0082
23	0.010067983	0.0079
24	0.010185064	0.0079
25	0.009456163	0.0081
26	0.010345185	0.0084
27	0.010133082	0.0086
28	0.00984719	0.0088
29	0.010384513	0.0088

ตารางที่ 4.3 ผลการทำนายของค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลอง (ต่อ)

ลำดับ	ค่าข้าวหักที่ได้จากการสีจริง	ค่าข้าวหักที่ได้จากการทำนาย
30	0.010908484	0.0088
31	0.010894696	0.0087
32	0.010807429	0.0086
33	0.010049847	0.0085
34	0.01075314	0.0084
35	0.010561192	0.0083
36	0.010735612	0.0083
37	0.010396297	0.0084
38	0.01058932	0.0085
39	0.010332205	0.0087
40	0.011069605	0.009
41	0.010728118	0.0092
42	0.010258972	0.0094
43	0.010445843	0.0096
44	0.010833099	0.0096
45	0.010502807	0.0096
46	0.010706977	0.0095
47	0.011150398	0.0093
48	0.011415456	0.0092
49	0.010468297	0.0093
50	0.011247525	0.0094
51	0.011005059	0.0096
52	0.016761448	0.0185
53	0.01746945	0.0189
54	0.017781985	0.0192
55	0.016904104	0.0194
56	0.017992228	0.0196
57	0.017163051	0.0196
58	0.017841338	0.0196

ตารางที่ 4.3 ผลการทำนายของค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลอง (ต่อ)

ลำดับ	ค่าข้าวหักที่ได้จากการสีจริง	ค่าข้าวหักที่ได้จากการทำนาย
59	0.017107176	0.0195
60	0.016984131	0.0194
61	0.017375375	0.0192
62	0.017681838	0.0191
63	0.017025591	0.019
64	0.017435666	0.019
65	0.017379033	0.019
66	0.017530888	0.0189
67	0.017984676	0.0188
68	0.01785132	0.0187
69	0.017796735	0.0187
70	0.016959603	0.0187
71	0.01783943	0.0188
72	0.017368365	0.0189
73	0.017580911	0.019
74	0.017185564	0.019
75	0.018131808	0.019
76	0.017954443	0.0191
77	0.017349321	0.0192
78	0.017756765	0.0193
79	0.017890249	0.0193
80	0.017380495	0.0192
81	0.017976161	0.0189

จากผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองตามตารางที่ 4.3 จะมีการนำค่าผลการทำนายที่ได้มาแปลงค่ากลับให้เป็นค่าปกติหรือค่าจริง ตามสมการที่ (4-1) และนำผลจากการแปลงค่ากลับที่ได้ไปหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ตารางที่ได้จากการแปลงค่ากลับสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.4

$$V = [V'(\max_{old} - \min_{old})] + \min_{old} \quad (4-1)$$

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองจริง หลังจากมีการแปลงค่ากลับให้เป็นค่าจริง

ลำดับ	ค่าที่ได้จากการ จริง	ค่าที่ได้จากการ ทำนาย	ค่าความคลาด เคลื่อน	ค่าสัมบูรณ์ของ ความคลาดเคลื่อน	ค่าร้อยละความ คลาดเคลื่อน สัมบูรณ์
1	33.6837363	33.36262	0.321116297	0.321116297	0.953327428
2	33.89612248	33.22075	0.675372478	0.675372478	1.9924771
3	34.44933921	33.22075	1.228589207	1.228589207	3.56636509
4	34.70936409	33.22075	1.488614092	1.488614092	4.288796786
5	33.80614657	33.22075	0.585396572	0.585396572	1.731627622
6	33.39546888	33.22075	0.174718884	0.174718884	0.523181408
7	34.03640566	33.36262	0.673785663	0.673785663	1.979602869
8	32.29324865	33.36262	-1.069371346	1.069371346	3.311439359
9	32.19328929	33.36262	-1.169330714	1.169330714	3.632218825
10	33.6344086	33.36262	0.271788602	0.271788602	0.808067136
11	33.00339367	33.22075	-0.217356335	0.217356335	0.658587832
12	34.60636978	32.93701	1.669359778	1.669359778	4.823851183
13	34.16334661	32.79514	1.368206614	1.368206614	4.004896327
14	34.70492691	32.65327	2.051656909	2.051656909	5.911716552
15	32.65895954	32.65327	0.005689538	0.005689538	0.017421062
16	33.40186404	32.79514	0.606724035	0.606724035	1.816437653
17	35.39724503	32.93701	2.460235026	2.460235026	6.950357362
18	34.15147265	33.07888	1.072592651	1.072592651	3.140692238
19	33.05282842	33.22075	-0.167921576	0.167921576	0.508039958
20	34.76749239	33.36262	1.404872395	1.404872395	4.040764225
21	35.37555228	33.64636	1.729192283	1.729192283	4.88809975

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองสิ่งจริงหลังจากมีการแปลงค่ากลับให้เป็นค่าจริง (ต่อ)

ลำดับ	ค่าที่ได้จากการ สิ่งจริง	ค่าที่ได้จากการ ทำนาย	ค่าความ คลาดเคลื่อน	ค่าสัมบูรณ์ของ ความคลาดเคลื่อน	ค่าร้อยละความ คลาดเคลื่อน สัมบูรณ์
22	13.66330765	12.93334	0.729967647	0.729967647	5.342539783
23	15.58344725	12.50773	3.075717247	3.075717247	19.7370787
24	15.74955001	12.50773	3.241820013	3.241820013	20.58357229
25	14.71545774	12.79147	1.923987742	1.923987742	13.07460342
26	15.9767141	13.21708	2.759634101	2.759634101	17.2728515
27	15.67580396	13.50082	2.174983963	2.174983963	13.87478415
28	15.2702089	13.78456	1.485648901	1.485648901	9.729067301
29	16.03250831	13.78456	2.247948312	2.247948312	14.02118912
30	16.77586678	13.78456	2.991306776	2.991306776	17.83101175
31	16.75630453	13.64269	3.11361453	3.11361453	18.58174948
32	16.63249966	13.50082	3.131679658	3.131679658	18.82867712
33	15.55771804	13.35895	2.198768039	2.198768039	14.13297267
34	16.55547992	13.21708	3.338399918	3.338399918	20.16492385
35	16.28316359	13.07521	3.207953586	3.207953586	19.70104623
36	16.53061224	13.07521	3.455402245	3.455402245	20.90305062
37	16.04922608	13.21708	2.832146085	2.832146085	17.6466209
38	16.32306889	13.35895	2.964118894	2.964118894	18.1590785
39	15.95829992	13.64269	2.31560992	2.31560992	14.51037975
40	17.00444884	14.0683	2.936148838	2.936148838	17.26694506
41	16.51998097	14.35204	2.167940971	2.167940971	13.12314448
42	15.85440332	14.63578	1.218623322	1.218623322	7.686339861
43	16.11951783	14.91952	1.199997825	1.199997825	7.444377916

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองสิ่งจริงหลังจากมีการแปลงค่ากลับให้เป็นค่าจริง (ต่อ)

ลำดับ	ค่าที่ได้จากการ สิ่งจริง	ค่าที่ได้จากการ ทำนาย	ค่าความ คลาดเคลื่อน	ค่าสัมบูรณ์ของ ความคลาดเคลื่อน	ค่าร้อยละความ คลาดเคลื่อน สัมบูรณ์
44	16.66891801	14.91952	1.749398006	1.749398006	10.49497037
45	16.20033218	14.91952	1.280812183	1.280812183	7.906085931
46	16.48998822	14.77765	1.712338221	1.712338221	10.38410821
47	17.11906934	14.49391	2.625159343	2.625159343	15.33470827
48	17.49510763	14.35204	3.143067632	3.143067632	17.96540895
49	16.15137274	14.49391	1.657462743	1.657462743	10.26205493
50	17.25686425	14.63578	2.621084255	2.621084255	15.18864735
51	16.91287658	14.91952	1.993356585	1.993356585	11.78602927
52	25.07946599	27.54595	-2.466484011	2.466484011	9.834675158
53	26.08390908	28.11343	-2.029520918	2.029520918	7.780739121
54	26.52730222	28.53904	-2.011737783	2.011737783	7.583650109
55	25.28185174	28.82278	-3.540928259	3.540928259	14.00581055
56	26.82557317	29.10652	-2.280946826	2.280946826	8.502881973
57	25.64922093	29.10652	-3.457299065	3.457299065	13.47915819
58	26.61150664	29.10652	-2.495013362	2.495013362	9.375693738
59	25.56995079	28.96465	-3.394699212	3.394699212	13.27612728
60	25.39538632	28.82278	-3.42739368	3.42739368	13.49612735
61	25.95044449	28.53904	-2.588595514	2.588595514	9.975149038
62	26.38522427	28.39717	-2.011945726	2.011945726	7.6252743
63	25.45420665	28.2553	-2.801093348	2.801093348	11.00444176
64	26.03597959	28.2553	-2.219320406	2.219320406	8.524051873
65	25.95563478	28.2553	-2.299665221	2.299665221	8.85998451

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เทียบกับค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองสีจริงหลังจากมีการแปลงค่ากลับให้เป็นค่าจริง (ต่อ)

ลำดับ	ค่าที่ได้จากการ สีจริง	ค่าที่ได้จากการ ทำนาย	ค่าความ คลาดเคลื่อน	ค่าสัมบูรณ์ของ ความคลาดเคลื่อน	ค่าร้อยละความ คลาดเคลื่อน สัมบูรณ์
66	26.17107031	28.11343	-1.942359691	1.942359691	7.421781639
67	26.81485932	27.97156	-1.156700683	1.156700683	4.313655609
68	26.625667	27.82969	-1.204023002	1.204023002	4.522038835
69	26.54822845	27.82969	-1.281461555	1.281461555	4.82691927
70	25.3605884	27.82969	-2.469101596	2.469101596	9.735979137
71	26.60879976	27.97156	-1.362760239	1.362760239	5.121464522
72	25.94049904	28.11343	-2.17293096	2.17293096	8.376596596
73	26.24203822	28.2553	-2.013261783	2.013261783	7.671895631
74	25.68115942	28.2553	-2.57414058	2.57414058	10.02345937
75	27.02359539	28.2553	-1.231704613	1.231704613	4.557885787
76	26.77196841	28.39717	-1.625201591	1.625201591	6.070534544
77	25.91348173	28.53904	-2.62555827	2.62555827	10.1320166
78	26.49152188	28.68091	-2.189388124	2.189388124	8.264486029
79	26.68089648	28.68091	-2.000013522	2.000013522	7.49605068
80	25.95770763	28.53904	-2.581332369	2.581332369	9.944377237
81	26.80278019	28.11343	-1.310649809	1.310649809	4.889977083
			รวม	158.6712202	755.178869

จากตารางที่ 4.4 สามารถหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ของการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมได้เท่ากับ 9.323 % โดยสมการของค่า Mean Absolute Percent Error สามารถแสดงได้ดังสมการ (4-2)

$$\text{Mean Absolute Percent Error (MAPE)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \quad (4-2)$$

เมื่อ A_i = ค่าที่ได้จากการทดลองจริง

F_i = ค่าที่ได้จากการทำนาย

4.2 การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาทดลองใช้ในการทำนายค่าร้อยละข้าวหัก

เป็นการนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้คัดเลือกไว้ มาใช้ในการทำนายค่าร้อยละข้าวหัก เพื่อศึกษาพฤติกรรมและแนวโน้มของค่าร้อยละข้าวหักที่จะเกิดขึ้นจากการสีข้าวด้วยเงื่อนไขต่างๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่น้อยที่สุดที่ได้จากกระบวนการทดสอบ (Testing Process) โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 4 - 15 - 1 หรือ โครงข่ายที่มีตัวแปรนำเข้า (Input) 4 ตัวแปร มีจำนวนหน่วยย่อย (Node) ในชั้นซ่อนเท่ากับ 15 หน่วยย่อย และมีข้อมูลส่งออก (Output) เท่ากับ 1 มาใช้ในการทดลองทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยในงานวิจัยนี้แบ่งการทำนายออกได้เป็น 3 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 การทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยพิจารณาอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ใช้ในการสีข้าว โดยอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่จะนำมาใช้ในการทำนายคือการเปิดที่ร้อยละ 46, 48, 54, 65 และ 58

กรณีที่ 2 การทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยพิจารณาอัตราการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว โดยอัตราการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่จะนำมาใช้ในการทำนายคือ 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 1.9 mm

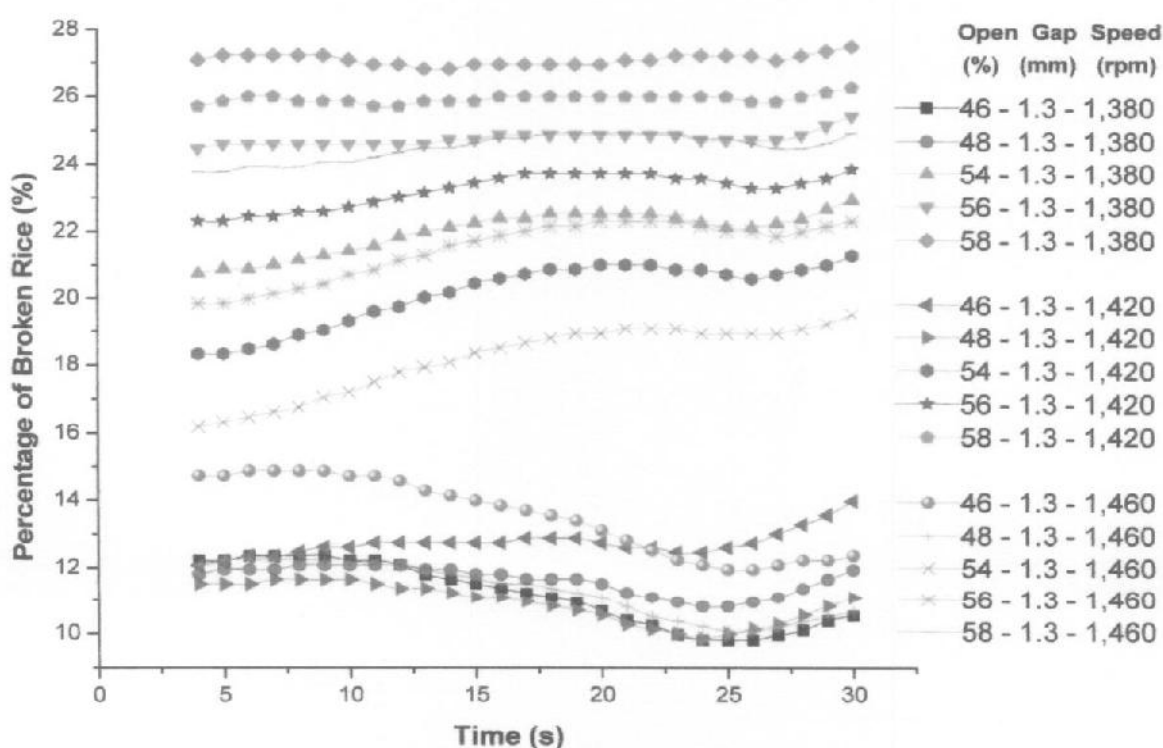
กรณีที่ 3 การทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยพิจารณาอัตราการตั้งค่าความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว โดยอัตราค่าความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่จะนำมาใช้ในการทำนายคือ 1,390 1,400 1,410 1,430 1,440 และ 1,450 rpm

โดยผลที่ได้จากการทดลองการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 4 - 15 - 1 จากทั้ง 3 กรณี มีดังต่อไปนี้

