

## การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายร้อยละข้าวหักจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

### Application of Neural Network in Prediction of the Percentage of Broken Rice in the Small Rice Mill

จักรพงษ์ คำสีเขียว (Jakrapong Khumseekiew)\* ดร.สุขอังคณา ลี (Dr.Sukangkana Lee)\*\*

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแกนนอนลูกเดียว โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้เป็นแบบที่มีโครงสร้างหลายชั้น (Multilayer Perceptron) ชนิดมีผู้สอน (Supervised Learning) แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed - forward) ด้วยเทคนิควิธีการแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) และตัวแปรที่นำมาใช้คือตัวแปรที่มีผลต่อการแตกหักของข้าวสารที่เกิดจากกระบวนการสีข้าว ได้แก่ อัตราการเปิดพื้นที่หน้าตัดช่องปล่อยข้าวเปลือก ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว และระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว เป็นต้น ผลการวิจัยพบว่า 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) ให้ค่า Mean Square Error (MSE) น้อยที่สุด เท่ากับ  $3.00 \times 10^{-07}$  และให้ค่า  $R^2$  มากที่สุด เท่ากับ 0.99571

#### ABSTRACT

The objective of this research is to apply the Artificial Neural Network Model (ANNM) for predicting percentage of broken rice in the small rice mill which is single horizontal abrasive. The Artificial Neural Network Model used A Multilayer Perceptron (MLP) and Feed – Forward Back Propagation algorithm. Input variables were selected from factors affecting broken rice in milling process including the levels of clearance between rice-polishing cylinder and rubber, the velocities of rice-polishing cylinder, and the duration of the rice milling. The result is indicated that the optimized artificial neural network model which is 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 predicted results in this condition provide the least Mean Square Error (MSE) and the most  $R^2$  in regression model included  $3.00 \times 10^{-07}$  and 0.99571 in respectively.

**คำสำคัญ:** เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ลูกหินขัดแกนนอน โครงข่ายประสาทเทียม

**Key Words:** Small rice milling, Single horizontal abrasive, Artificial Neural Network

\* มหบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

\*\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

## บทนำ

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) เป็นศาสตร์หนึ่งของทฤษฎีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) (Kumar & Jain, 2008) โดยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเทคนิคที่มีความยืดหยุ่นตัวในการแก้ปัญหาได้สูง มีความสะดวกในการใช้งานกับการทำนายสถานะที่มีค่าปัจจัยหรือตัวแปรจำนวนมากได้ดี มีประสิทธิภาพสูงในการทำนายความสัมพันธ์ของปัญหาเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคทางด้านคณิตศาสตร์และสถิติ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการทำนายปัญหาแบบดั้งเดิม ทั้งนี้ได้มีการพัฒนาการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม รวมไปถึงกระบวนการผลิต, การทำนาย หรือการพยากรณ์, การวิเคราะห์ความผิดพลาดของกระบวนการ, การประมาณค่าตัวแปรเพื่อใช้ในกระบวนการควบคุมกระบวนการผลิต (Psychogios & Ungar, 1992; Samad & Mathur, 1992; Leib, Mills, Lerou, & Turner, 1995) และที่สำคัญโครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับงานอื่นๆอีกมากมาย (Otwara et al., 2002; Satish & Setty, 2005; Fernandes & Lona, 2005)

โครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ได้ด้วยการรับข้อมูลตัวอย่างเข้ามาจำนวนหนึ่งแล้วค่อยๆ ทำการปรับค่าน้ำหนักจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ ความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้จากตัวอย่างข้อมูลที่มีอยู่เป็นจำนวนมากได้เป็นอย่างดีและมีความเที่ยงตรงสูงถึงแม้จะมีกระบวนการหรือมีรูปแบบในการปฏิบัติงานที่ซับซ้อนและมีความยุ่งยากในการประมวลผลก็ตาม ซึ่งสามารถที่จะตอบปัญหาที่ยุ่งยากและค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล หรือสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ดี จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในการทำนายหรือการพยากรณ์ (สอาด, 2552)

จากความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียม ที่มีความเหมาะสมกับกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงและให้ความแม่นยำในการ

ทำนายผลต่างๆ (Assidjo, Yao, Kisselmina, & Amané, 2008) และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังไม่มี การนำทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้กับเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยเฉพาะเครื่องสีข้าวขนาดเล็กชนิดลูกหินแกนนอน ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องจักรที่นิยมใช้ในการแปรรูปข้าวเปลือกอย่างแพร่หลายในประเทศ เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว อีกทั้งผลิตผลที่ถือว่าเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวนั้นจะประกอบไปด้วย ปลายข้าว รำ และแกลบ ซึ่งเกษตรกรสามารถนำไปจำหน่ายหรือนำไปใช้ภาคเกษตรกรรมต่างๆ ได้ แต่ทั้งนี้พบว่า การแตกหักจากกระบวนการสีข้าวจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็กมีสูงถึง ร้อยละ 43 ซึ่งคาดกันว่าหากเทคโนโลยีการสีข้าวได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นแล้ว จะทำให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นอีกหลายพันล้านบาทต่อปีของทั้งประเทศ (Visetkul, 1984) โดยปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการสีข้าวและทำให้ผลิตผลที่ได้มีความผันแปรสูงมีหลายปัจจัยประกอบด้วย ปัจจัยด้านคุณภาพข้าวเปลือกที่นำมาสี ได้แก่ พันธุ์ข้าว, ลักษณะทางกายภาพของข้าว, ร้อยละความชื้นของข้าวเปลือก เป็นต้น ปัจจัยด้านกระบวนการสีข้าว ได้แก่ อัตราการป้อนข้าวเปลือก, ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว, ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว เป็นต้น ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมของการสี เช่น อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในอากาศ เป็นต้น