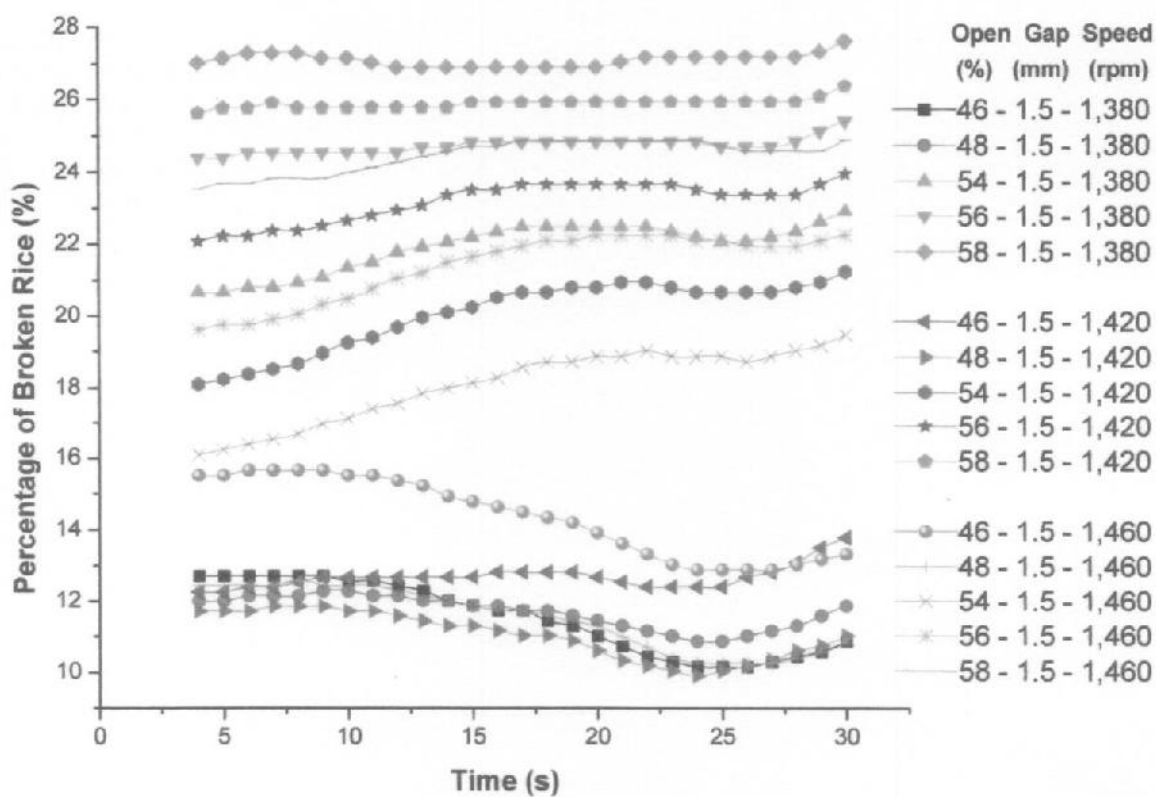
4.2.1 กรณีการทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยพิจารณาอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ใช้ในการสีข้าว

เป็นการทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ระดับต่างๆ ด้วยเงื่อนไขของการทำงานที่ใช้ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3, 1.5 และ

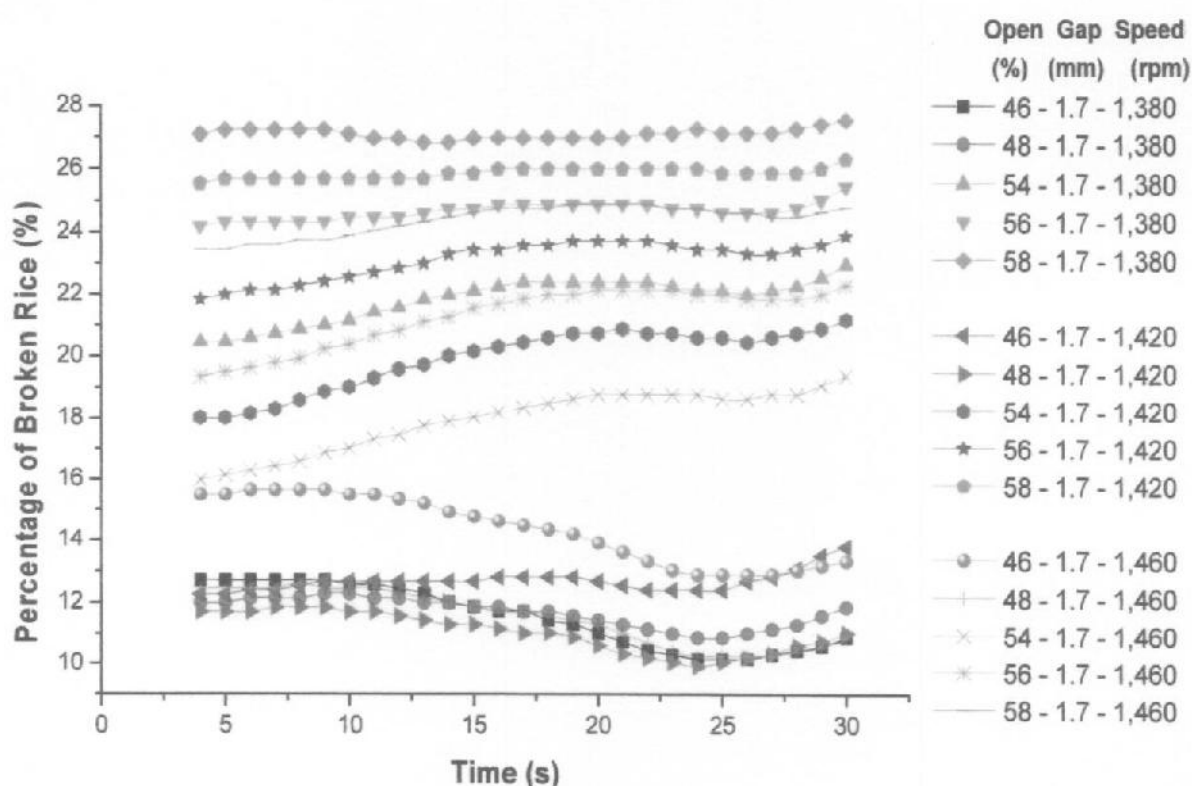
1.7 mm และมีความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm ตามลำดับ การทดลองนี้กำหนดให้อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่จะใช้ในการทำนายอยู่ที่ร้อยละ 46 48 54 65 และ 58 โดยข้อมูลนำเข้า (Input) ที่จะใช้ในการทำนายจะต้องผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) ก่อนเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายจะต้องถูกนำมาแปลงค่ากลับเพื่อให้เป็นค่าปกติอีกครั้งหนึ่ง โดยผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากเงื่อนไขการพิจารณาอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.10 – 4.12



ภาพที่ 4.10 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 46 48 54 65 และ 58



ภาพที่ 4.11 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 46 48 54 65 และ 58



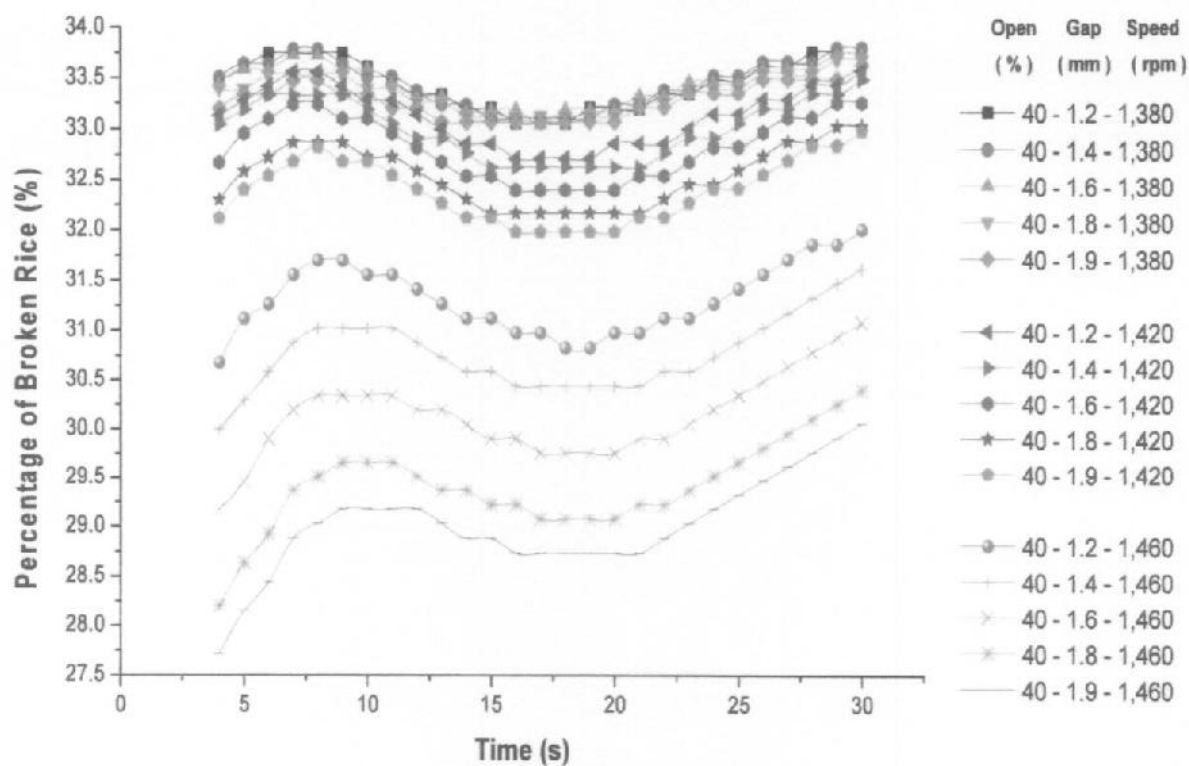
ภาพที่ 4.12 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 46 48 54 65 และ 58

จากกราฟภาพที่ 4.10 – 4.12 จะเห็นว่าช่วงอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่มีผลต่อค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทำนายจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับหลักๆ คือระดับที่ให้ค่าร้อยละข้าวหักที่ต่ำ ระดับที่ให้ค่าร้อยละข้าวหักในช่วงระดับกลาง และ ระดับที่ให้ค่าร้อยละข้าวหักในช่วงระดับสูง จากกราฟการทำนายทำให้พบว่า ระดับที่ให้ค่าอัตราการร้อยละข้าวหักต่ำที่สุด คือ กรณีของการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 46 และ 48 โดยให้ค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทำนายอยู่ในช่วงร้อยละ 12 – 14 ส่วนกรณีที่ให้ค่าร้อยละข้าวหักอยู่ในระดับกลาง คือ กรณีของการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 54 และ 56 โดยให้ค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทำนายอยู่ในช่วงร้อยละ 16 – 23 ส่วนอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ให้ค่าร้อยละข้าวหักที่สูงที่สุดนั้นเป็นอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 58 โดยให้ค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทำนายอยู่ในช่วงร้อยละ 23 – 27

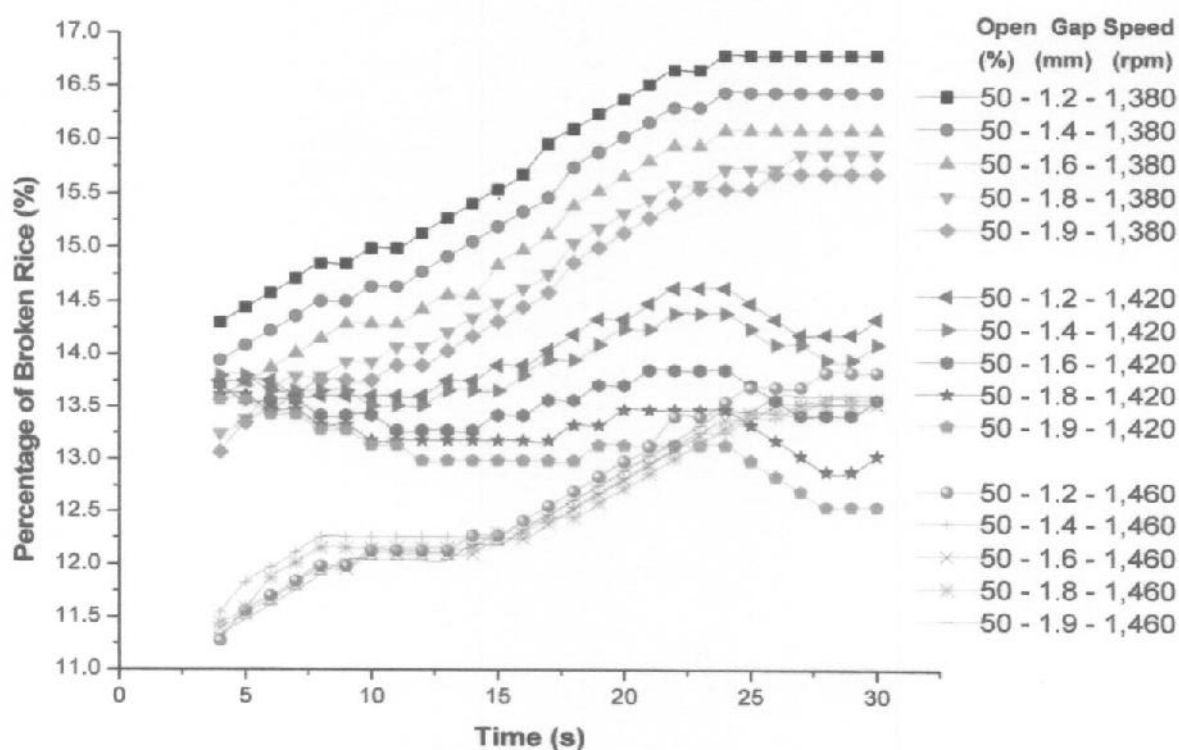
จากกราฟผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักในกรณีการทำนายอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก สามารถสรุปพฤติกรรมอัตราการแตกหักของข้าวสารที่จะเกิดขึ้นได้ว่า อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกมีผลต่อการเกิดการแตกหักของข้าวสารในกระบวนการสีข้าวอย่างชัดเจน กล่าวคือ อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่มีการเปิดพื้นที่ช่องปล่อยข้าวเปลือกที่น้อยหรือแคบ จะให้ค่าร้อยละข้าวหักที่น้อยกว่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่มีกว้างกว่า ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อ การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่แคบจะส่งผลให้อัตราการไหลของข้าวเปลือกลงสู่ห้องขัดข้าวไม่มาก จนเกินไปจึงทำให้กระบวนการขัดสีทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการเกิดข้าวหักที่ได้น้อยไปด้วย แต่หากเปิดพื้นที่ช่องปล่อยข้าวเปลือกมากขึ้น อัตราการไหลของข้าวเปลือกจะไหลลงสู่ห้องขัดข้าวมากขึ้นซึ่งอาจจะส่งผลให้กระบวนการขัดสีขาดความสมดุล ส่งผลให้เกิดอัตราข้าวหักที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

4.2.2 กรณีทำนายค่าร้อยละข้าวหัก โดยพิจารณาประเด็นของการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว

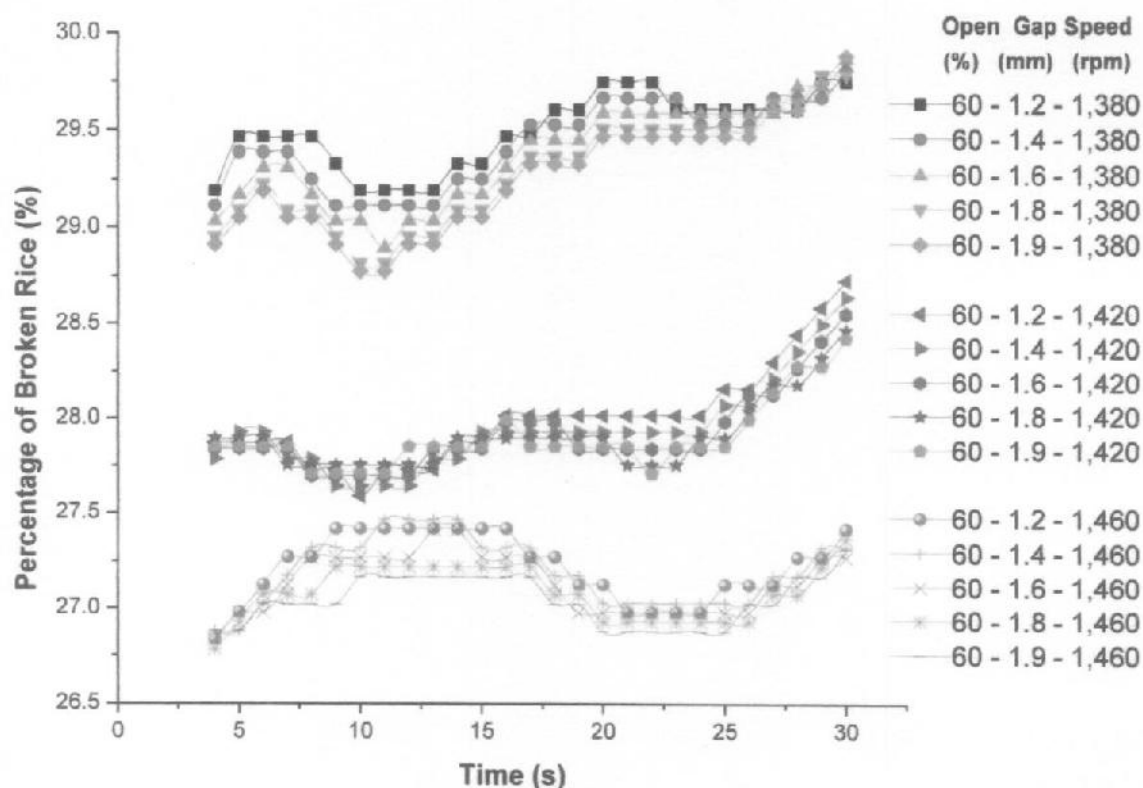
เป็นการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ระยะต่างๆ ด้วยเงื่อนไขของการทำงานที่เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกในอัตราร้อยละ 40, 50 และ 60 และกำหนดให้ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวอยู่ที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm ตามลำดับ โดยการทดลองนี้กำหนดให้อัตราการระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่จะใช้ในการทำนายอยู่ที่ 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 1.9 mm โดยข้อมูลนำเข้า (Input) ที่จะใช้ในการทำนายจะต้องผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) ก่อนเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายจะต้องถูกนำมาแปลงค่ากลับเพื่อให้เป็นค่าปกติอีกครั้งหนึ่ง ผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากเงื่อนไขการตั้งค่าอัตราระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ระยะต่างๆ สามารถแสดงได้ดังกราฟของภาพที่ 4.13 – 4.15