การนำตัวแปรการผลิตที่เกี่ยวข้องจากกระบวนการสีข้าว มาศึกษาและทำการทดลองเพื่อการพัฒนากระบวนการสีข้าวให้ดียิ่งขึ้นนั้น ส่วนมากแล้วจะทำด้วยวิธีการทางสถิติหรือทางคณิตศาสตร์ ซึ่งหากตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีความซับซ้อนการทำนายให้มีความคลาดเคลื่อนสูง จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายร้อยละข้าวหักที่ได้จากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยผลที่ได้จะนำไปใช้ในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการสีข้าวในอนาคตเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดอีกทางหนึ่งด้วย

## อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์หลักที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย (1) เครื่องสีข้าวขนาดเล็กแบบลูกหินแนวนอนลูกเดียว (Single Horizontal Abrasive) โดยด้านบนของห้องขัดสีมี Hopper ซึ่งเป็นภาชนะสำหรับบรรจุและปล่อยข้าวเปลือกลงสู่กระบวนการขัดสีภายในห้องขัดข้าว เครื่องสีข้าวชนิดนี้ใช้หลักการ การส่งถ่วงกำลังด้วยมอเตอร์ในการขับเคลื่อนการหมุนของลูกหินกระเทาะภายในห้องขัดมีลูกหินขัดข้าวหนึ่งลูก ตัวลูกหินทำมาจากเหล็กหล่อทรงกระบอกโดยมีผิวที่ถูกพอกด้วยหินกากเพชร เพื่อให้มีความคมในการกระเทาะเปลือกและขัดข้าวข้าวเปลือก ในกระบวนการขัดลูกหินจะหมุนวนกับพื้นระนาบ โดยด้านข้างของลูกหินจะมีลูกยางวางในแนวขนานตลอดความยาวกับลูกหิน ซึ่งระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยางสามารถปรับระยะได้ตามต้องการ ด้านล่างของห้องขัดเป็นตะแกรงรูกกลมหรือรูขารวี เพื่อให้รำหยาบและรำละเอียดแยกตัวออกจากเมล็ดข้าวโดยการไหลลื่นดูด ส่วนปลายข้าวและข้าวขาวจะถูกแยกออกจากกันโดยตะแกรงร่อน (2) ข้าวเปลือกหอมมะลิ 105 ที่ความชื้นร้อยละ 14 (3) โปรแกรม MATLAB ใช้เป็นโปรแกรมหลักในการออกแบบโครงสร้าง ฝึกสอน (Training) และทดสอบ (Testing) โครงข่ายประสาทเทียม

ระเบียบวิธีวิจัย ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ขั้นตอนการทดลอง: มีการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง 3 ตัวแปร ได้แก่ ขนาดพื้นที่หน้าตัดช่องปล่อยข้าวเปลือก ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว และระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว โดยชุดการทดลองแยกออกเป็น 3 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งการทดลองทั้ง 3 กรณี กำหนดให้แต่ละกรณีมีการแบ่งเงื่อนไขการทดลองสีข้าวออกเป็นกรณีละ 9 เงื่อนไข การสีข้าวเพื่อเก็บข้อมูลจากแต่ละเงื่อนไขทำได้โดยแบ่งเวลาในการเก็บตัวอย่างข้าวสารของแต่ละเงื่อนไขออกเป็นเงื่อนไขละ 5 นาที และทำการแยกเก็บทุกๆ 10 วินาที จากนั้นนำข้าวสารที่ได้จากแต่ละ

เงื่อนไขไปหาร้อยละข้าวหัก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ซึ่งค่าร้อยละข้าวหักที่ได้ จะนำไปใช้เป็นตัวแปรส่งออก (Output) ในการฝึกสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

$$\text{สมการที่ 1 } \% \text{ ข้าวหัก} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวรวม} - \text{น้ำหนักต้นข้าว}}{\text{น้ำหนักข้าวรวม}} \times 100$$

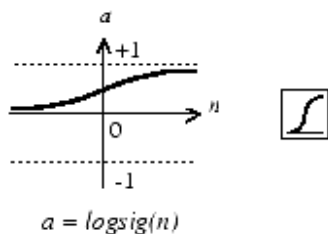
ตารางที่ 1 ชุดกรณีเงื่อนไขที่ใช้ในการสีข้าว

| ชุดเงื่อนไขที่ | ขนาดพื้นที่หน้าตัดช่องปล่อยข้างเปลือก (mm <sup>2</sup> ) | ความเร็วรอบลูกหินขัดข้าว (rpm) |       |       | ระยะห่างระหว่างลูกหินกับแท่งยางขัดข้าว (mm) |     |     |
|----------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|---------------------------------------------|-----|-----|
|                |                                                          | 1,380                          | 1,420 | 1,460 | 1.3                                         | 1.5 | 1.7 |
| 1              | 900                                                      | 1,380                          | 1,420 | 1,460 | 1.3                                         | 1.5 | 1.7 |
| 2              | 1,125                                                    | 1,380                          | 1,420 | 1,460 | 1.3                                         | 1.5 | 1.7 |
| 3              | 1,350                                                    | 1,380                          | 1,420 | 1,460 | 1.3                                         | 1.5 | 1.7 |

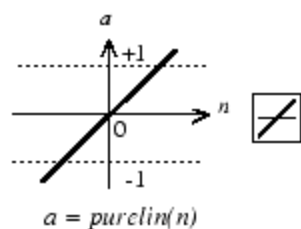
(2) ขั้นตอนการออกแบบสถาปัตยกรรมโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม:

งานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า (Multilayer feed forward neural network) และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับของเลเวนเบิร์ก-มาควาดท์ (Levenberg-Maquardt's Back-propagation) ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้ที่สุด (Movaghamejad & Nikzad, 2007) เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและใช้เวลาไม่นานในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม (Hagan, Demuth, & Beals, 1996) โดยทั่วไปแล้วโครงข่ายของแบบจำลองประกอบด้วยชั้นจำนวน 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นข้อมูลนำเข้า (Input layer) ชั้นแฝง (Hidden layer) และชั้นแสดงผลหรือชั้นส่งออก (Output layer) และจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่ประกอบด้วยชั้นซ่อน (Hidden Layer) 1 – 2 ชั้นมีความสามารถเพียงพอที่จะแก้ปัญหาต่างๆ ได้ (Maier & Dandy, 2001)

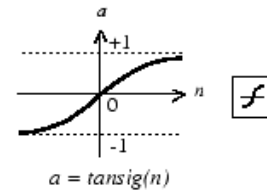
งานวิจัยนี้ได้ใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเทคนิคแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation) ผ่านกล่องเครื่องมือโครงข่ายประสาทเทียม (Neural network toolbox) ของโปรแกรม MATLAB โดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อน (Hidden layer) ของโครงข่ายประสาทเทียมมีหนึ่งชั้นซ่อน มีจำนวนหน่วยย่อย (Node) ในชั้นซ่อน 5-10-15 หน่วยย่อย (Node) ตามลำดับ และกำหนดให้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ของโครงข่ายประสาทเทียมในชั้นซ่อน (Hidden layer) และชั้นส่งออก (Output Layer) เป็นแบบ Log-sigmoid Transfer Function (Logsig), Linear Transfer Function (Purelin), และ Tan-sigmoid Transfer Function (Tansig) ดังแสดงในรูปที่ 1, 2, 3 โดยเรียงสลับเปลี่ยน 9 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2 งานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error หรือ MSE) เป็นดัชนีชี้วัดความแม่นยำของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของโครงข่ายเป็นผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง (Least Mean Square Error หรือ LMS) ที่เกิดจากการฝึกสอนโครงข่าย (Train Network)



รูปที่ 1 Log-sigmoid Transfer Function (Logsig)  
(Nguyen, 1997)



รูปที่ 2 Linear Transfer Function (Purelin)  
(Nguyen, 1997)



รูปที่ 3 Tan-sigmoid Transfer Function (Tansig)  
(Nguyen, 1997)

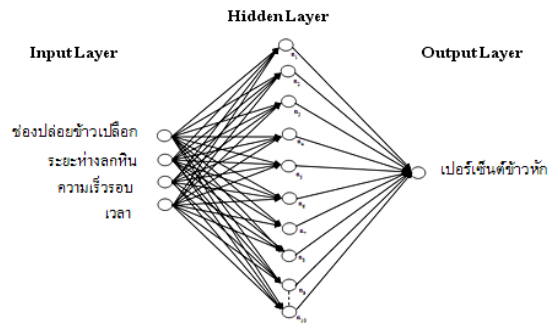
ตารางที่ 2 ฟังก์ชันถ่ายโอนที่กำหนดให้แต่ละโครงข่าย

| 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       |

ข้อมูลนำเข้า (Input) และข้อมูลส่งออก (Output) ของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย

- (1) ข้อมูลนำเข้า (Input) คือ ช่องปล่อยข้าวเปลือก ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว และเวลาที่ใช้ในการสีข้าว
- (2) ข้อมูลส่งออก (output) คือ ร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าว

โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำไปใช้กับสถาปัตยกรรมโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่างๆ ที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวแปรนำเข้า (Input) ที่ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมต้องมีการแปลงค่าข้อมูล (Data transformation) เพื่อเป็นการปรับขอบเขตของข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ฝึกสอนให้โครงข่ายประสาทเทียม วิธีการแปลงค่าข้อมูลดังกล่าวใช้วิธีการทำข้อมูลให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) โดยเป็นการลดค่าข้อมูลให้อยู่ในขอบเขตที่น้อยลงให้อยู่ในย่าน  $[0, 1]$  ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับฟังก์ชันที่ใช้งานของโครงข่ายประสาทเทียม วิธีการทำข้อมูลให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) นั้นมีหลายวิธี แต่ที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การแปลงค่าข้อมูลในลักษณะเป็นเชิงเส้น (Min – max Normalization) ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 2