ภาพที่ 4.13 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 40 ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ใช้ในการทำนายคือ 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 1.9 mm



ภาพที่ 4.14 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ใช้ในการทำนายคือ 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 1.9 mm



ภาพที่ 4.15 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 60 ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ใช้ในการทำนายคือ 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 1.9 mm

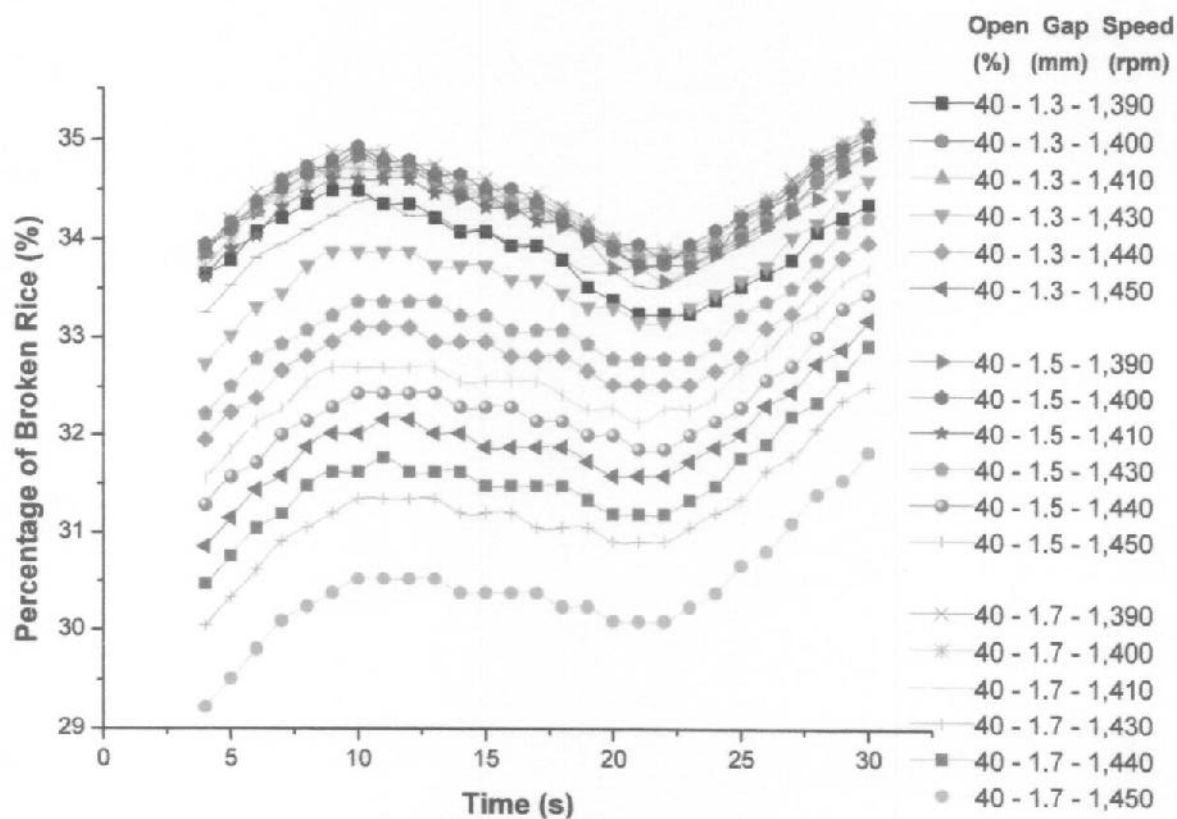
จากกราฟภาพที่ 4.13 - 4.15 พบว่าผลการทำนายที่ได้ทำให้ทราบว่า อัตราของระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวมีผลต่อค่าร้อยละข้าวหักอย่างชัดเจน กล่าวคือ เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวเพิ่มมากขึ้นจาก 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 1.9 mm ค่าแนวโน้มของร้อยละข้าวหักที่ได้จากแต่ละเงื่อนไขจะลดลง โดยหากพิจารณาแยกเฉพาะเงื่อนไข เช่น จากภาพที่ 4.15 เงื่อนไขของการตั้งค่าระดับอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 60 และความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380 โดยกำหนดให้อัตราระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 1.9 mm นั้น จากกราฟการทำนายจะพบว่า ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่มีการตั้งค่าระยะห่างที่แคบที่สุดคือ 1.2 จะทำให้เกิดการแตกหักของเมล็ดข้าวมากกว่าค่าอื่นๆ และระยะห่างที่ให้ค่าร้อยละข้าวหักต่ำลงมาจะเป็นระยะห่างที่ 1.4 1.6 1.8 และ 1.9 mm ตามลำดับ

ซึ่งจากกราฟการทำนายภาพที่ 4.13 – 4.15 พบว่า ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่มีการตั้งค่าระยะห่างที่แคบที่สุดคือ 1.2 จะทำให้เกิดการแตกหักของเมล็ดข้าวมากกว่าค่าอื่นๆในของแต่ละเงื่อนไขนั้นๆ และอัตราการแตกหักของเมล็ดข้าวจะลดลงเมื่อกำหนดให้ค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวและแท่งยางขัดข้าวกว้างมากขึ้น เมื่อนำกราฟการทำนายทั้ง 3 มาเปรียบเทียบกับพบว่ากราฟที่ 4.14 ในส่วนของเงื่อนไขการทำนายผลในกรณีการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 ที่ระดับความเร็วรอบ 1,420 rpm จะให้ค่าร้อยละข้าวหักที่ต่ำที่สุดคืออยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 11 – 17 โดยประมาณ

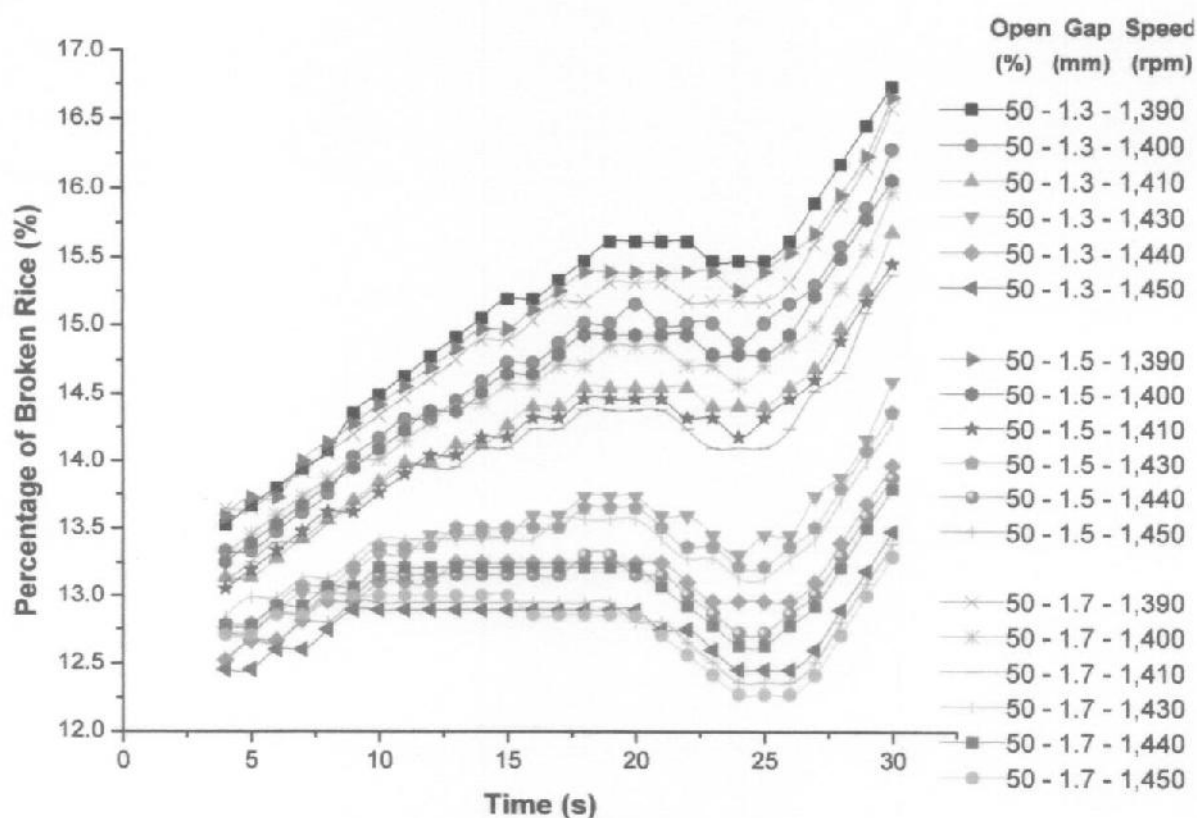
จากผลการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถอธิบายถึงพฤติกรรมและสรุปถึงแนวโน้มของอัตราการเกิดการแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าวได้ว่า ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว นั้น ระยะห่างมากขึ้นอัตราการเกิดข้าวหักจะลดลง ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่แคบ จะส่งผลให้กระบวนการขัดข้าวมีความเสียดทานและมีแรงกดที่มากกว่ากรณีที่มีการตั้งระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่กว้างกว่า จึงทำให้อัตราการการแตกหักที่ได้มากกว่า

4.2.3 กรณีทำนายค่าร้อยละข้าวหัก โดยพิจารณาประเด็นของการตั้งความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว

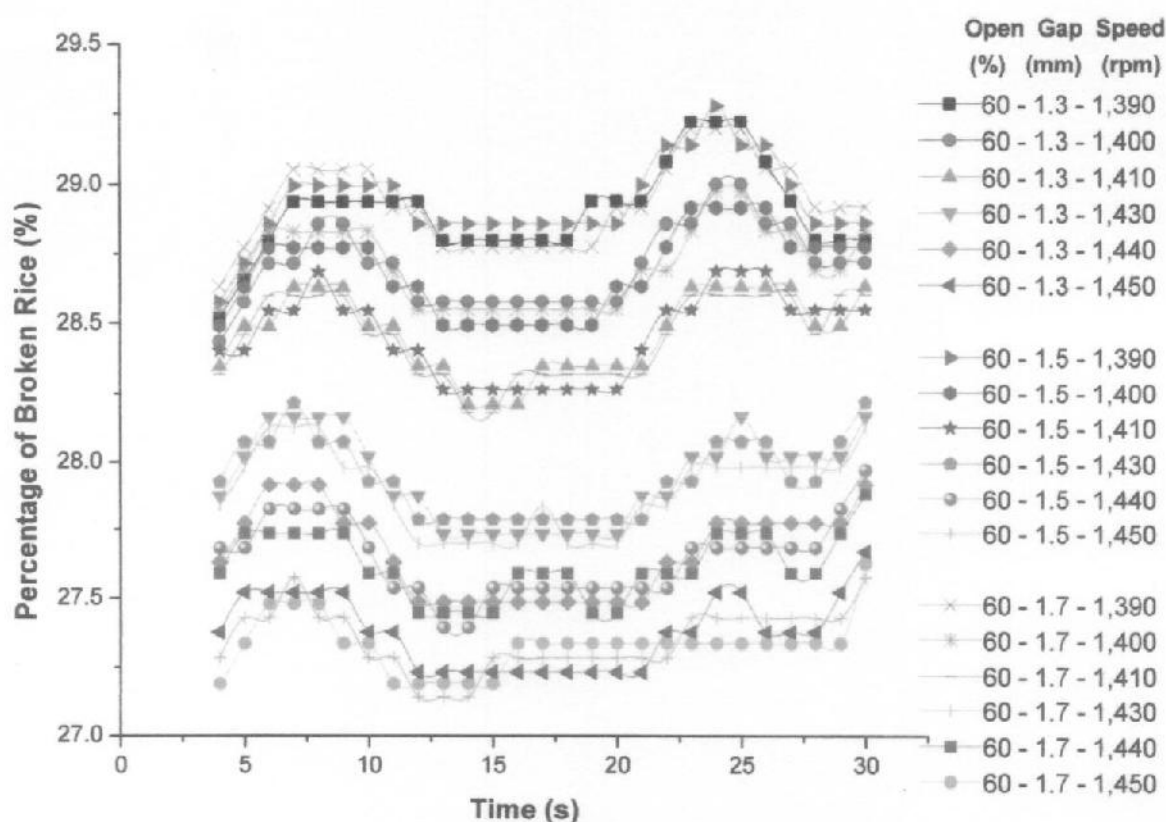
เป็นการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการตั้งค่าความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ระยะต่างๆ ด้วยเงื่อนไขของการทำงานที่เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกในอัตราร้อยละ 40, 50 และ 60 และให้มีค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวอยู่ที่ 1.3, 1.5 และ 1.7 mm ตามลำดับ โดยการทดลองนี้กำหนดให้ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่จะใช้ในการทำนายได้แก่ 1,390 1,400 1,410 1,430 1,440 และ 1,450 rpm โดยข้อมูลนำเข้า (Input) ที่จะใช้ในการทำนายจะต้องผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) ก่อนเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายจะต้องถูกนำมาแปลงค่ากลับเพื่อให้เป็นค่าปกติอีกครั้งหนึ่ง ผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากเงื่อนไขการตั้งค่าความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ระดับต่างๆ สามารถแสดงได้ดังกราฟในภาพที่ 4.16 – 4.18



ภาพที่ 4.16 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 40 ระหว่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 1.5 และ 1.7 mm โดยกำหนดให้ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในการทำนายคือ 1,390 1,400 1,410 1,430 1,440 และ 1,450 rpm



ภาพที่ 4.17 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 1.5 และ 1.7 mm โดยกำหนดให้ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในการทำนายคือ 1,390 1,400 1,410 1,430 1,440 และ 1,450 rpm



ภาพที่ 4.18 ผลการทำนายพฤติกรรมร้อยละของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากเงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 60 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 1.5 และ 1.7 mm โดยกำหนดให้ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ใช้ในการทำนายคือ 1,390 1,400 1,410 1,430 1,440 และ 1,450 rpm

จากกราฟผลการทำนายภาพที่ 4.16 - 4.18 ทำให้ทราบว่าอัตราความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวมีผลต่อค่าร้อยละข้าวหักอย่างชัดเจน กล่าวคือ ในแต่ละเงื่อนไขของการทดลอง เมื่อทำการเพิ่มความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวให้เพิ่มขึ้นจาก 1,390 1,400 1,410 1,430 1,440 และ 1,450 rpm อัตราร้อยละข้าวหักที่ได้ของจากแต่ละเงื่อนไขจะมีแนวโน้มที่ลดลง ดังเช่นตัวอย่างจากกราฟที่ 4.17 สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าในกรณีที่มีการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 และระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.5 mm พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราความเร็วรอบขึ้นจาก 1,390 1,400 1,410 1,430 1,440 และ 1,450 rpm นั้น จากกราฟการทำนายจะพบว่า ค่าร้อยละข้าวหักที่ได้มีแนวโน้มที่ลดลง และจากกราฟทำให้ทราบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาในการสีข้าวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อัตราข้าวหักที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากกราฟผลการทำนายภาพที่ 4.16 – 4.18 แสดงให้เห็นแนวโน้มของอัตราการผลิตข้าวหักได้ว่า เมื่อทำการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 40 50 และ 60 โดยกำหนดให้ค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 1.5 และ 1.7 mm พบว่า กลุ่มระดับความเร็วรอบที่ให้ค่าร้อยละข้าวหักต่ำที่สุดของการทดลองแต่ละเงื่อนไขคือ กลุ่มความเร็วรอบที่ 1,440 และ 1,450 rpm โดยที่ความเร็วรอบ 1,450 rpm จะให้ค่าร้อยละข้าวหักต่ำที่สุด ส่วนกลุ่มความเร็วรอบที่ 1,410 และ 1,430 rpm จะให้ค่าร้อยละข้าวหักอยู่ในระดับกลาง และกลุ่มของความเร็วรอบที่ให้ค่าร้อยละข้าวหักมากที่สุดคือ กลุ่มความเร็วรอบที่ 1,390 และ 1,400 rpm โดยเฉพาะค่าความเร็วรอบที่ 1,390 rpm จะให้ค่าร้อยละข้าวหักสูงที่สุดเป็นส่วนมากของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

และเมื่อนำกราฟการทำนายทั้ง 3 กราฟมาเปรียบเทียบกันพบว่ากราฟที่ 4.17 หรือการทำนายร้อยละข้าวหักในกรณีของการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 จะให้ค่าร้อยละข้าวหักที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 40 และ 60 โดยค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากกรณีการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 จะให้ค่าร้อยละข้าวหักอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 11 – 13

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและนำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) มาประยุกต์ใช้ในการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแกนนอนลูกเดียว (Single Horizontal Abrasive) โดยใช้ข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 ที่ความชื้นร้อยละ 14 ± 0.5 ในการทดลอง และทำการสีข้าว โดยตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการทดลองจะพิจารณาจากตัวแปรที่อิทธิพลต่อผลการแตกหักของข้าวสารที่ได้จากกระบวนการสีข้าวด้วยเครื่องขนาดเล็กได้แก่ ขนาดพื้นที่หน้าตัดช่องปล่อยข้าวเปลือก ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นแบบที่มีโครงสร้างหลายชั้น (Multilayer Perceptron) ใช้การเรียนรู้ของโครงข่ายชนิดมีการสอน (Supervised Learning) แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed - forward) ด้วยเทคนิควิธีการแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) โดยการใช้โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมหลักในการออกแบบและฝึกสอนโครงข่าย

ผลการวิจัยพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแบบหลายชั้น (Multilayer Perceptron) ใช้การเรียนรู้ของโครงข่ายชนิดมีการสอน (Supervised Learning) แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed - forward) ด้วยเทคนิควิธีการแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) มีประสิทธิภาพเพียงพอในการประยุกต์ใช้เพื่อทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยจากการทดลองพบว่า สถาปัตยกรรมโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการทำนายค่าร้อยละข้าวหัก เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 4 - 15 - 1 หรือ โครงข่ายที่มีตัวแปรนำเข้า (Input) 4 ตัวแปร มีจำนวนหน่วยย่อย (Node) ในชั้นซ่อนเท่ากับ 15 หน่วยย่อย และมีข้อมูลส่งออก (Output) เท่ากับ 1 โดยที่ภายในโครงสร้างประกอบด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ในชั้นที่ 1 เป็นแบบ Log-sigmoid Transfer Function (Logsig) และชั้นที่ 2 เป็นแบบ Hard Limit Transfer Function (Purelin) ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด Mean square error (MSE) น้อยที่สุด เท่ากับ $3.00e^{-07}$ และให้ค่า Regression ที่ได้เท่ากับ 0.99571

จากการทดสอบโครงข่ายและนำโครงข่ายประสาทเทียมมาทำการทำนายค่าร้อยละข้าวหักทำให้ทราบว่าโครงข่ายประสาทเทียม แบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า (Multilayer Feed Forward)

ด้วยเทคนิคแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation) โดยใช้การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกหัด (Supervised Learning) ใช้กฎการเรียนรู้ (Training Function) แบบ Levenberg Marquardt Algorithm (TRAINLM) และใช้ Adaption Learning Function แบบ Gradient Descent with Momentum Weight and Bias Learning Function (LEARNMGDM) มีประสิทธิภาพเพียงพอในการประยุกต์ใช้กับการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยทั้งนี้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงข่ายที่เลือกใช้ จำนวนชั้นซ่อน (Hidden Layer) จำนวนหน่วยย่อย (Node) และรวมถึงฟังก์ชันต่างๆที่กำหนดให้กับโครงข่ายอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ประสิทธิภาพการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ การกำหนดค่าและการเลือกใช้ฟังก์ชันชนิดต่างๆ การกำหนดจำนวนชั้นซ่อน จำนวนหน่วยย่อย อัลกอริทึมการเรียนรู้ที่เลือกใช้ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้ไม่มีข้อกำหนดในการเลือกที่แน่นอน ซึ่งจากการอ้างอิงงานวิจัยที่มีผู้ศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ว่าการเลือกใช้ปัจจัยต่างๆเหล่านี้จะอาศัยการลองผิดลองถูก ซึ่งไม่มีรูปแบบที่แน่นอนตายตัว ดังนั้นผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ จึงไม่อาจสรุปได้ว่าเป็นผลที่ดีที่สุด แต่สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปได้

5.2.2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความเหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้อาจนำมาใช้ในการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ที่มีสถานะการดำเนินการอยู่ภายในขอบเขตข้อมูลที่ใช้ในการฝึกในงานวิจัยนี้ได้ แต่ไม่สามารถนำไปใช้กับการทำนายกับสถานะในการดำเนินการที่แตกต่างหรือไม่ได้อยู่ในขอบเขตของการฝึกในงานวิจัยนี้ เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมจะมีความเฉพาะเจาะจงกับสถานะการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่านั้น

5.2.3 ในการฝึกสอนและเรียนรู้ของโปรแกรมภายใต้ปัจจัยและเงื่อนไขต่างๆ เป็นการฝึกสอนที่สามารถใช้ได้เฉพาะกรณี หากมีการเปลี่ยนแปลงค่าหรือจำนวนข้อมูลป้อนเข้า จำเป็นต้องทำการฝึกสอนและคัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสมใหม่ทุกครั้งไปเพื่อทำการวิเคราะห์ผลฝึกสอนและเรียนรู้ ก่อนที่จะนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากการฝึกสอนนั้นๆไปใช้งานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปีการเพาะปลูก 2547.

<http://www.oae.go.th/statistic/export/1301RI.xls>. มีนาคม, 2547.

กระทรวงพาณิชย์. “ประกาศกระทรวงพาณิชย์ เรื่อง มาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2540”, ใน ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 114. น.31. กรุงเทพฯ : กระทรวงพาณิชย์.

กัญญา เชื้อพันธุ์. เทคโนโลยีการผลิตข้าวหอมมะลิคุณภาพดีคุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ.

กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตรและกรมส่งเสริมสหกรณ์, 2541.

กุศล ประกอบการ. การทดสอบเปรียบเทียบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2542.

เครือข่าย อัครวิริยะสุข. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ และการแปรสภาพเมล็ด. ปทุมธานี :

ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, 2534.

งามชื่น คงเสรี. “เทคนิคการทดสอบคุณภาพข้าว”, หนังสือพิมพ์กสิกร. 72(2) : 5 ; มีนาคม –

เมษายน, 2542.

จักร จักกะพาก. เครื่องจักรกลการเกษตร. กรุงเทพฯ : ดวงกมล, 2528.

ฉัตรราช สุภารัตน์. เครื่องเกี่ยวนวด. ชลบุรี : คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ สถาบันเทคโนโลยี

ราชมงคลชลบุรี, 2535.

ชาญ มงคล. ข้าว. กรุงเทพฯ : ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการหน่วยศึกษานิเทศก์

กรมการฝึกหัดครู, 2536.

ชาญชัย วราชนสิน. การประมาณราคาก่อสร้างอาคารสูงโดยใช้ทฤษฎีเครือข่ายประสาทเทียม.

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

ธนบุรี, 2544.

ทินกร คุณสมิตปัญญา. การจัดลำดับความสำคัญของสายทางในงานบำรุงรักษาทางหลวงชนบท

โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต :

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.

ธวัช เกษสถิตย์. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความเข้มการแผ่รังสีพลังงาน

แสงอาทิตย์. การค้นคว้าอิสระปริญญาคุรุศาสตรบัณฑิตสาขาสหกรรมมหาบัณฑิต :

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ธิดิกานต์ บุญแข็ง และ สุขอังคณา ลิ. “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก”, ใน การประชุมข่วงงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : โรงแมมอินเฮอร์คอนดิเนนคัล, 2549.
- ธัญนันท์ ฤทธิมณี. การพยากรณ์คุณภาพของสั้มสายน้ำฝั้หลังการขนส่งทางรถบรรทุกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549.
- นภา กังเกียรติกุล. ผลกระทบของภาวะอากาศต่อคุณภาพการสีข้าวอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535.
- บัณฑิต สุริยวงศ์พงศา. อิทธิพลของอัตราการไหลและอุณหภูมิของลมดูดในหึ่งขัดข้าวที่มีผลต่อการแตกหักของข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547.
- ประพาส วีระแพทย์. ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, 2526.
- ประพันธ์ ศิริพลัฒา. รายงานวิจัยเครื่องสีข้าวแบบไฟฟ้า. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2530.
- ปิติ เล็กอุทัย. การประมาณค่าของตำแหน่งสถานีเคลื่อนที่โดยนิวรอลเนตเวิร์ค. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- ผดุงศักดิ์ วานิชขง. การจัดการโรงสีข้าว. ชลบุรี : คณะเกษตรศาสตร์ บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลชลบุรี, 2535.
- ภิสสิธิศักดิ์ เกื้อมา. การคาดการณ์จำนวนเลขหมายขัดข้องแยกตามประเภทเหตุเสียต่างๆของโทรศัพท์พื้นฐานในเขตนครหลวง บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ. การค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- ไมตรี แนวพานิช. คุณภาพของข้าวเปลือก. กรุงเทพฯ : กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, 2544. (อค์สำเนา)
- วาสนา วรมิษฐ์. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวหอมไทย. ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2538.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สมนึก ชุติปปี้ และ ประสงค์ ชุ่มใจหาญ. “การศึกษาความแข็งของเมล็ดข้าวหอมมะลิที่อุณหภูมิห้องแตกต่างกัน”, ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. น.350 – 359. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2544.
- สะอาด เณรรอด. แบบจำลองทำนายผลการวิเคราะห์น้ำมันเครื่องยนต์รถบรรทุกขนาด 85 ตันของเหมืองแม่เมาะโดยโครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.
- สุขอังคณา ถี. รายงานวิจัยอิทธิพลของรูปร่างและขนาดช่องปล่อยข้าวเปลือกต่อประสิทธิภาพเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. อุบลราชธานี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2547.
- สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการพยากรณ์ผลผลิตอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552.
- สัมพันธ์ ไชยเทพ. การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุการแตกหักของเมล็ดข้าวในกระบวนการสีข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. การผลิตและการตลาดข้าวหอมมะลิ. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2542.
- อรรควุฒิ ทศน์สองชั้น. เรื่องของข้าว. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530.
- อรุณ อุ๋นไธสง. การพัฒนาปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการสีข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2549.
- Adnan, T. “Predicting moisture content of agricultural products using artificial neural networks”, Advances in Engineering Software. 41(3): 464-470, 2010.
- Assidjo, E. B., Yao, K. K. and Aman, D. “Modeling of an industrial drying process by artificial neural networks”, Brazilian Journal of Chemical Engineering. 25(3): 515-522, 2008.
- Autrey, H. S., Grigorieff, W. W., Altschul, A. M. and Hogan, J. T. “Effect of milling condition on breakage of rice grains”, Agr. And food Chem. 3(7): 593 – 599, 1955.
- Bhatia, K. Effect of environment condition during milling on breakage of rice grains. M.A.’s Thesis. Louisiana: Louisiana State University. 1969.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Chegini, G. R., Khazaei, J., Ghobadian, B. and Goudarzi, A. M. "Prediction of process and product parameters in an orange juice spray dryer using artificial neural networks", Journal of Food Engineering. 84(4): 534-543, 2008.
- Cherian R. P., Smith, L. N. and Midha, P. S. "A neural network approach for selection of powder metallurgy materials and process parameters", Artificial Intelligence in Engineering. 14(1): 39-44, 2000.
- Chester, M. Neural Network A Tutorial. New Jersey: PTR Prentice – Hall Englewood, 1993.
- Hagan, M.T., Demuth, H. B. and Beals, M. Neural Network Design. U.S.A.: PWS Publishing Company, 1996.
- Harry, T., Van, L. and Ruiten, H. "Rice Milling In Southeast asia cooperative post – harvest research & development", in Southeast Asia cooperative post-harvest research & development. pp. 148-235, 1981.
- Henderson, S. M. "The causes of characteristic of rice checking", Rice J. 57(5): 16-18, 1954.
- Hidayet, O., Saritas, I. and Baydan, H. E. "Prediction of diesel engine performance using biofuels with artificial neural network", Expert Systems with Applications. 37(9): 6579-6586. September, 2010.
- Howard, D. and Mark, B. "Neural Network Toolbox User 's Guide", The Math Works. MA: Prime Park Way, Natic, 1994.
- Khan, A. L., Topping, B. H. V. and Bahreininejad, A. Neural Networks and Combinatorial Optimization in Civil and Structural Engineering. Edinburgh: CIVIL COPM Press, 1993.
- Kumar, S. and Jain, A. "Knowledge extraction from trained neural network hydrologic models", in Proc. of the National Conference HYDRO 2008. 15-16; December, 2008.
- Kunze, O. R., and Hall, C. W. "Relative Humidity changes that cause brown rice to crack", Trans of the ASAE. 8(3): 396 – 399, 1965.
- Leib, T. M., Mills, P. L., Lerou, J. J. and Turner, J. R. "Evaluation of neural networks for simulation of three phase bubble column reactors", Trans IChemE. 73A: 690–6, 1995.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- McKim, R., Adas. A. and Handa, V.K. "Construction Firm Organizational Effectiveness: A Neural Network Network – based Prediction Methodology", in The Organization and Management of Construction Shaping and Practice. pp. 247 – 256. Langford: D.A. and Retik, A. (Eds.), E & FN Spon, 1996.
- Medsker, L., Turban, E. and Trippi, R. R. "Neural Network Fundamentals for Financial Analysis", in Neural Network in Finance and Investing (R. R. Trippi and E. Turban, Eds). London: Probus Publishing Company, 1993.
- Movagharnjad, K. and Nikzad, M. "Modeling of tomato drying using artificial neural network", Computers and electronics in agriculture. 59: 78-85, 2007.
- Nakata, S. Heritability Estimates Concerning Some Physic Characteristics of the Rice Grain. M.S.'s Thesis. Bangkok: Kasersart University, 1972.
- Necla, K. T. and Sedat, B. "Prediction of torque and specific fuel consumption of a gasoline engine by using artificial neural networks", Applied Energy. 87(1): 349-355; January, 2010.
- Olajide, J. O., Igbeka, J. C., Afolabi, T. J. and Emiola, O. A. "Prediction of oil yield from groundnut kernels in an hydraulic press using artificial neural network (ANN)", Journal of Food Engineering. 81(4): 643-646; August, 2007.
- Paisan, K., Piyanuch T., Hussain, M. A. and Daosud, W. "Neural network based model predictive control for a steel pickling process", Journal of Process Control. 19(4): 579-590; April, 2009.
- Psichogios, D. C. and Ungar, L. H. "A hybrid neural network – first principles approach to process modeling", AIChE J. 38: 1499-511, 1992.
- Rahman, M. M. and Bala, B. K. "Modelling of jute production using artificial neural networks", Biosystems Engineering. 105(3): 350-356; March, 2010.
- Samad, T. and Mathur, A. "Parameter estimation for process control with neural networks", Int J Approx Reason. 7:149-64, 1992.
- Shankar, T. J. and Bandyopadhyay, S. "Prediction of Extrudate Properties Using Artificial Neural Networks", Food and Bioproducts Processing. 85(1): 29-33; March, 2007.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Smith, M. Neural Network for Statistical Modelling. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.
- Somrith, B. Genetic Analysis of Traits Related to Grain Yield and Quality in Two Crosses of Rice (*Oryza sativa* L.). Doctor's Thesis. New Delhi: Indian Arg. Res. Inst., 1974.
- Supachai, P., Kullapapru, P. and Arthit, A. "A neural network approach to the selection of feed mix in the feed industry", Computers and Electronics in Agriculture. 68(1): 18-24; August, 2009.
- Tokar, A. S., and Jonhson, P. A. "Rainfall – Runoff Modeling Using Artificial Neural Network", Journal of Hydrologic Engineering. 4(3): 232 – 239, 1999.
- Tohma, S. and Igata, S. "Rainfall Estimation from GMS Imagery Data Using Neural Network", Hydraulic Engineering software. 1: 121 – 130, 1944.
- Visetkul, M. "Improvement of Rice Processing Technology", Thailand Engineering Journal. 37(4): 110 -115, 1984.
- Yeh, Y. C., Kuo, Y. H. and Hsu, D. S. "Building KBES for Diagnosing PC Pile with Artificial Neural Network", Journal of Computing in Civil Engineering ASCE. No.226, pp. 71 – 93, 1990.