สมการที่ 2

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

เมื่อ  $V'$  คือ ค่าข้อมูลที่ได้หลังจากผ่านสมการ

$V$  คือ ค่าข้อมูลก่อนผ่านสมการ

$\min_{old}$  คือ ค่าที่มีค่าน้อยที่สุดของข้อมูล

$\max_{old}$  คือ ค่าที่มีค่ามากที่สุดของข้อมูล

ข้อมูลจากการสีข้าวของแต่ละกรณีที่จะนำมาใช้ฝึกสอนและทดสอบในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม นั้น แต่ละกรณีมีข้อมูลทั้งสิ้นกรณีละ 207 ชุด ข้อมูล โดยที่ชุดข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้เพื่อการฝึกสอน (Training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและส่วนที่เหลือจะใช้เพื่อทดสอบ

(Testing) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าว ซึ่งในงานวิจัยนี้แบ่งข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนออกเป็นร้อยละ 70 และร้อยละ 30 จะใช้เพื่อทดสอบ ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

จากนั้นทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละชนิด โดยใช้ค่าเฉลี่ยของผลรวมของความคลาดเคลื่อน Mean square error (MSE) และค่า  $R^2$  จากสมการ Regression ที่ได้ในการเปรียบเทียบผล

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

(1) ผลที่ได้จากการฝึกสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียม พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดน้อยที่สุด คือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบ 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  $R^2$  ที่ได้เท่ากับ 0.99571 ดังแสดงในตารางที่ 3

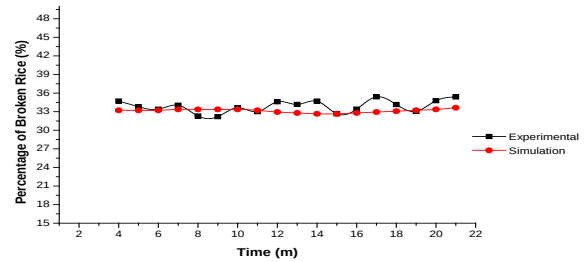


**ตารางที่ 3** การฝึกสอน (Training) โครงข่ายประสาทเทียมด้วยสถาปัตยกรรมโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่าง ๆ

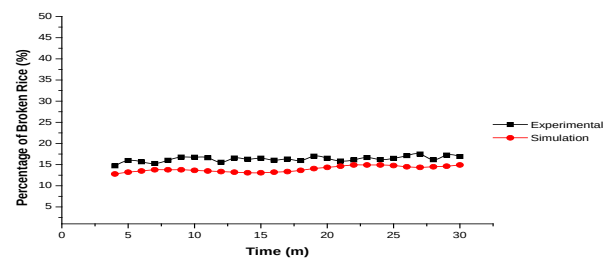
| Network Name |   | Transfer function Layer 1 | Transfer function Layer 2 | Regression |            |        |        |          |
|--------------|---|---------------------------|---------------------------|------------|------------|--------|--------|----------|
|              |   |                           |                           | Training   | Validation | Test   | All    | MSE      |
| 5 Node       | 1 | Logsig                    | Logsig                    | 0.9324     | 0.9461     | 0.9495 | 0.9369 | 1.31E-05 |
|              | 2 | Purelin                   | Logsig                    | 0.6339     | 0.5639     | 0.6634 | 0.6236 | 2.27E-05 |
|              | 3 | Tansig                    | Logsig                    | 0.9238     | 0.9490     | 0.9230 | 0.9301 | 1.38E-05 |
|              | 4 | Logsig                    | Purelin                   | 0.9946     | 0.9928     | 0.9947 | 0.9940 | 3.31E-07 |
|              | 5 | Purelin                   | Purelin                   | 0.2095     | 0.1418     | 0.2830 | 0.2040 | 3.17E-05 |
|              | 6 | Tansig                    | Purelin                   | 0.9960     | 0.9923     | 0.9928 | 0.9946 | 3.53E-07 |
|              | 7 | Logsig                    | Tansig                    | 0.9953     | 0.9965     | 0.9945 | 0.9952 | 3.06E-07 |
|              | 8 | Purelin                   | Tansig                    | 0.1734     | 0.2090     | 0.3110 | 0.2005 | 3.43E-05 |
|              | 9 | Tansig                    | Tansig                    | 0.9952     | 0.9927     | 0.9947 | 0.9944 | 3.31E-07 |
| 10 Node      | 1 | Logsig                    | Logsig                    | 0.9336     | 0.9439     | 0.9370 | 0.9362 | 1.56E-05 |
|              | 2 | Purelin                   | Logsig                    | 0.2858     | 0.2969     | 0.2220 | 0.2792 | 2.85E-05 |
|              | 3 | Tansig                    | Logsig                    | 0.9403     | 0.9471     | 0.9197 | 0.9376 | 1.55E-05 |
|              | 4 | Logsig                    | Purelin                   | 0.9957     | 0.9951     | 0.9903 | 0.9944 | 3.38E-07 |
|              | 5 | Purelin                   | Purelin                   | 0.2353     | 0.1035     | 0.1855 | 0.1955 | 3.05E-05 |
|              | 6 | Tansig                    | Purelin                   | 0.9952     | 0.9912     | 0.9959 | 0.9945 | 3.58E-07 |
|              | 7 | Logsig                    | Tansig                    | 0.9952     | 0.9963     | 0.9920 | 0.9949 | 3.66E-07 |
|              | 8 | Purelin                   | Tansig                    | 0.2107     | 0.1523     | 0.2008 | 0.1945 | 3.17E-05 |
|              | 9 | Tansig                    | Tansig                    | 0.9953     | 0.9946     | 0.9946 | 0.9949 | 3.17E-07 |
| 15 Node      | 1 | Logsig                    | Logsig                    | 0.9291     | 0.9455     | 0.9432 | 0.9365 | 1.26E-05 |
|              | 2 | Purelin                   | Logsig                    | 0.3333     | 0.2917     | 0.9094 | 0.2797 | 3.02E-05 |
|              | 3 | Tansig                    | Logsig                    | 0.9342     | 0.9440     | 0.9338 | 0.9358 | 1.44E-05 |
|              | 4 | Logsig                    | Purelin                   | 0.9958     | 0.9935     | 0.9943 | 0.9957 | 3.00E-07 |
|              | 5 | Purelin                   | Purelin                   | 0.2398     | 0.1995     | 0.1444 | 0.2014 | 3.11E-05 |
|              | 6 | Tansig                    | Purelin                   | 0.9967     | 0.9861     | 0.9925 | 0.9931 | 3.46E-07 |
|              | 7 | Logsig                    | Tansig                    | 0.9954     | 0.9937     | 0.9965 | 0.9952 | 3.75E-07 |
|              | 8 | Purelin                   | Tansig                    | 0.1744     | 0.2155     | 0.2458 | 0.1962 | 3.23E-05 |
|              | 9 | Tansig                    | Tansig                    | 0.9829     | 0.9484     | 0.9564 | 0.9707 | 1.49E-06 |