ภาคผนวก

1. ตารางเก็บข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแกนนอนลูกเดียว

ตารางที่ ผ.1 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของลูก หินขัดข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าว รวม (กรัม)	น้ำหนักข้าว หัก (กรัม)	น้ำหนักข้าว ดี (กรัม)	ร้อยละ ข้าวหัก
1	900	1.3	1,380	10	44.54	14.47	30.07	32.49
2	900	1.3	1,380	20	64.61	21.10	43.51	32.66
3	900	1.3	1,380	30	64.70	21.51	43.19	33.25
4	900	1.3	1,380	40	66.72	22.36	44.36	33.51
5	900	1.3	1,380	50	68.87	22.99	45.88	33.38
6	900	1.3	1,380	60	70.35	23.62	46.73	33.57
7	900	1.3	1,380	70	70.84	23.44	47.40	33.09
8	900	1.3	1,380	80	70.81	24.33	46.48	34.36
9	900	1.3	1,380	90	75.30	25.74	49.56	34.18
10	900	1.3	1,380	100	77.25	24.68	52.57	31.95
11	900	1.3	1,380	110	76.97	25.91	51.06	33.66
12	900	1.3	1,380	120	76.30	25.17	51.13	32.99
13	900	1.3	1,380	130	71.74	23.70	48.04	33.04
14	900	1.3	1,380	140	79.66	26.04	53.62	32.69
15	900	1.3	1,380	150	73.22	24.52	48.70	33.49
16	900	1.3	1,380	160	73.69	24.21	49.48	32.85
17	900	1.3	1,380	170	67.88	21.41	46.47	31.54
18	900	1.3	1,380	180	68.12	22.73	45.39	33.37
19	900	1.3	1,380	190	73.32	24.97	48.35	34.06
20	900	1.3	1,380	200	78.15	26.48	51.67	33.88
21	900	1.3	1,380	210	76.78	24.98	51.80	32.53
22	900	1.3	1,380	220	77.79	27.03	50.76	34.75
23	900	1.3	1,380	230	78.57	26.79	51.78	34.10

ตารางที่ ผ.1 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง (mm)	ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (rpm)	เวลาการสีข้าว (วินาที)	น้ำหนักข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนักข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนักข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าวหัก
24	900	1.3	1,380	240	70.49	22.89	47.60	32.47
25	900	1.3	1,380	250	85.98	28.20	57.78	32.80
26	900	1.3	1,380	260	64.76	21.70	43.06	33.51
27	900	1.3	1,380	270	68.85	22.00	46.85	31.95
28	900	1.3	1,380	280	61.50	21.04	40.46	34.21
29	900	1.3	1,380	290	69.27	22.93	46.34	33.10
30	900	1.3	1,380	300	63.47	21.83	41.64	34.39

ตารางที่ ผ.2 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	900	1.3	1,420	10	13.64	4.59	9.05	33.65
2	900	1.3	1,420	20	59.41	19.08	40.33	32.12
3	900	1.3	1,420	30	67.01	21.96	45.05	32.77
4	900	1.3	1,420	40	67.98	22.72	45.26	33.42
5	900	1.3	1,420	50	61.67	21.08	40.59	34.18
6	900	1.3	1,420	60	69.69	23.42	46.27	33.61
7	900	1.3	1,420	70	71.09	24.41	46.68	34.34
8	900	1.3	1,420	80	70.39	22.99	47.40	32.66
9	900	1.3	1,420	90	70.91	23.45	47.46	33.07
10	900	1.3	1,420	100	66.59	22.43	44.16	33.68
11	900	1.3	1,420	110	69.89	23.69	46.20	33.90
12	900	1.3	1,420	120	68.10	23.46	44.64	34.45
13	900	1.3	1,420	130	65.89	22.87	43.02	34.71
14	900	1.3	1,420	140	76.14	25.74	50.40	33.81
15	900	1.3	1,420	150	69.74	23.29	46.45	33.40
16	900	1.3	1,420	160	69.22	23.56	45.66	34.04
17	900	1.3	1,420	170	72.43	23.39	49.04	32.29
18	900	1.3	1,420	180	77.19	24.85	52.34	32.19
19	900	1.3	1,420	190	69.75	23.46	46.29	33.63
20	900	1.3	1,420	200	70.72	23.34	47.38	33.00
21	900	1.3	1,420	210	72.53	25.10	47.43	34.61
22	900	1.3	1,420	220	70.28	24.01	46.27	34.16
23	900	1.3	1,420	230	73.88	25.64	48.24	34.70
24	900	1.3	1,420	240	76.12	24.86	51.26	32.66
25	900	1.3	1,420	250	72.96	24.37	48.59	33.40
26	900	1.3	1,420	260	71.87	25.44	46.43	35.40

ตารางที่ ผ.2 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm²ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการ สีข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	900	1.3	1,420	270	71.30	24.35	46.95	34.15
28	900	1.3	1,420	280	64.17	21.21	42.96	33.05
29	900	1.3	1,420	290	69.03	24.00	45.03	34.77
30	900	1.3	1,420	300	67.90	24.02	43.88	35.38

ตารางที่ ผ.3 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	900	1.3	1,460	10	56.21	15.74	40.47	28.00
2	900	1.3	1,460	20	94.54	28.86	65.68	30.53
3	900	1.3	1,460	30	106.74	30.65	76.09	28.71
4	900	1.3	1,460	40	107.53	30.76	76.77	28.61
5	900	1.3	1,460	50	99.43	31.23	68.20	31.41
6	900	1.3	1,460	60	104.07	31.78	72.29	30.54
7	900	1.3	1,460	70	113.77	34.68	79.09	30.48
8	900	1.3	1,460	80	99.16	32.04	67.12	32.31
9	900	1.3	1,460	90	95.01	28.48	66.53	29.98
10	900	1.3	1,460	100	97.88	30.00	67.88	30.65
11	900	1.3	1,460	110	105.52	32.87	72.65	31.15
12	900	1.3	1,460	120	106.22	33.54	72.68	31.58
13	900	1.3	1,460	130	106.93	33.05	73.88	30.91
14	900	1.3	1,460	140	96.34	31.98	64.36	33.19
15	900	1.3	1,460	150	106.38	32.30	74.08	30.36
16	900	1.3	1,460	160	91.54	28.38	63.16	31.00
17	900	1.3	1,460	170	99.47	31.85	67.62	32.02
18	900	1.3	1,460	180	99.37	30.23	69.14	30.42
19	900	1.3	1,460	190	107.75	31.58	76.17	29.31
20	900	1.3	1,460	200	104.54	34.00	70.54	32.52
21	900	1.3	1,460	210	101.80	30.44	71.36	29.90
22	900	1.3	1,460	220	106.02	32.66	73.36	30.81
23	900	1.3	1,460	230	83.22	25.60	57.62	30.76
24	900	1.3	1,460	240	97.22	27.40	69.82	28.18
25	900	1.3	1,460	250	86.87	29.43	57.44	33.88
26	900	1.3	1,460	260	80.51	23.91	56.60	29.70

ตารางที่ ผ.3 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	900	1.3	1,460	270	93.95	31.05	62.90	33.05
28	900	1.3	1,460	280	97.22	30.48	66.74	31.35
29	900	1.3	1,460	290	93.17	31.06	62.11	33.34
30	900	1.3	1,460	300	96.86	30.44	66.42	31.43

ตารางที่ ผ.4 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	900	1.5	1,380	10	54.82	9.89	44.93	18.04
2	900	1.5	1,380	20	105.49	20.80	84.69	19.72
3	900	1.5	1,380	30	103.18	22.59	80.59	21.89
4	900	1.5	1,380	40	93.87	20.57	73.30	21.91
5	900	1.5	1,380	50	84.68	17.86	66.82	21.09
6	900	1.5	1,380	60	96.25	19.56	76.69	20.32
7	900	1.5	1,380	70	87.25	16.63	70.62	19.06
8	900	1.5	1,380	80	105.67	20.70	84.97	19.59
9	900	1.5	1,380	90	84.01	17.88	66.13	21.28
10	900	1.5	1,380	100	101.03	20.15	80.88	19.94
11	900	1.5	1,380	110	95.78	18.76	77.02	19.59
12	900	1.5	1,380	120	106.19	19.04	87.15	17.93
13	900	1.5	1,380	130	93.47	20.00	73.47	21.40
14	900	1.5	1,380	140	92.22	17.32	74.90	18.78
15	900	1.5	1,380	150	90.18	16.73	73.45	18.55
16	900	1.5	1,380	160	100.69	21.05	79.64	20.91
17	900	1.5	1,380	170	96.37	17.58	78.79	18.24
18	900	1.5	1,380	180	36.74	8.12	28.62	22.10
19	900	1.5	1,380	190	96.81	20.73	76.08	21.41
20	900	1.5	1,380	200	97.39	20.33	77.06	20.87
21	900	1.5	1,380	210	102.12	21.08	81.04	20.64
22	900	1.5	1,380	220	109.09	20.77	88.32	19.04
23	900	1.5	1,380	230	98.28	21.21	77.07	21.58
24	900	1.5	1,380	240	101.39	23.23	78.16	22.91
25	900	1.5	1,380	250	108.24	22.89	85.35	21.15
26	900	1.5	1,380	260	102.66	21.98	80.68	21.41

ตารางที่ ผ.4 ผลของข้อมูลที่ได้จากการตีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm^2 ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน $1,380 \text{ rpm}$ (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการตี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	900	1.5	1,380	270	106.12	21.58	84.54	20.34
28	900	1.5	1,380	280	102.90	21.37	81.53	20.77
29	900	1.5	1,380	290	79.86	17.46	62.40	21.86
30	900	1.5	1,380	300	117.80	25.32	92.48	21.49

ตารางที่ ผ.5 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสืข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	900	1.5	1,420	10	20.97	4.22	16.75	20.12
2	900	1.5	1,420	20	73.86	14.35	59.51	19.43
3	900	1.5	1,420	30	82.29	17.70	64.59	21.51
4	900	1.5	1,420	40	78.82	16.03	62.79	20.34
5	900	1.5	1,420	50	76.88	16.44	60.44	21.38
6	900	1.5	1,420	60	80.13	17.58	62.55	21.94
7	900	1.5	1,420	70	76.79	16.40	60.39	21.36
8	900	1.5	1,420	80	71.70	16.08	55.62	22.43
9	900	1.5	1,420	90	87.79	19.28	68.51	21.96
10	900	1.5	1,420	100	67.94	16.29	51.65	23.98
11	900	1.5	1,420	110	70.87	16.25	54.62	22.93
12	900	1.5	1,420	120	78.76	17.31	61.45	21.98
13	900	1.5	1,420	130	79.36	17.92	61.44	22.58
14	900	1.5	1,420	140	71.58	16.18	55.40	22.60
15	900	1.5	1,420	150	81.42	18.07	63.35	22.19
16	900	1.5	1,420	160	69.15	15.37	53.78	22.23
17	900	1.5	1,420	170	66.41	14.99	51.42	22.57
18	900	1.5	1,420	180	69.13	15.14	53.99	21.90
19	900	1.5	1,420	190	75.17	15.80	59.37	21.02
20	900	1.5	1,420	200	74.31	16.81	57.50	22.62
21	900	1.5	1,420	210	70.45	15.90	54.55	22.57
22	900	1.5	1,420	220	67.07	15.39	51.68	22.95
23	900	1.5	1,420	230	71.12	16.67	54.45	23.44
24	900	1.5	1,420	240	70.72	16.10	54.62	22.77
25	900	1.5	1,420	250	71.23	16.58	54.65	23.28
26	900	1.5	1,420	260	67.68	15.44	52.24	22.81

ตารางที่ ผ.5 ผลของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	900	1.5	1,420	270	74.29	16.23	58.06	21.85
28	900	1.5	1,420	280	75.53	17.06	58.47	22.59
29	900	1.5	1,420	290	69.21	16.98	52.23	24.53
30	900	1.5	1,420	300	65.59	15.68	49.91	23.91

ตารางที่ ผ.6 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสัข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	900	1.5	1,460	10	23.53	4.51	19.02	19.17
2	900	1.5	1,460	20	67.89	14.21	53.68	20.93
3	900	1.5	1,460	30	75.94	17.25	58.69	22.72
4	900	1.5	1,460	40	78.15	17.66	60.49	22.60
5	900	1.5	1,460	50	74.53	16.33	58.20	21.91
6	900	1.5	1,460	60	73.43	16.57	56.86	22.57
7	900	1.5	1,460	70	75.29	16.77	58.52	22.27
8	900	1.5	1,460	80	78.36	16.92	61.44	21.59
9	900	1.5	1,460	90	71.69	15.61	56.08	21.77
10	900	1.5	1,460	100	71.94	16.67	55.27	23.17
11	900	1.5	1,460	110	73.73	16.44	57.29	22.30
12	900	1.5	1,460	120	74.45	15.84	58.61	21.28
13	900	1.5	1,460	130	71.66	14.87	56.79	20.75
14	900	1.5	1,460	140	66.72	12.90	53.82	19.33
15	900	1.5	1,460	150	71.24	15.70	55.54	22.04
16	900	1.5	1,460	160	70.89	14.42	56.47	20.34
17	900	1.5	1,460	170	77.40	16.04	61.36	20.72
18	900	1.5	1,460	180	70.36	14.36	56.00	20.41
19	900	1.5	1,460	190	70.45	15.47	54.98	21.96
20	900	1.5	1,460	200	76.30	15.97	60.33	20.93
21	900	1.5	1,460	210	84.07	19.49	64.58	23.18
22	900	1.5	1,460	220	78.23	16.74	61.49	21.40
23	900	1.5	1,460	230	72.56	17.23	55.33	23.75
24	900	1.5	1,460	240	71.41	15.23	56.18	21.33
25	900	1.5	1,460	250	82.33	17.60	64.73	21.38
26	900	1.5	1,460	260	71.04	15.17	55.87	21.35

ตารางที่ ผ.6 ผลของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	900	1.5	1,460	270	56.73	14.02	42.71	24.71
28	900	1.5	1,460	280	65.59	15.22	50.37	23.20
29	900	1.5	1,460	290	74.40	18.08	56.32	24.30
30	900	1.5	1,460	300	69.96	16.42	53.54	23.47

ตารางที่ ผ.7 ผลของข้อมูลที่ได้จากการตีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	900	1.7	1,380	10	45.69	4.45	41.24	9.74
2	900	1.7	1,380	20	94.33	10.72	83.61	11.36
3	900	1.7	1,380	30	104.20	12.30	91.90	11.80
4	900	1.7	1,380	40	119.75	12.66	107.09	10.57
5	900	1.7	1,380	50	122.89	12.23	110.66	9.95
6	900	1.7	1,380	60	125.80	13.93	111.87	11.07
7	900	1.7	1,380	70	113.02	11.83	101.19	10.47
8	900	1.7	1,380	80	103.98	11.89	92.09	11.43
9	900	1.7	1,380	90	101.23	11.00	90.23	10.87
10	900	1.7	1,380	100	94.03	10.14	83.89	10.78
11	900	1.7	1,380	110	103.91	9.87	94.04	9.50
12	900	1.7	1,380	120	92.30	9.34	82.96	10.12
13	900	1.7	1,380	130	116.47	12.73	103.74	10.93
14	900	1.7	1,380	140	107.77	10.94	96.83	10.15
15	900	1.7	1,380	150	106.79	11.33	95.46	10.61
16	900	1.7	1,380	160	100.25	12.42	87.83	12.39
17	900	1.7	1,380	170	96.14	11.52	84.62	11.98
18	900	1.7	1,380	180	95.77	11.26	84.51	11.76
19	900	1.7	1,380	190	93.25	10.24	83.01	10.98
20	900	1.7	1,380	200	82.44	10.30	72.14	12.49
21	900	1.7	1,380	210	86.56	9.52	77.04	11.00
22	900	1.7	1,380	220	95.00	10.46	84.54	11.01
23	900	1.7	1,380	230	93.89	10.87	83.02	11.58
24	900	1.7	1,380	240	94.34	10.72	83.62	11.36
25	900	1.7	1,380	250	86.12	10.02	76.10	11.63
26	900	1.7	1,380	260	82.84	9.05	73.79	10.92

ตารางที่ ผ.7 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	900	1.7	1,380	270	95.90	10.87	85.03	11.33
28	900	1.7	1,380	280	81.20	8.53	72.67	10.50
29	900	1.7	1,380	290	90.50	10.71	79.79	11.83
30	900	1.7	1,380	300	72.06	7.51	64.55	10.42

ตารางที่ ผ.8 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	900	1.7	1,420	10	27.48	2.88	24.60	10.48
2	900	1.7	1,420	20	79.47	9.08	70.39	11.43
3	900	1.7	1,420	30	66.11	6.74	59.37	10.20
4	900	1.7	1,420	40	88.34	10.45	77.89	11.83
5	900	1.7	1,420	50	68.55	8.15	60.40	11.89
6	900	1.7	1,420	60	82.78	8.63	74.15	10.43
7	900	1.7	1,420	70	76.97	9.00	67.97	11.69
8	900	1.7	1,420	80	71.11	7.90	63.21	11.11
9	900	1.7	1,420	90	73.98	8.21	65.77	11.10
10	900	1.7	1,420	100	74.44	8.52	65.92	11.45
11	900	1.7	1,420	110	72.87	8.40	64.47	11.53
12	900	1.7	1,420	120	70.22	8.40	61.82	11.96
13	900	1.7	1,420	130	78.39	9.11	69.28	11.62
14	900	1.7	1,420	140	67.72	8.72	59.00	12.88
15	900	1.7	1,420	150	69.56	8.46	61.10	12.16
16	900	1.7	1,420	160	75.76	9.95	65.81	13.13
17	900	1.7	1,420	170	62.85	7.54	55.31	12.00
18	900	1.7	1,420	180	70.96	9.20	61.76	12.97
19	900	1.7	1,420	190	66.71	9.38	57.33	14.06
20	900	1.7	1,420	200	76.42	9.82	66.60	12.85
21	900	1.7	1,420	210	64.53	9.00	55.53	13.95
22	900	1.7	1,420	220	70.02	8.44	61.58	12.05
23	900	1.7	1,420	230	74.63	9.81	64.82	13.14
24	900	1.7	1,420	240	64.61	7.56	57.05	11.70
25	900	1.7	1,420	250	71.61	8.47	63.14	11.83
26	900	1.7	1,420	260	78.57	10.32	68.25	13.13

ตารางที่ ผ.8 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง (mm)	ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (rpm)	เวลาการสีข้าว (วินาที)	น้ำหนักข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนักข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนักข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าวหัก
27	900	1.7	1,420	270	124.23	13.85	110.38	11.15
28	900	1.7	1,420	280	74.47	9.08	65.39	12.19
29	900	1.7	1,420	290	66.86	8.79	58.07	13.15
30	900	1.7	1,420	300	66.42	8.98	57.44	13.52

ตารางที่ ผ.9 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm

ลำดับ	เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง (mm)	ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (rpm)	เวลาการสีข้าว (วินาที)	น้ำหนักข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนักข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนักข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าวหัก
1	900	1.7	1,460	10	33.67	5.12	28.55	15.21
2	900	1.7	1,460	20	76.62	13.71	62.91	17.89
3	900	1.7	1,460	30	77.64	13.36	64.28	17.21
4	900	1.7	1,460	40	81.34	13.49	67.85	16.58
5	900	1.7	1,460	50	82.65	14.79	67.86	17.89
6	900	1.7	1,460	60	79.49	14.44	65.05	18.17
7	900	1.7	1,460	70	72.95	13.62	59.33	18.67
8	900	1.7	1,460	80	79.50	13.96	65.54	17.56
9	900	1.7	1,460	90	75.60	15.50	60.10	20.50
10	900	1.7	1,460	100	76.34	14.36	61.98	18.81
11	900	1.7	1,460	110	62.61	12.63	49.98	20.17
12	900	1.7	1,460	120	72.13	14.47	57.66	20.06
13	900	1.7	1,460	130	79.03	15.04	63.99	19.03
14	900	1.7	1,460	140	70.37	14.78	55.59	21.00
15	900	1.7	1,460	150	73.61	14.96	58.65	20.32
16	900	1.7	1,460	160	62.39	12.19	50.20	19.54
17	900	1.7	1,460	170	64.81	12.60	52.21	19.44
18	900	1.7	1,460	180	65.69	13.88	51.81	21.13
19	900	1.7	1,460	190	68.86	14.49	54.37	21.04
20	900	1.7	1,460	200	67.78	14.63	53.15	21.58
21	900	1.7	1,460	210	63.02	12.13	50.89	19.25
22	900	1.7	1,460	220	63.74	12.17	51.57	19.09
23	900	1.7	1,460	230	71.82	14.27	57.55	19.87
24	900	1.7	1,460	240	64.01	12.67	51.34	19.79
25	900	1.7	1,460	250	64.89	13.70	51.19	21.11
26	900	1.7	1,460	260	68.00	13.27	54.73	19.51

ตารางที่ ผ.9 ผลของข้อมูลที่ได้จากการใส่ข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 900 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	900	1.7	1,460	270	86.56	17.87	68.69	20.64
28	900	1.7	1,460	280	75.11	15.75	59.36	20.97
29	900	1.7	1,460	290	58.13	12.08	46.05	20.78
30	900	1.7	1,460	300	61.55	12.44	49.11	20.21

ตารางที่ ผ.10 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสืงข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm²

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,125	1.3	1,380	10	112.35	15.44	96.91	13.74
2	1,125	1.3	1,380	20	83.42	11.20	72.22	13.43
3	1,125	1.3	1,380	30	78.40	11.28	67.12	14.39
4	1,125	1.3	1,380	40	75.03	10.56	64.47	14.07
5	1,125	1.3	1,380	50	84.24	11.24	73.00	13.34
6	1,125	1.3	1,380	60	88.81	12.74	76.07	14.35
7	1,125	1.3	1,380	70	73.72	10.38	63.34	14.08
8	1,125	1.3	1,380	80	80.54	12.36	68.18	15.35
9	1,125	1.3	1,380	90	74.96	11.63	63.33	15.51
10	1,125	1.3	1,380	100	82.78	12.23	70.55	14.77
11	1,125	1.3	1,380	110	82.32	11.36	70.96	13.80
12	1,125	1.3	1,380	120	82.32	11.75	70.57	14.27
13	1,125	1.3	1,380	130	63.37	9.09	54.28	14.34
14	1,125	1.3	1,380	140	64.64	9.86	54.78	15.25
15	1,125	1.3	1,380	150	69.26	10.57	58.69	15.26
16	1,125	1.3	1,380	160	74.19	11.67	62.52	15.73
17	1,125	1.3	1,380	170	75.44	12.06	63.38	15.99
18	1,125	1.3	1,380	180	72.50	12.23	60.27	16.87
19	1,125	1.3	1,380	190	70.73	12.14	58.59	17.16
20	1,125	1.3	1,380	200	67.30	10.78	56.52	16.02
21	1,125	1.3	1,380	210	49.50	7.58	41.92	15.31
22	1,125	1.3	1,380	220	91.55	14.33	77.22	15.65
23	1,125	1.3	1,380	230	71.66	10.89	60.77	15.20
24	1,125	1.3	1,380	240	64.38	10.64	53.74	16.53
25	1,125	1.3	1,380	250	69.00	11.84	57.16	17.16
26	1,125	1.3	1,380	260	70.82	12.11	58.71	17.10

ตารางที่ ผ.10 ผลของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง (mm)	ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (rpm)	เวลาการสีข้าว (วินาที)	น้ำหนักข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนักข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนักข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าวหัก
27	1,125	1.3	1,380	270	63.22	9.59	53.63	15.17
28	1,125	1.3	1,380	280	69.24	11.46	57.78	16.55
29	1,125	1.3	1,380	290	68.31	11.66	56.65	17.07
30	1,125	1.3	1,380	300	66.17	10.90	55.27	16.47

ตารางที่ ผ.11 ผลของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,125	1.3	1,420	10	33.74	4.61	29.13	13.66
2	1,125	1.3	1,420	20	80.47	12.54	67.93	15.58
3	1,125	1.3	1,420	30	77.78	12.25	65.53	15.75
4	1,125	1.3	1,420	40	76.79	11.30	65.49	14.72
5	1,125	1.3	1,420	50	77.30	12.35	64.95	15.98
6	1,125	1.3	1,420	60	84.27	13.21	71.06	15.68
7	1,125	1.3	1,420	70	88.08	13.45	74.63	15.27
8	1,125	1.3	1,420	80	81.21	13.02	68.19	16.03
9	1,125	1.3	1,420	90	73.26	12.29	60.97	16.78
10	1,125	1.3	1,420	100	83.67	14.02	69.65	16.76
11	1,125	1.3	1,420	110	73.17	12.17	61.00	16.63
12	1,125	1.3	1,420	120	82.21	12.79	69.42	15.56
13	1,125	1.3	1,420	130	73.45	12.16	61.29	16.56
14	1,125	1.3	1,420	140	79.53	12.95	66.58	16.28
15	1,125	1.3	1,420	150	83.30	13.77	69.53	16.53
16	1,125	1.3	1,420	160	78.82	12.65	66.17	16.05
17	1,125	1.3	1,420	170	76.64	12.51	64.13	16.32
18	1,125	1.3	1,420	180	74.82	11.94	62.88	15.96
19	1,125	1.3	1,420	190	80.92	13.76	67.16	17.00
20	1,125	1.3	1,420	200	84.08	13.89	70.19	16.52
21	1,125	1.3	1,420	210	81.87	12.98	68.89	15.85
22	1,125	1.3	1,420	220	77.98	12.57	65.41	16.12
23	1,125	1.3	1,420	230	74.03	12.34	61.69	16.67
24	1,125	1.3	1,420	240	78.27	12.68	65.59	16.20
25	1,125	1.3	1,420	250	84.90	14.00	70.90	16.49
26	1,125	1.3	1,420	260	87.68	15.01	72.67	17.12

ตารางที่ ผ.11 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm²ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,125	1.3	1,420	270	76.65	13.41	63.24	17.50
28	1,125	1.3	1,420	280	80.86	13.06	67.80	16.15
29	1,125	1.3	1,420	290	77.94	13.45	64.49	17.26
30	1,125	1.3	1,420	300	85.97	14.54	71.43	16.91

ตารางที่ ผ.12 ผลของข้อมูลที่ได้จากการตีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,125 \text{ mm}^2$

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการตี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,125	1.3	1,460	10	66.49	8.03	58.46	12.08
2	1,125	1.3	1,460	20	95.13	12.06	83.07	12.68
3	1,125	1.3	1,460	30	92.14	11.22	80.92	12.18
4	1,125	1.3	1,460	40	95.33	11.72	83.61	12.29
5	1,125	1.3	1,460	50	94.30	12.03	82.27	12.76
6	1,125	1.3	1,460	60	85.89	9.77	76.12	11.38
7	1,125	1.3	1,460	70	92.74	11.86	80.88	12.79
8	1,125	1.3	1,460	80	80.46	10.38	70.08	12.90
9	1,125	1.3	1,460	90	107.06	13.63	93.43	12.73
10	1,125	1.3	1,460	100	96.22	12.24	83.98	12.72
11	1,125	1.3	1,460	110	99.92	11.87	88.05	11.88
12	1,125	1.3	1,460	120	87.04	11.17	75.87	12.83
13	1,125	1.3	1,460	130	84.32	10.97	73.35	13.01
14	1,125	1.3	1,460	140	90.02	11.87	78.15	13.19
15	1,125	1.3	1,460	150	96.29	11.93	84.36	12.39
16	1,125	1.3	1,460	160	92.34	11.49	80.85	12.44
17	1,125	1.3	1,460	170	101.09	12.67	88.42	12.53
18	1,125	1.3	1,460	180	84.91	10.37	74.54	12.21
19	1,125	1.3	1,460	190	89.02	11.20	77.82	12.58
20	1,125	1.3	1,460	200	112.08	13.78	98.30	12.29
21	1,125	1.3	1,460	210	81.39	10.29	71.10	12.64
22	1,125	1.3	1,460	220	90.28	11.32	78.96	12.54
23	1,125	1.3	1,460	230	94.73	12.50	82.23	13.20
24	1,125	1.3	1,460	240	86.83	11.00	75.83	12.67
25	1,125	1.3	1,460	250	85.89	10.69	75.20	12.45
26	1,125	1.3	1,460	260	93.31	11.62	81.69	12.45

ตารางที่ ผ.12 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,125	1.3	1,460	270	95.97	12.29	83.68	12.81
28	1,125	1.3	1,460	280	88.43	11.68	76.75	13.21
29	1,125	1.3	1,460	290	88.90	11.67	77.23	13.13
30	1,125	1.3	1,460	300	89.31	11.79	77.52	13.20

ตารางที่ ผ.13 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีก้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm²ระยะห่าง
ระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1, 380 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,125	1.5	1,380	10	23.04	5.88	17.16	25.52
2	1,125	1.5	1,380	20	68.20	18.07	50.13	26.50
3	1,125	1.5	1,380	30	74.26	19.00	55.26	25.59
4	1,125	1.5	1,380	40	75.26	19.60	55.66	26.04
5	1,125	1.5	1,380	50	75.05	19.67	55.38	26.21
6	1,125	1.5	1,380	60	70.26	18.47	51.79	26.29
7	1,125	1.5	1,380	70	71.89	19.08	52.81	26.54
8	1,125	1.5	1,380	80	69.82	18.63	51.19	26.68
9	1,125	1.5	1,380	90	97.01	25.66	71.35	26.45
10	1,125	1.5	1,380	100	65.88	17.05	48.83	25.88
11	1,125	1.5	1,380	110	63.69	16.58	47.11	26.03
12	1,125	1.5	1,380	120	66.51	17.54	48.97	26.37
13	1,125	1.5	1,380	130	57.74	15.46	42.28	26.78
14	1,125	1.5	1,380	140	62.52	15.97	46.55	25.54
15	1,125	1.5	1,380	150	59.83	15.25	44.58	25.49
16	1,125	1.5	1,380	160	61.30	15.68	45.62	25.58
17	1,125	1.5	1,380	170	58.81	15.42	43.39	26.22
18	1,125	1.5	1,380	180	59.21	16.03	43.18	27.07
19	1,125	1.5	1,380	190	59.27	15.30	43.97	25.81
20	1,125	1.5	1,380	200	58.15	15.43	42.72	26.53
21	1,125	1.5	1,380	210	73.68	19.00	54.68	25.79
22	1,125	1.5	1,380	220	49.50	12.87	36.63	26.00
23	1,125	1.5	1,380	230	61.90	16.43	45.47	26.54
24	1,125	1.5	1,380	240	58.42	15.00	43.42	25.68
25	1,125	1.5	1,380	250	61.78	16.74	45.04	27.10
26	1,125	1.5	1,380	260	69.42	18.01	51.41	25.94

ตารางที่ ผ.13 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm²ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,125	1.5	1,380	270	60.98	15.49	45.49	25.40
28	1,125	1.5	1,380	280	64.35	17.38	46.97	27.01
29	1,125	1.5	1,380	290	66.79	17.37	49.42	26.01
30	1,125	1.5	1,380	300	66.44	17.89	48.55	26.93

ตารางที่ ผ.14 ผลของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm²

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,125	1.5	1,420	10	16.01	3.90	12.11	24.36
2	1,125	1.5	1,420	20	63.60	15.93	47.67	25.05
3	1,125	1.5	1,420	30	70.46	17.33	53.13	24.60
4	1,125	1.5	1,420	40	66.54	16.54	50.00	24.86
5	1,125	1.5	1,420	50	67.67	17.43	50.24	25.76
6	1,125	1.5	1,420	60	66.70	16.57	50.13	24.84
7	1,125	1.5	1,420	70	75.94	19.81	56.13	26.09
8	1,125	1.5	1,420	80	57.55	14.66	42.89	25.47
9	1,125	1.5	1,420	90	69.87	16.89	52.98	24.17
10	1,125	1.5	1,420	100	59.73	15.59	44.14	26.10
11	1,125	1.5	1,420	110	64.36	17.00	47.36	26.41
12	1,125	1.5	1,420	120	65.58	16.10	49.48	24.55
13	1,125	1.5	1,420	130	68.81	17.47	51.34	25.39
14	1,125	1.5	1,420	140	63.20	16.02	47.18	25.35
15	1,125	1.5	1,420	150	64.44	16.89	47.55	26.21
16	1,125	1.5	1,420	160	61.89	16.00	45.89	25.85
17	1,125	1.5	1,420	170	71.82	18.00	53.82	25.06
18	1,125	1.5	1,420	180	65.78	16.03	49.75	24.37
19	1,125	1.5	1,420	190	64.35	16.36	47.99	25.42
20	1,125	1.5	1,420	200	69.87	17.13	52.74	24.52
21	1,125	1.5	1,420	210	67.45	17.06	50.39	25.29
22	1,125	1.5	1,420	220	65.60	17.36	48.24	26.46
23	1,125	1.5	1,420	230	61.16	15.93	45.23	26.05
24	1,125	1.5	1,420	240	63.34	16.43	46.91	25.94
25	1,125	1.5	1,420	250	64.25	17.03	47.22	26.51
26	1,125	1.5	1,420	260	67.11	17.53	49.58	26.12

ตารางที่ ผ.14 ผลของข้อมูลที่ได้จากการตีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการตี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,125	1.5	1,420	270	66.82	17.41	49.41	26.06
28	1,125	1.5	1,420	280	67.94	17.16	50.78	25.26
29	1,125	1.5	1,420	290	66.54	17.21	49.33	25.86
30	1,125	1.5	1,420	300	66.89	17.32	49.57	25.89