(2) ผลที่ได้จากการทดสอบ (Testing) โครงข่ายประสาทเทียมแบบ 4 – 15 -1 โดยใช้ข้อมูลในการทดสอบจากชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Data) ป้อนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายค่าร้อยละ

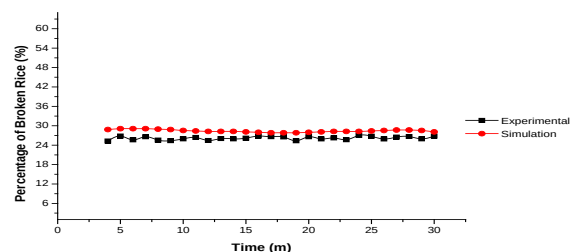
ข้าวหัก พบว่าค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมและค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการทดลองสีข้าวมีค่าออกมาใกล้เคียง และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 5, 6 และ 7 และพบว่าค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ของการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เท่ากับ 9.32 %



**รูปที่ 5** เงื่อนไขการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกร้อยละ 40 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 mm และความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1.420 rpm



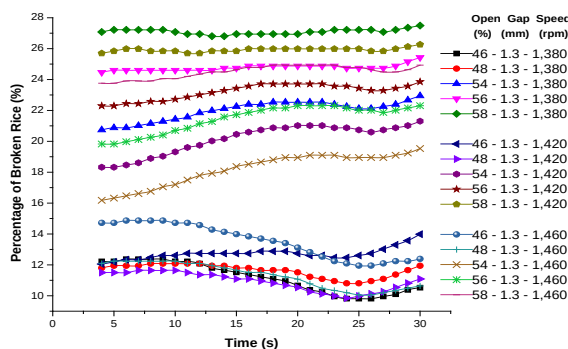
**รูปที่ 6** เงื่อนไขการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกร้อยละ 50 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 mm และความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1.420 rpm



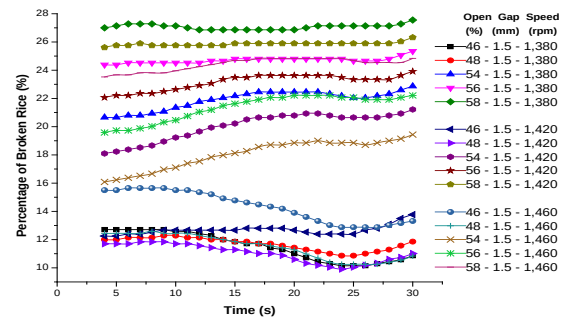
**รูปที่ 7** เงื่อนไขการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกร้อยละ 60 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 mm และความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1.420 rpm

(3) การนำโครงข่ายประสาทเทียม แบบ 4 – 15 – 1 มาทดลองใช้ในการทำนายค่าร้อยละข้าวหัก ใน 3 กรณี ได้แก่ การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือก, การตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว และ ค่าความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว

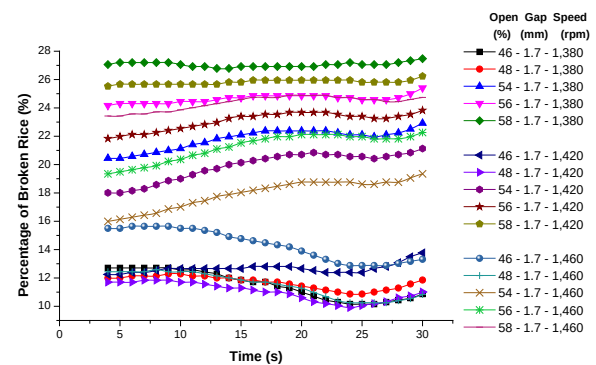
กรณีที่ 1 การทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยการพิจารณาอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ใช้ในการสีข้าว (อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่จะนำมาใช้ในการทำนายคือ การเปิดที่ร้อยละ 46, 48, 54, 65 และ 58) ดังรูปที่ 8, 9 และ 10 พบว่าอัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่มีการเปิดพื้นที่ช่องปล่อยข้าวเปลือกแคบ จะให้ค่าร้อยละข้าวหักที่น้อยกว่า การเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่มีกว้างกว่า ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่แคบจะส่งผลให้อัตราการไหลของข้าวเปลือกลงสู่ห้องขัดข้าวไม่มากจนเกินไปจึงทำให้กระบวนการขัดสีทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการเกิดข้าวหักที่ได้น้อยไปด้วย แต่หากเปิดพื้นที่ช่องปล่อยข้าวเปลือกมากขึ้น อัตราการไหลของข้าวเปลือกจะไหลลงสู่ห้องขัดข้าวมากขึ้นซึ่งอาจจะส่งผลให้กระบวนการขัดสีขาดความสมดุลส่งผลให้เกิดอัตราข้าวหักที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 8 เงื่อนไขการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3 mm ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380, 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 46, 48, 54, 65 และ 58



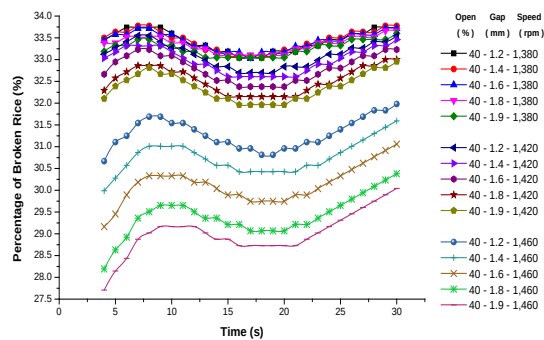
รูปที่ 9 เงื่อนไขการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.5 mm ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380, 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 46, 48, 54, 65 และ 58



รูปที่ 10 เงื่อนไขการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.7 mm ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380, 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 46, 48, 54, 65 และ 58

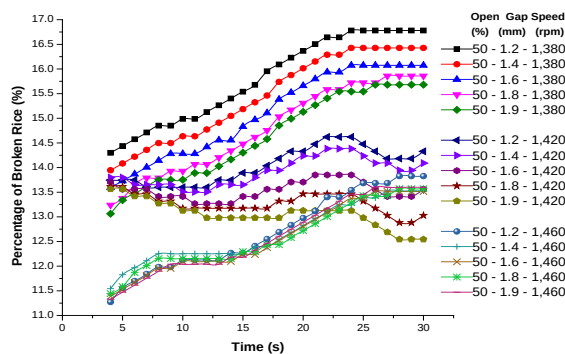
กรณีที่ 2 การทำนายค่าร้อยละข้าวหักจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยพิจารณาอัตราการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าว (อัตราการตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่จะนำมาใช้ในการทำนายคือ 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 1.9 mm) ดังรูปที่ 11, 12 และ 13 พบว่าเมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวเพิ่มมากขึ้น แนวโน้มของร้อยละข้าวหักที่ได้จากแต่ละเงื่อนไขจะ

ลดลง ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่แคบ จะส่งผลให้กระบวนการขัดข้าวมีความเสียหายและมีแรงกดที่มากกว่ากรณีที่มีการตั้งระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่กว้างกว่า จึงทำให้อัตราการการแตกหักที่ได้มากกว่า



รูปที่ 11 เงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อย

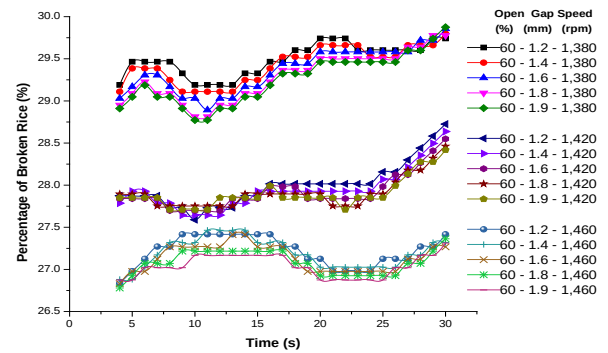
ข้าวเปลือกที่ร้อยละ 40 ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380, 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 1.9 mm



รูปที่ 12 เงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อย

ข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380, 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 1.9 mm