ตารางที่ ผ.15 ผลของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460rpm

ลำดับ	เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง (mm)	ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (rpm)	เวลาการสีข้าว (วินาที)	น้ำหนักข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนักข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนักข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าวหัก
1	1,125	1.5	1,460	10	37.28	7.46	29.82	20.01
2	1,125	1.5	1,460	20	99.82	19.84	79.98	19.88
3	1,125	1.5	1,460	30	98.74	18.98	79.76	19.22
4	1,125	1.5	1,460	40	99.74	19.80	79.94	19.85
5	1,125	1.5	1,460	50	96.62	20.81	75.81	21.54
6	1,125	1.5	1,460	60	68.54	14.23	54.31	20.76
7	1,125	1.5	1,460	70	97.98	20.98	77.00	21.41
8	1,125	1.5	1,460	80	90.68	19.01	71.67	20.96
9	1,125	1.5	1,460	90	99.73	19.89	79.84	19.94
10	1,125	1.5	1,460	100	100.53	20.79	79.74	20.68
11	1,125	1.5	1,460	110	99.56	19.02	80.54	19.10
12	1,125	1.5	1,460	120	95.79	19.66	76.13	20.52
13	1,125	1.5	1,460	130	98.15	20.01	78.14	20.39
14	1,125	1.5	1,460	140	92.62	20.67	71.95	22.32
15	1,125	1.5	1,460	150	96.03	20.04	75.99	20.87
16	1,125	1.5	1,460	160	94.96	20.45	74.51	21.54
17	1,125	1.5	1,460	170	97.76	20.43	77.33	20.90
18	1,125	1.5	1,460	180	98.29	21.69	76.60	22.07
19	1,125	1.5	1,460	190	98.03	20.23	77.80	20.64
20	1,125	1.5	1,460	200	88.46	19.19	69.27	21.69
21	1,125	1.5	1,460	210	84.36	18.12	66.24	21.48
22	1,125	1.5	1,460	220	87.78	19.04	68.74	21.69
23	1,125	1.5	1,460	230	88.92	18.88	70.04	21.23
24	1,125	1.5	1,460	240	85.93	18.71	67.22	21.77
25	1,125	1.5	1,460	250	82.31	17.99	64.32	21.86
26	1,125	1.5	1,460	260	81.98	17.84	64.14	21.76

ตารางที่ ผ.15 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,125 \text{ mm}^2$

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน $1,460 \text{ rpm}$ (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,125	1.5	1,460	270	75.27	16.40	58.87	21.79
28	1,125	1.5	1,460	280	73.25	16.78	56.47	22.91
29	1,125	1.5	1,460	290	70.43	15.99	54.44	22.70
30	1,125	1.5	1,460	300	59.00	12.85	46.15	21.78

ตารางที่ ผ.16 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm²

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,125	1.7	1,380	10	41.47	12.06	29.41	29.08
2	1,125	1.7	1,380	20	74.87	21.98	52.89	29.36
3	1,125	1.7	1,380	30	75.45	22.54	52.91	29.87
4	1,125	1.7	1,380	40	76.98	23.47	53.51	30.49
5	1,125	1.7	1,380	50	77.87	23.53	54.34	30.22
6	1,125	1.7	1,380	60	75.46	22.25	53.21	29.49
7	1,125	1.7	1,380	70	75.35	22.67	52.68	30.09
8	1,125	1.7	1,380	80	74.51	21.91	52.60	29.41
9	1,125	1.7	1,380	90	78.63	23.78	54.85	30.24
10	1,125	1.7	1,380	100	81.97	24.00	57.97	29.28
11	1,125	1.7	1,380	110	78.54	23.45	55.09	29.86
12	1,125	1.7	1,380	120	74.19	21.87	52.32	29.48
13	1,125	1.7	1,380	130	75.46	22.11	53.35	29.30
14	1,125	1.7	1,380	140	75.94	22.76	53.18	29.97
15	1,125	1.7	1,380	150	76.77	23.68	53.09	30.85
16	1,125	1.7	1,380	160	69.34	20.51	48.83	29.58
17	1,125	1.7	1,380	170	76.45	23.07	53.38	30.18
18	1,125	1.7	1,380	180	75.53	22.34	53.19	29.58
19	1,125	1.7	1,380	190	76.03	23.41	52.62	30.79
20	1,125	1.7	1,380	200	74.02	22.79	51.23	30.79
21	1,125	1.7	1,380	210	78.08	22.75	55.33	29.14
22	1,125	1.7	1,380	220	79.85	23.55	56.30	29.49
23	1,125	1.7	1,380	230	73.65	22.00	51.65	29.87
24	1,125	1.7	1,380	240	73.88	22.21	51.67	30.06
25	1,125	1.7	1,380	250	75.73	22.34	53.39	29.50
26	1,125	1.7	1,380	260	76.60	22.40	54.20	29.24

ตารางที่ ผ.16 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,125	1.7	1,380	270	77.05	23.41	53.64	30.38
28	1,125	1.7	1,380	280	74.00	22.08	51.92	29.84
29	1,125	1.7	1,380	290	69.89	21.53	48.36	30.81
30	1,125	1.7	1,380	300	75.50	23.00	52.50	30.46

ตารางที่ ผ.17 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสั้ข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,125 \text{ mm}^2$

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,125	1.7	1,420	10	29.11	8.68	20.43	29.82
2	1,125	1.7	1,420	20	87.38	26.13	61.25	29.90
3	1,125	1.7	1,420	30	85.44	25.00	60.44	29.26
4	1,125	1.7	1,420	40	81.91	23.92	57.99	29.20
5	1,125	1.7	1,420	50	83.45	25.09	58.36	30.07
6	1,125	1.7	1,420	60	85.44	25.06	60.38	29.33
7	1,125	1.7	1,420	70	77.97	23.06	54.91	29.58
8	1,125	1.7	1,420	80	79.88	23.65	56.23	29.61
9	1,125	1.7	1,420	90	76.32	23.44	52.88	30.71
10	1,125	1.7	1,420	100	74.96	23.28	51.68	31.06
11	1,125	1.7	1,420	110	76.21	23.59	52.62	30.95
12	1,125	1.7	1,420	120	77.66	23.65	54.01	30.45
13	1,125	1.7	1,420	130	67.74	19.84	47.90	29.29
14	1,125	1.7	1,420	140	75.86	22.96	52.90	30.27
15	1,125	1.7	1,420	150	75.98	23.65	52.33	31.13
16	1,125	1.7	1,420	160	76.57	24.03	52.54	31.38
17	1,125	1.7	1,420	170	76.83	23.48	53.35	30.56
18	1,125	1.7	1,420	180	77.37	22.80	54.57	29.47
19	1,125	1.7	1,420	190	76.82	23.09	53.73	30.06
20	1,125	1.7	1,420	200	76.18	22.61	53.57	29.68
21	1,125	1.7	1,420	210	76.55	23.57	52.98	30.79
22	1,125	1.7	1,420	220	75.74	22.60	53.14	29.84
23	1,125	1.7	1,420	230	75.38	22.84	52.54	30.30
24	1,125	1.7	1,420	240	74.42	23.00	51.42	30.91
25	1,125	1.7	1,420	250	70.53	22.00	48.53	31.19
26	1,125	1.7	1,420	260	66.81	20.04	46.77	30.00

ตารางที่ ผ.17 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสืงข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,125 \text{ mm}^2$ ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน $1,420 \text{ rpm}$ (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง (mm)	ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (rpm)	เวลาการสืงข้าว (วินาที)	น้ำหนักข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนักข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนักข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าวหัก
27	1,125	1.7	1,420	270	67.34	20.76	46.58	30.83
28	1,125	1.7	1,420	280	68.35	21.30	47.05	31.16
29	1,125	1.7	1,420	290	68.74	21.08	47.66	30.67
30	1,125	1.7	1,420	300	67.70	20.76	46.94	30.66

ตารางที่ ผ.18 ผลของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm²

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,125	1.7	1,460	10	28.00	8.31	19.69	29.68
2	1,125	1.7	1,460	20	82.30	24.66	57.64	29.96
3	1,125	1.7	1,460	30	80.30	24.02	56.28	29.91
4	1,125	1.7	1,460	40	76.51	23.50	53.01	30.71
5	1,125	1.7	1,460	50	77.34	23.89	53.45	30.89
6	1,125	1.7	1,460	60	77.93	23.56	54.37	30.23
7	1,125	1.7	1,460	70	78.45	23.65	54.80	30.15
8	1,125	1.7	1,460	80	79.71	23.90	55.81	29.98
9	1,125	1.7	1,460	90	78.09	23.78	54.31	30.45
10	1,125	1.7	1,460	100	76.53	23.15	53.38	30.25
11	1,125	1.7	1,460	110	75.69	23.22	52.47	30.68
12	1,125	1.7	1,460	120	77.04	23.20	53.84	30.11
13	1,125	1.7	1,460	130	74.67	23.00	51.67	30.80
14	1,125	1.7	1,460	140	76.30	23.00	53.30	30.14
15	1,125	1.7	1,460	150	82.45	25.80	56.65	31.29
16	1,125	1.7	1,460	160	79.60	24.07	55.53	30.24
17	1,125	1.7	1,460	170	74.77	22.80	51.97	30.49
18	1,125	1.7	1,460	180	80.06	24.86	55.20	31.05
19	1,125	1.7	1,460	190	81.18	24.56	56.62	30.25
20	1,125	1.7	1,460	200	81.96	24.79	57.17	30.25
21	1,125	1.7	1,460	210	82.64	25.29	57.35	30.60
22	1,125	1.7	1,460	220	81.34	24.74	56.60	30.42
23	1,125	1.7	1,460	230	79.46	24.63	54.83	31.00
24	1,125	1.7	1,460	240	80.09	24.34	55.75	30.39
25	1,125	1.7	1,460	250	82.60	25.30	57.30	30.63
26	1,125	1.7	1,460	260	82.44	25.32	57.12	30.71

ตารางที่ ผ.18 ผลของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,125 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,125	1.7	1,460	270	82.10	25.32	56.78	30.84
28	1,125	1.7	1,460	280	78.67	24.00	54.67	30.51
29	1,125	1.7	1,460	290	73.46	23.05	50.41	31.38
30	1,125	1.7	1,460	300	77.55	23.85	53.70	30.75

ตารางที่ ผ.19 ผลของข้อมูลที่ได้จากการตีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,350 \text{ mm}^2$

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน $1,380 \text{ rpm}$

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,350	1.3	1,380	10	22.19	6.20	15.99	27.94
2	1,350	1.3	1,380	20	86.98	24.86	62.12	28.58
3	1,350	1.3	1,380	30	78.92	22.33	56.59	28.29
4	1,350	1.3	1,380	40	95.32	28.88	66.44	30.30
5	1,350	1.3	1,380	50	94.58	28.00	66.58	29.60
6	1,350	1.3	1,380	60	95.43	27.04	68.39	28.33
7	1,350	1.3	1,380	70	69.06	19.86	49.20	28.76
8	1,350	1.3	1,380	80	95.20	28.53	66.67	29.97
9	1,350	1.3	1,380	90	102.34	29.00	73.34	28.34
10	1,350	1.3	1,380	100	98.87	30.00	68.87	30.34
11	1,350	1.3	1,380	110	98.04	29.47	68.57	30.06
12	1,350	1.3	1,380	120	99.03	27.65	71.38	27.92
13	1,350	1.3	1,380	130	89.90	26.32	63.58	29.28
14	1,350	1.3	1,380	140	90.52	25.49	65.03	28.16
15	1,350	1.3	1,380	150	89.93	26.34	63.59	29.29
16	1,350	1.3	1,380	160	90.06	27.87	62.19	30.95
17	1,350	1.3	1,380	170	86.73	25.21	61.52	29.07
18	1,350	1.3	1,380	180	91.65	25.87	65.78	28.23
19	1,350	1.3	1,380	190	85.43	26.22	59.21	30.69
20	1,350	1.3	1,380	200	78.99	22.75	56.24	28.80
21	1,350	1.3	1,380	210	85.30	25.54	59.76	29.94
22	1,350	1.3	1,380	220	90.04	26.08	63.96	28.96
23	1,350	1.3	1,380	230	95.32	27.00	68.32	28.33
24	1,350	1.3	1,380	240	78.99	24.18	54.81	30.61
25	1,350	1.3	1,380	250	79.90	22.89	57.01	28.65
26	1,350	1.3	1,380	260	75.36	21.60	53.76	28.66

ตารางที่ ผ.19 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,350 \text{ mm}^2$ ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน $1,380 \text{ rpm}$ (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,350	1.3	1,380	270	77.45	23.45	54.00	30.28
28	1,350	1.3	1,380	280	87.69	24.89	62.80	28.38
29	1,350	1.3	1,380	290	84.47	25.00	59.47	29.60
30	1,350	1.3	1,380	300	82.36	25.08	57.28	30.45

ตารางที่ ผ.20 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสืงข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm²

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,350	1.3	1,420	10	31.46	7.89	23.57	25.08
2	1,350	1.3	1,420	20	99.87	26.05	73.82	26.08
3	1,350	1.3	1,420	30	110.98	29.44	81.54	26.53
4	1,350	1.3	1,420	40	100.23	25.34	74.89	25.28
5	1,350	1.3	1,420	50	99.01	26.56	72.45	26.83
6	1,350	1.3	1,420	60	100.12	25.68	74.44	25.65
7	1,350	1.3	1,420	70	103.94	27.66	76.28	26.61
8	1,350	1.3	1,420	80	99.57	25.46	74.11	25.57
9	1,350	1.3	1,420	90	99.27	25.21	74.06	25.40
10	1,350	1.3	1,420	100	105.74	27.44	78.30	25.95
11	1,350	1.3	1,420	110	102.33	27.00	75.33	26.39
12	1,350	1.3	1,420	120	107.33	27.32	80.01	25.45
13	1,350	1.3	1,420	130	111.73	29.09	82.64	26.04
14	1,350	1.3	1,420	140	100.98	26.21	74.77	25.96
15	1,350	1.3	1,420	150	111.65	29.22	82.43	26.17
16	1,350	1.3	1,420	160	99.87	26.78	73.09	26.81
17	1,350	1.3	1,420	170	110.57	29.44	81.13	26.63
18	1,350	1.3	1,420	180	99.63	26.45	73.18	26.55
19	1,350	1.3	1,420	190	104.69	26.55	78.14	25.36
20	1,350	1.3	1,420	200	100.23	26.67	73.56	26.61
21	1,350	1.3	1,420	210	104.20	27.03	77.17	25.94
22	1,350	1.3	1,420	220	102.05	26.78	75.27	26.24
23	1,350	1.3	1,420	230	103.50	26.58	76.92	25.68
24	1,350	1.3	1,420	240	94.51	25.54	68.97	27.02
25	1,350	1.3	1,420	250	100.03	26.78	73.25	26.77
26	1,350	1.3	1,420	260	95.24	24.68	70.56	25.91

ตารางที่ ผ.20 ผลของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,350 \text{ mm}^2$ ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง (mm)	ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (rpm)	เวลาการสีข้าว (วินาที)	น้ำหนักข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนักข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนักข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าวหัก
27	1,350	1.3	1,420	270	95.54	25.31	70.23	26.49
28	1,350	1.3	1,420	280	93.70	25.00	68.70	26.68
29	1,350	1.3	1,420	290	97.89	25.41	72.48	25.96
30	1,350	1.3	1,420	300	92.08	24.68	67.40	26.80

ตารางที่ ผ.21 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสัข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,350 \text{ mm}^2$

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,350	1.3	1,460	10	28.05	7.48	20.57	26.67
2	1,350	1.3	1,460	20	96.50	26.45	70.05	27.41
3	1,350	1.3	1,460	30	97.86	26.20	71.66	26.77
4	1,350	1.3	1,460	40	98.89	26.44	72.45	26.74
5	1,350	1.3	1,460	50	99.01	26.54	72.47	26.81
6	1,350	1.3	1,460	60	100.01	27.20	72.81	27.20
7	1,350	1.3	1,460	70	99.36	26.93	72.43	27.10
8	1,350	1.3	1,460	80	99.89	27.02	72.87	27.05
9	1,350	1.3	1,460	90	80.43	21.58	58.85	26.83
10	1,350	1.3	1,460	100	85.24	22.86	62.38	26.82
11	1,350	1.3	1,460	110	90.09	24.63	65.46	27.34
12	1,350	1.3	1,460	120	89.72	24.50	65.22	27.31
13	1,350	1.3	1,460	130	88.65	24.32	64.33	27.43
14	1,350	1.3	1,460	140	87.43	23.97	63.46	27.42
15	1,350	1.3	1,460	150	96.68	26.00	70.68	26.89
16	1,350	1.3	1,460	160	97.24	26.03	71.21	26.77
17	1,350	1.3	1,460	170	95.17	26.08	69.09	27.40
18	1,350	1.3	1,460	180	97.03	26.54	70.49	27.35
19	1,350	1.3	1,460	190	94.38	25.30	69.08	26.81
20	1,350	1.3	1,460	200	93.20	25.66	67.54	27.53
21	1,350	1.3	1,460	210	87.65	23.51	64.14	26.82
22	1,350	1.3	1,460	220	79.59	21.41	58.18	26.90
23	1,350	1.3	1,460	230	65.87	18.00	47.87	27.33
24	1,350	1.3	1,460	240	79.47	21.36	58.11	26.88
25	1,350	1.3	1,460	250	79.70	22.03	57.67	27.64
26	1,350	1.3	1,460	260	100.92	27.34	73.58	27.09

ตารางที่ ผ.21 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,350 \text{ mm}^2$