## PMP7-8

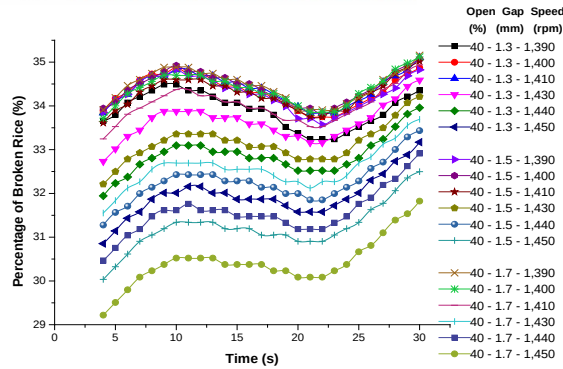


รูปที่ 13 เงื่อนไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อย

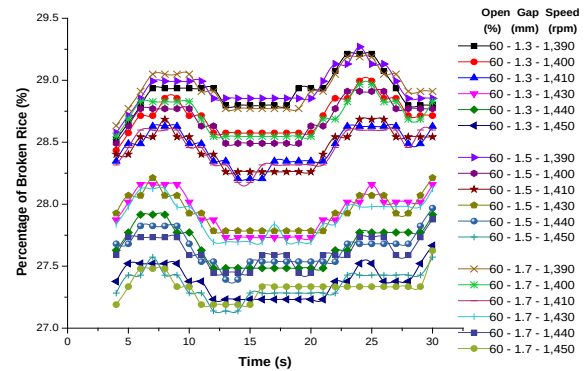
ข้าวเปลือกที่ร้อยละ 60 ความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่ 1,380, 1,420 และ 1,460 rpm โดยกำหนดให้อัตราระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 และ 1.9 mm

กรณีที่ 3 การทำนาค่าร้อยละข้าวหักจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยพิจารณาอัตราการตั้งค่าความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าว (อัตราค่าความเร็วรอบของลูกหินขัดข้าวที่จะนำมาใช้ในการทำนาคือ 1,390, 1,400, 1,410, 1,430, 1,440 และ 1,450 rpm) ดังรูปที่ 14, 15 และ 16 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 จะให้ค่าร้อยละข้าวหักสูงที่สุดเป็นส่วนมากของแต่ละเงื่อนไขการทดลองและพบว่าการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 จะให้ค่าร้อยละข้าวหักที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 40 และ 60

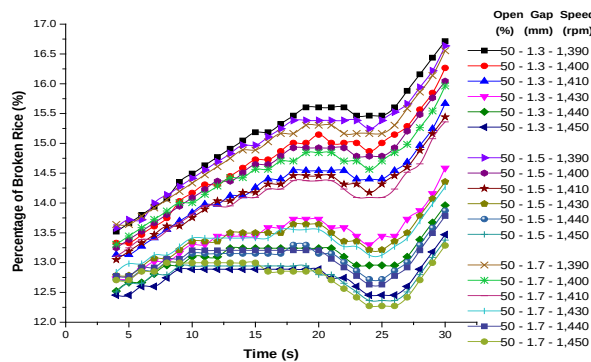




**รูปที่ 14** เส้นไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อย  
ข้าวเปลือกที่ร้อยละ 40 ระยะห่างระหว่างลูก  
หินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3, 1.5 และ  
1.7 mm โดยกำหนดให้ความเร็วรอบของลูก  
หินขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1,390, 1,400,  
1,410, 1,430, 1,440 และ 1,450 rpm



**รูปที่ 16** เส้นไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อย  
ข้าวเปลือกที่ร้อยละ 60 ระยะห่างระหว่างลูก  
หินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3, 1.5 และ  
1.7 mm โดยกำหนดให้ความเร็วรอบของลูก  
หินขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1,390, 1,400,  
1,410, 1,430, 1,440 และ 1,450 rpm



**รูปที่ 15** เส้นไขการตั้งค่าการเปิดช่องปล่อย  
ข้าวเปลือกที่ร้อยละ 50 ระยะห่างระหว่างลูก  
หินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.3, 1.5 และ  
1.7 mm โดยกำหนดให้ความเร็วรอบของลูก  
หินขัดข้าวที่ใช้ในการทำนาคือ 1,390, 1,400,  
1,410, 1,430, 1,440 และ 1,450 rpm

## สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่มี  
โครงสร้างแบบหลายชั้น (Multilayer Perceptron) ใช้  
การเรียนรู้ของโครงข่ายชนิดมีการสอน (Supervised  
Learning) แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed - forward) ด้วย  
เทคนิควิธีการแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation) มี  
ประสิทธิภาพเพียงพอในการประยุกต์ใช้เพื่อทำนายค่า  
ร้อยละข้าวหักจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยจากการ  
ทดลองพบว่า สถาปัตยกรรมโครงข่ายของโครงข่าย  
ประสาทเทียมที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการทำนายค่า  
ร้อยละข้าวหัก เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 4 – 15  
– 1 หรือ โครงข่ายที่มีตัวแปรนำเข้า (Input) 4 ตัวแปร มี  
จำนวนหน่วยย่อย (Node) ในชั้นซ่อนเท่ากับ 15 หน่วย  
ย่อย และมีข้อมูลส่งออก (Output) เท่ากับ 1 โดยที่  
ภายในโครงข่ายประกอบด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน  
(Transfer Function) ในชั้นที่ 1 เป็นแบบ Log-sigmoid  
Transfer Function (Logsig) และชั้นที่ 2 เป็นแบบ Hard  
Limit Transfer Function (Purelin) ให้ค่าเฉลี่ยความ  
ผิดพลาด Mean Square Error (MSE) น้อยที่สุด เท่ากับ  
 $3.00 \times 10^{-7}$  และให้ค่า  $R^2$  มากที่สุด เท่ากับ 0.99571

ผลการทำนายพบว่า เมื่อนำกราฟการทำนายทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับกันจะแสดงให้เห็นว่ากราฟผังรูปที่ 9 หรือการทำนายในกรณีของการเปิดช่องปล่อยข้าวเปลือกที่ร้อยละ 48 ระยะห่างระหว่างลูกหินขัดข้าวกับแท่งยางขัดข้าวที่ 1.5 mm และที่ระดับความเร็วรอบ 1,420 rpm จะให้ค่าร้อยละข้าวหักเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดคืออยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 11 -13 โดยประมาณ ซึ่งผลการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานจริง โดยผลที่ได้จากการทำนาย จะทำให้สามารถทราบถึงแนวโน้มของอัตราการแตกหักของข้าวสารที่จะเกิดขึ้นจากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า โครงข่ายประสาทเทียม มีประสิทธิภาพเพียงพอในการประยุกต์ใช้กับการทำนายค่าร้อยละข้าวหักที่ได้จากการสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยทั้งนี้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงข่ายที่เลือกใช้ จำนวนชั้นซ่อน (Hidden Layer) จำนวนหน่วยย่อย (Node) และรวมถึงฟังก์ชันต่างๆ ที่กำหนดให้กับโครงข่ายอีกด้วย

### ข้อเสนอแนะ

(1) ประสิทธิภาพการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ การกำหนดค่าและการเลือกใช้ฟังก์ชันชนิดต่างๆ การกำหนดจำนวนชั้นซ่อน จำนวนหน่วยย่อย อัลกอริทึมการเรียนรู้ที่เลือกใช้ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ไม่มีข้อกำหนดในการเลือกที่แน่นอน ซึ่งจากการอ้างอิงงานวิจัยที่มีผู้ศึกษาไว้ก่อนหน้านี้พบว่า การเลือกใช้ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะอาศัยการลองผิดลองถูก ซึ่งไม่มีรูปแบบที่แน่นอนตายตัว ดังนั้นผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงไม่อาจสรุปได้ว่าเป็นผลที่ดีที่สุด แต่สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปได้

(2) ในการฝึกสอนและเรียนรู้ของโปรแกรมภายใต้ปัจจัยและเงื่อนไขต่างๆ เป็นการฝึกสอนที่สามารถใช้ได้เฉพาะกรณี หากมีการเปลี่ยนแปลงค่าหรือ

จำนวนข้อมูลป้อนเข้า จำเป็นต้องทำการฝึกสอนและคัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสมใหม่ทุกครั้งไปเพื่อทำการวิเคราะห์ผลฝึกสอนและเรียนรู้ ก่อนที่จะนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากการฝึกสอนนั้นๆ ไปใช้งานต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุอังคนา ลิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, อ.ตะวันฉาย โพธิ์หอม, ดร. นันทวัฒน์ วีระยุทธ และ ดร.ศุภฤกษ์ จันทร์จรสจิตต์ ที่ให้คำปรึกษาและมีส่วนช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนวิจัย ไว้ ณ ที่นี้

### เอกสารอ้างอิง

- สอาด เนรรอด. 2552. แบบจำลองทำนายผลการวิเคราะห์น้ำมันเครื่องยนต์รถบรรทุกขนาด 85 คตันของเหมืองแม่เมาะโดยโครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Assidjo, E. B., Yao, K. Kisselmina., D. Amané. 2008. Modeling of an industrial drying process by artificial neural networks. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 25(3): 515-522.
- Fernandes FAN, Lona LMF. 2005. Neural network applications in polymerization processes. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 22(03): 401-418.
- Hagan, M.T., Demuth, H.B., and Beals, M., 1996. Neural network design. PWS Publishing Company, USA.

- Leib TM, Mills PL, Lerou JJ, Turner JR. 1995. Evaluation of neural networks for simulation of three phase bubble column reactors. *Trans IChemE Journal*. 73(A): 60-69.
- Maier, H. R., Dandy, G. C. 2001. Neural Network Based Modelling of Environmental Variables. A Systematic Approach. *Mathematical and Computer Modelling*. 33: 669-682.
- Movagharnejad, K., Nikzad, M., 2007. Modeling of tomato drying using artificial neural network. *Computers and electronics in agriculture*. 59: 78-85.
- Otawara K, Fan LT, Tsutsumi A, Yano T, Kuramoto K, Yoshida K. 2002. An artificial neural network as a model for chaotic behavior of a three phase Fluidized bed. *Chaos Soliton Fract Journal*. 13: 353-362.
- Psichogios DC, Ungar LH. 1992. A hybrid neural network – first Principles approach to process modeling. *AIChE Journal*. 38: 499-511.
- S. Kumar, Jain A. 2008. Knowledge extraction from Trained neural network hydrologic models. *Proc. of the National Conference HYDRO 2008*. MNIT Jaipur, Rajasthan, India. 15-16 December.
- Samad T, Mathur A. 1992. Parameter estimation for process control with neural networks. *International Journal of Approximate Reasoning*. 7: 149-164
- Satish S, Setty YP. 2005. Modeling of a continuous Fluidized bed dryer using artificial neural networks. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 32: 539-547.
- T.T Nguyen, 1997. Neural Network Optimal Power Flow. *Advances in Power System Control, Operation and Management*, 1997. APSCOM-97. Fourth International Conference Hong Kong. 11-14 November.
- Visetkul M. 1984. Improvement of rice processing technology. *Thailand Engineering Journal*. 37(4): 110 -115.