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหิน $1,460 \text{ rpm}$ (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,350	1.3	1,460	270	89.37	24.01	65.36	26.87
28	1,350	1.3	1,460	280	87.16	23.89	63.27	27.41
29	1,350	1.3	1,460	290	90.10	24.86	65.24	27.59
30	1,350	1.3	1,460	300	94.10	25.44	68.66	27.04

ตารางที่ ผ.22 ผลของข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,350	1.5	1,380	10	26.20	6.00	20.20	22.90
2	1,350	1.5	1,380	20	97.36	25.00	72.36	25.68
3	1,350	1.5	1,380	30	99.03	26.00	73.03	26.25
4	1,350	1.5	1,380	40	99.82	26.50	73.32	26.55
5	1,350	1.5	1,380	50	100.45	25.40	75.05	25.29
6	1,350	1.5	1,380	60	103.97	25.04	78.93	24.08
7	1,350	1.5	1,380	70	102.30	24.67	77.63	24.12
8	1,350	1.5	1,380	80	101.41	25.33	76.08	24.98
9	1,350	1.5	1,380	90	101.04	23.24	77.80	23.00
10	1,350	1.5	1,380	100	102.52	24.80	77.72	24.19
11	1,350	1.5	1,380	110	100.89	26.02	74.87	25.79
12	1,350	1.5	1,380	120	98.12	23.66	74.46	24.11
13	1,350	1.5	1,380	130	99.37	25.06	74.31	25.22
14	1,350	1.5	1,380	140	96.46	26.70	69.76	27.68
15	1,350	1.5	1,380	150	99.47	26.40	73.07	26.54
16	1,350	1.5	1,380	160	100.31	25.02	75.29	24.94
17	1,350	1.5	1,380	170	103.43	25.07	78.36	24.24
18	1,350	1.5	1,380	180	91.33	25.44	65.89	27.86
19	1,350	1.5	1,380	190	104.55	26.31	78.24	25.16
20	1,350	1.5	1,380	200	84.18	23.00	61.18	27.32
21	1,350	1.5	1,380	210	85.65	24.45	61.20	28.55
22	1,350	1.5	1,380	220	86.49	25.31	61.18	29.26
23	1,350	1.5	1,380	230	87.45	26.00	61.45	29.73
24	1,350	1.5	1,380	240	88.48	25.76	62.72	29.11
25	1,350	1.5	1,380	250	88.93	24.35	64.58	27.38
26	1,350	1.5	1,380	260	84.75	25.08	59.67	29.59

ตารางที่ ผ.22 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,350 \text{ mm}^2$ ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน $1,380 \text{ rpm}$ (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง (mm)	ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (rpm)	เวลาการสีข้าว (วินาที)	น้ำหนักข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนักข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนักข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าวหัก
27	1,350	1.5	1,380	270	85.82	24.89	60.93	29.00
28	1,350	1.5	1,380	280	86.44	25.87	60.57	29.93
29	1,350	1.5	1,380	290	78.71	22.00	56.71	27.95
30	1,350	1.5	1,380	300	85.63	25.00	60.63	29.20

ตารางที่ ผ.23 ผลของข้อมูลที่ได้จากการตีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,350 \text{ mm}^2$

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน $1,420 \text{ rpm}$

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,350	1.5	1,420	10	21.19	4.88	16.31	23.03
2	1,350	1.5	1,420	20	78.14	19.00	59.14	24.32
3	1,350	1.5	1,420	30	75.34	19.54	55.80	25.94
4	1,350	1.5	1,420	40	73.63	19.87	53.76	26.99
5	1,350	1.5	1,420	50	77.42	20.00	57.42	25.83
6	1,350	1.5	1,420	60	74.91	19.95	54.96	26.63
7	1,350	1.5	1,420	70	80.04	19.54	60.50	24.41
8	1,350	1.5	1,420	80	81.50	21.68	59.82	26.60
9	1,350	1.5	1,420	90	82.75	22.74	60.01	27.48
10	1,350	1.5	1,420	100	78.17	20.17	58.00	25.80
11	1,350	1.5	1,420	110	80.23	22.00	58.23	27.42
12	1,350	1.5	1,420	120	80.60	21.05	59.55	26.12
13	1,350	1.5	1,420	130	81.24	22.00	59.24	27.08
14	1,350	1.5	1,420	140	81.34	20.85	60.49	25.63
15	1,350	1.5	1,420	150	80.22	20.15	60.07	25.12
16	1,350	1.5	1,420	160	81.65	20.03	61.62	24.53
17	1,350	1.5	1,420	170	80.93	19.66	61.27	24.29
18	1,350	1.5	1,420	180	81.43	23.00	58.43	28.25
19	1,350	1.5	1,420	190	80.29	20.65	59.64	25.72
20	1,350	1.5	1,420	200	80.43	20.56	59.87	25.56
21	1,350	1.5	1,420	210	74.82	20.00	54.82	26.73
22	1,350	1.5	1,420	220	78.63	22.00	56.63	27.98
23	1,350	1.5	1,420	230	67.29	19.00	48.29	28.24
24	1,350	1.5	1,420	240	70.24	19.00	51.24	27.05
25	1,350	1.5	1,420	250	72.10	20.32	51.78	28.18
26	1,350	1.5	1,420	260	71.43	20.43	51.00	28.60

ตารางที่ ผ.23 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,350	1.5	1,420	270	68.54	19.60	48.94	28.60
28	1,350	1.5	1,420	280	61.02	17.00	44.02	27.86
29	1,350	1.5	1,420	290	65.22	18.80	46.42	28.83
30	1,350	1.5	1,420	300	63.55	18.00	45.55	28.32

ตารางที่ ผ.24 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีก้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm²

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,350	1.5	1,460	10	25.91	5.87	20.04	22.66
2	1,350	1.5	1,460	20	80.35	19.00	61.35	23.65
3	1,350	1.5	1,460	30	81.63	19.08	62.55	23.37
4	1,350	1.5	1,460	40	82.97	20.45	62.52	24.65
5	1,350	1.5	1,460	50	86.20	20.00	66.20	23.20
6	1,350	1.5	1,460	60	79.67	18.67	61.00	23.43
7	1,350	1.5	1,460	70	80.76	19.93	60.83	24.68
8	1,350	1.5	1,460	80	85.66	20.00	65.66	23.35
9	1,350	1.5	1,460	90	85.08	19.64	65.44	23.08
10	1,350	1.5	1,460	100	84.40	19.86	64.54	23.53
11	1,350	1.5	1,460	110	73.70	17.58	56.12	23.85
12	1,350	1.5	1,460	120	80.54	18.56	61.98	23.04
13	1,350	1.5	1,460	130	90.03	20.55	69.48	22.83
14	1,350	1.5	1,460	140	89.49	21.89	67.60	24.46
15	1,350	1.5	1,460	150	90.03	20.56	69.47	22.84
16	1,350	1.5	1,460	160	89.12	20.46	68.66	22.96
17	1,350	1.5	1,460	170	90.54	21.34	69.20	23.57
18	1,350	1.5	1,460	180	91.83	20.96	70.87	22.82
19	1,350	1.5	1,460	190	91.34	21.04	70.30	23.03
20	1,350	1.5	1,460	200	85.79	21.21	64.58	24.72
21	1,350	1.5	1,460	210	90.02	20.58	69.44	22.86
22	1,350	1.5	1,460	220	86.42	20.56	65.86	23.79
23	1,350	1.5	1,460	230	91.07	20.64	70.43	22.66
24	1,350	1.5	1,460	240	83.22	20.36	62.86	24.47
25	1,350	1.5	1,460	250	85.34	20.87	64.47	24.46
26	1,350	1.5	1,460	260	81.33	19.69	61.64	24.21

ตารางที่ ผ.24 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,350	1.5	1,460	270	90.03	22.54	67.49	25.04
28	1,350	1.5	1,460	280	85.38	20.71	64.67	24.26
29	1,350	1.5	1,460	290	86.22	20.75	65.47	24.07
30	1,350	1.5	1,460	300	78.60	19.58	59.02	24.91

ตารางที่ ผ.25 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm²

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,350	1.7	1,380	10	67.62	10.01	57.61	14.80
2	1,350	1.7	1,380	20	67.51	10.63	56.88	15.75
3	1,350	1.7	1,380	30	79.56	12.93	66.63	16.25
4	1,350	1.7	1,380	40	80.10	14.00	66.10	17.48
5	1,350	1.7	1,380	50	78.57	15.22	63.35	19.37
6	1,350	1.7	1,380	60	78.64	15.48	63.16	19.68
7	1,350	1.7	1,380	70	70.80	12.44	58.36	17.57
8	1,350	1.7	1,380	80	75.66	12.84	62.82	16.97
9	1,350	1.7	1,380	90	75.77	12.28	63.49	16.21
10	1,350	1.7	1,380	100	76.54	12.85	63.69	16.79
11	1,350	1.7	1,380	110	78.43	15.00	63.43	19.13
12	1,350	1.7	1,380	120	85.93	13.53	72.40	15.75
13	1,350	1.7	1,380	130	86.55	13.24	73.31	15.30
14	1,350	1.7	1,380	140	87.88	14.85	73.03	16.90
15	1,350	1.7	1,380	150	88.45	14.33	74.12	16.20
16	1,350	1.7	1,380	160	87.99	16.00	71.99	18.18
17	1,350	1.7	1,380	170	86.46	13.23	73.23	15.30
18	1,350	1.7	1,380	180	86.87	13.79	73.08	15.87
19	1,350	1.7	1,380	190	84.23	14.30	69.93	16.98
20	1,350	1.7	1,380	200	81.08	16.00	65.08	19.73
21	1,350	1.7	1,380	210	91.00	14.14	76.86	15.54
22	1,350	1.7	1,380	220	78.48	13.09	65.39	16.68
23	1,350	1.7	1,380	230	79.08	13.20	65.88	16.69
24	1,350	1.7	1,380	240	80.05	16.74	63.31	20.91
25	1,350	1.7	1,380	250	82.33	15.00	67.33	18.22
26	1,350	1.7	1,380	260	77.18	12.44	64.74	16.12

ตารางที่ ผ.25 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm² ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,380 rpm (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,350	1.7	1,380	270	76.76	12.54	64.22	16.34
28	1,350	1.7	1,380	280	75.28	12.95	62.33	17.20
29	1,350	1.7	1,380	290	73.69	15.33	58.36	20.80
30	1,350	1.7	1,380	300	73.82	14.36	59.46	19.45

ตารางที่ ผ.26 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสืงข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ 1,350 mm²

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,420 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm ²)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,350	1.7	1,420	10	37.47	4.56	32.91	12.17
2	1,350	1.7	1,420	20	93.40	14.00	79.40	14.99
3	1,350	1.7	1,420	30	95.34	13.12	82.22	13.76
4	1,350	1.7	1,420	40	86.89	13.44	73.45	15.47
5	1,350	1.7	1,420	50	87.86	14.00	73.86	15.93
6	1,350	1.7	1,420	60	93.48	14.66	78.82	15.68
7	1,350	1.7	1,420	70	92.44	15.06	77.38	16.29
8	1,350	1.7	1,420	80	94.50	14.86	79.64	15.72
9	1,350	1.7	1,420	90	88.60	12.80	75.80	14.45
10	1,350	1.7	1,420	100	89.05	14.23	74.82	15.98
11	1,350	1.7	1,420	110	92.21	14.00	78.21	15.18
12	1,350	1.7	1,420	120	80.24	12.54	67.70	15.63
13	1,350	1.7	1,420	130	78.63	13.23	65.40	16.83
14	1,350	1.7	1,420	140	79.66	12.56	67.10	15.77
15	1,350	1.7	1,420	150	77.62	11.89	65.73	15.32
16	1,350	1.7	1,420	160	78.95	11.56	67.39	14.64
17	1,350	1.7	1,420	170	77.91	11.23	66.68	14.41
18	1,350	1.7	1,420	180	78.44	13.00	65.44	16.57
19	1,350	1.7	1,420	190	77.94	11.89	66.05	15.26
20	1,350	1.7	1,420	200	80.94	12.88	68.06	15.91
21	1,350	1.7	1,420	210	68.93	9.99	58.94	14.49
22	1,350	1.7	1,420	220	77.36	12.05	65.31	15.58
23	1,350	1.7	1,420	230	73.45	11.00	62.45	14.98
24	1,350	1.7	1,420	240	75.43	13.42	62.01	17.79
25	1,350	1.7	1,420	250	76.69	12.10	64.59	15.78
26	1,350	1.7	1,420	260	77.92	11.52	66.40	14.78

ตารางที่ ผ.26 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,350 \text{ mm}^2$ ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน $1,420 \text{ rpm}$ (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง (mm)	ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (rpm)	เวลาการสีข้าว (วินาที)	น้ำหนักข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนักข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนักข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าวหัก
27	1,350	1.7	1,420	270	77.89	12.00	65.89	15.41
28	1,350	1.7	1,420	280	78.12	13.22	64.90	16.92
29	1,350	1.7	1,420	290	78.21	11.77	66.44	15.05
30	1,350	1.7	1,420	300	73.90	13.00	60.90	17.59

ตารางที่ ผ.27 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,350 \text{ mm}^2$

ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน 1,460 rpm

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
1	1,350	1.7	1,460	10	23.25	3.21	20.04	13.81
2	1,350	1.7	1,460	20	67.68	10.18	57.50	15.04
3	1,350	1.7	1,460	30	79.69	13.69	66.00	17.18
4	1,350	1.7	1,460	40	80.65	13.00	67.65	16.12
5	1,350	1.7	1,460	50	83.42	13.32	70.10	15.97
6	1,350	1.7	1,460	60	79.97	13.06	66.91	16.33
7	1,350	1.7	1,460	70	85.82	14.18	71.64	16.52
8	1,350	1.7	1,460	80	84.06	12.54	71.52	14.92
9	1,350	1.7	1,460	90	88.46	14.98	73.48	16.93
10	1,350	1.7	1,460	100	87.95	14.87	73.08	16.91
11	1,350	1.7	1,460	110	88.74	12.00	76.74	13.52
12	1,350	1.7	1,460	120	86.12	12.73	73.39	14.78
13	1,350	1.7	1,460	130	79.44	11.43	68.01	14.39
14	1,350	1.7	1,460	140	83.52	11.97	71.55	14.33
15	1,350	1.7	1,460	150	82.68	13.68	69.00	16.55
16	1,350	1.7	1,460	160	78.97	11.23	67.74	14.22
17	1,350	1.7	1,460	170	80.14	12.57	67.57	15.69
18	1,350	1.7	1,460	180	80.22	13.12	67.10	16.36
19	1,350	1.7	1,460	190	83.60	13.21	70.39	15.80
20	1,350	1.7	1,460	200	76.30	11.45	64.85	15.01
21	1,350	1.7	1,460	210	71.74	11.57	60.17	16.13
22	1,350	1.7	1,460	220	85.43	13.53	71.90	15.84
23	1,350	1.7	1,460	230	75.38	13.00	62.38	17.25
24	1,350	1.7	1,460	240	73.89	12.21	61.68	16.52
25	1,350	1.7	1,460	250	68.29	11.06	57.23	16.20
26	1,350	1.7	1,460	260	73.24	12.32	60.92	16.82

ตารางที่ ผ.27 ผลของข้อมูลที่ได้จากการสีข้าวที่การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ $1,350 \text{ mm}^2$ ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยาง 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหิน $1,460 \text{ rpm}$ (ต่อ)

ลำดับ	เปิดช่อง ปล่อย ข้าวเปลือก (mm^2)	ระยะห่าง ระหว่างลูก หิน กับ ยาง (mm)	ความเร็ว รอบ ของ ลูกหินขัด ข้าว (rpm)	เวลาการสี ข้าว (วินาที)	น้ำหนัก ข้าวรวม (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวหัก (กรัม)	น้ำหนัก ข้าวดี (กรัม)	ร้อยละข้าว หัก
27	1,350	1.7	1,460	270	70.08	12.09	57.99	17.25
28	1,350	1.7	1,460	280	66.42	11.27	55.15	16.97
29	1,350	1.7	1,460	290	69.54	12.34	57.20	17.75
30	1,350	1.7	1,460	300	76.16	13.21	62.95	17.35

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นายจักรพงษ์ คำสีเขียว

วัน เดือน ปีเกิด

11 พฤศจิกายน 2523

ที่อยู่ปัจจุบัน

256/17 ถนนรอบเมือง ตำบลรอบเมือง อำเภอเมือง
จังหวัดร้อยเอ็ด 45000

ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2547

ทุนการศึกษาหรือทุนงานวิจัย

ทุนสนับสนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ประวัติการทำงาน

วิศวกรโรงงาน บริษัท ก้าวหน้าไค่สัด จำกัด

ในปี พ.ศ. 2547 – 2548

วิศวกรวางแผนการผลิต บริษัท Boss Leather Goods CO.,
LTD ในปี พ.ศ. 2548 – 2550

เจ้าหน้าที่วิเคราะห์เทคโนโลยีและบริหารจัดการทรัพยากร
ทางปัญญา สำนักงานจัดการสิทธิเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี ในปี พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน