

การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายค่าความเร็วการกระจายตัวของ  
ผงของแข็งแบบสม่ำเสมอในของเหลว กรณีศึกษาการออกแบบสำหรับ  
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

**Artificial Neural Network Model Development for Predicting Uniform  
Suspension Speed in Solid-Liquid Suspension: A Case Study Designing in  
Tapioca Starch Industry**

สถาพร เลี้ยงศิริกุล<sup>1\*</sup> นันทวรรณ อ้าเอี่ยม<sup>1</sup> นิธิเดช คูหาทองสมุทร<sup>2</sup> และ กุลวัลย์ วรณสิน<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง,

<sup>2</sup>ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

6414942002@rumail.ru.ac.th\*

Sathaporn Liengsirikul<sup>1\*</sup> Nanthawan Am-Eam<sup>1</sup> Nitidet Choothongsumrit<sup>2</sup> and Kulwarun Warunsin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Engineering Management and Technology Program, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University

<sup>2</sup>Department of Statistics, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

6414942002@rumail.ru.ac.th\*

Received 5 Aug 2023; Revised 15 Nov 2023

Accepted 23 Dec 2023; Available online 30 Dec 2023

### บทคัดย่อ

สิ่งสำคัญในการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตการผสมของแข็งในของเหลวในถังผสมคือ ความเร็วรอบที่เหมาะสมและเพียงพอสามารถก่อให้เกิดสภาวะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของของแข็งในของเหลว (solid-liquid suspension) ในการออกแบบความเร็วรอบที่เหมาะสมมีความจำเป็นต้องเรียนรู้ทฤษฎีด้านเทคโนโลยีการผสมของเหลวในเชิงลึก พร้อมทั้งต้องใช้สมการการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน ผู้ออกแบบ จำเป็นต้องมีประสบการณ์การในการทดสอบงานจริงเพื่อวิเคราะห์และคาดการณ์ได้อย่างถูกต้อง เพื่อลดความซับซ้อนดังกล่าว และยังคงไว้ซึ่งความถูกต้องของการออกแบบเพื่อนำไปใช้งานได้จริง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปร สำหรับการคัดกรองตัวแปรของปัจจัยที่เหมาะสมและพยากรณ์ความเร็วรอบเพื่อหาค่าการกระจายตัวของแข็งในของเหลวอย่างสม่ำเสมอ การวิจัยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน 8 ปัจจัย พร้อมทั้งหาปัจจัยที่มีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบ ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการพยากรณ์ค่าความเร็วรอบของการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมออย่างแท้จริง (uniform suspension speed,  $N_{us}$ ) ในถังผสม การวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากการออกแบบและใช้งานถังผสมของแข็งในของเหลวในภาคอุตสาหกรรมจริง จำนวน 1440 ข้อมูลสำหรับขั้นตอนที่ 1 และ 630 ข้อมูลสำหรับขั้นตอนที่ 2 ผลการศึกษา พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นมีวิธีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ ในขั้นตอนที่ 1 โครงข่ายประสาทเทียมสามารถ

วิเคราะห์และตัดสินใจปัจจัยที่เหมาะสมได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 1.0 สำหรับขั้นตอนที่ 2 โครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ค่าความเร็วรอบได้อย่างถูกต้อง โดยมี ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.91 มีความผิดพลาดเฉลี่ย 4.47 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้เพื่อเป็นแบบจำลองในการออกแบบกระบวนการผสมที่วัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของผงของแข็งในเหลว สามารถใช้งานได้เทียบเท่าการออกแบบโดยผู้ออกแบบจากบริษัท ผู้ออกแบบระบบการผลิตของเหลวได้

**คำหลัก:** เทคโนโลยีการผลิตของเหลว, การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของผงของแข็งในของเหลว, โครงข่ายประสาทเทียม

## Abstract

The important factors in controlling the quality of the solid-liquid mixing process in a mixing tank for solid-liquid suspension are the optimum and sufficient rotational speed that can induce a uniform suspension of solids in the liquid. To design an optimum rotational speed, one must understand the deep understanding theory of liquid mixing technology and utilize complex mathematical equations for calculation. Designers need practical experience in real-world testing to analyze and predict accurately, reducing the complexity while maintaining the practical validity of the design. The objective of this research is to develop an artificial neural network model in the form of variable relationships for screening suitable factors and predicting the rotational speed to determine uniform suspension speed in the mixing tank. The research consists of two steps: Step 1: Developing an artificial neural network to analyze 8 relevant factors and identify suitable factors for design. Step 2: Developing an artificial neural network to predict the rotational speed for achieving uniform suspension speed in the mixing tank. The research utilizes data from the actual design and operation of a solid-liquid mixing tank in the industrial sector. This involves 1440 data points for Step 1 and 630 data points for Step 2. The results showed that the developed artificial neural network model employs backpropagation learning. In Step 1, the neural network model can accurately analyze and decide on suitable factors with an  $R^2$  value of 1.0 and an error of 0%. For Step 2, the neural network model can accurately predict the rotational speed with an  $R^2$  value of 0.91 and MAPE of 4.47%. Therefore, utilizing the artificial neural network as a model for designing the mixing process that aims to achieve uniform suspension of solid powder in a liquid can be as effective as designs created by professionals specializing in fluid mixing system design.

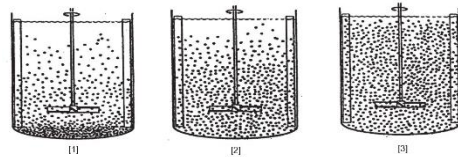
**Keywords:** Fluid Mixing Technology, Solid-Liquid Suspension, Artificial Neural Network

## 1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการผสม (mixing process) เปรียบเหมือนหัวใจของกระบวนการผลิตในเกือบทุกอุตสาหกรรม โดยอาจจะกล่าวนิยามของการผสมเพื่อให้เข้าใจได้ว่าเป็นการนำสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาทำการผสมกันในภาชนะผสมโดยการใช้เครื่องจักรในการผสมซึ่งเรียกว่า เครื่องผสม (agitator) เพื่อมีจุดมุ่งหมายให้สารดังกล่าวมีการละลายเป็นเนื้อเดียวกัน, มีการทำปฏิกิริยากัน, มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วถึงกัน เป็นต้น [1] ซึ่งในกระบวนการผสมนั้นมีหลากหลายกระบวนการ ขึ้นกับ

วัตถุประสงค์ของการผสม (mixing task) ทั้งนี้ในหลากหลายของวัตถุประสงค์ของกระบวนการผสมนั้นมีกระบวนการผสมประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญและใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิต คือ การผสมระหว่างอนุภาคของแข็งและของเหลว ซึ่งอนุภาคของแข็งไม่ทำละลายในของเหลว และมีวัตถุประสงค์ของการผสมเพื่อให้อนุภาคของแข็งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในของเหลว (solid-liquid suspension) ซึ่งอุตสาหกรรมที่มีวัตถุประสงค์การผสมประเภทนี้ได้แก่ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลิตสี เป็นต้น โดยหากพิจารณาในใจความสำคัญของกระบวนการ

ผสมในกระบวนการประเภทนี้ กล่าวคือ ต้องการให้เครื่องผสม สามารถผสมให้อนุภาคของแข็งเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วถึงกัน โดยหากไม่เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้กระบวนการผสมไม่บรรลุวัตถุประสงค์ของกระบวนการผสมดังกล่าว [2] [3] ทั้งนี้การออกแบบ ค่าแนวหาความเร็วรอบที่เหมาะสมซึ่งเป็นความเร็วรอบที่สามารถก่อให้เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแท้จริงได้นั้น ต้องอาศัยความเข้าใจพื้นฐานด้านกลศาสตร์ของไหล เช่น พฤติกรรมของไหล ความหนืด และ ปัจจัยที่เหมาะสมในการหาค่าการกระจายตัวหลายปัจจัย [4] [5] โดยเฉพาะการคำนวณสำหรับกระบวนการผสมที่มีวัตถุประสงค์ของการผสมเพื่อให้อนุภาคของแข็งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในของเหลว มีทฤษฎีที่ซับซ้อน โดยก่อนที่จะออกแบบคำนวณ ค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมได้นั้น ต้องพิจารณาถึงตัวแปรของ ปัจจัยที่เหมาะสมในการหาค่าการกระจายตัวของระบบผสมว่าอยู่ในขอบข่ายความเหมาะสมของวัตถุประสงค์ของการผสมเพื่อให้อนุภาคของแข็งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในของเหลว หรือไม่ แล้วจึงใช้สมการในการคำนวณต่อไปได้ ทั้งนี้ สมการในการคำนวณที่ใช้อ้างอิงในตำราวิชาการโดยทั่วไป จะเป็นสมการที่ใช้คำนวณค่าความเร็วที่ให้อนุภาคเริ่มมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (just suspension speed,  $N_{js}$ ) เพียงสมการเดียว โดยหากจะต้องการทราบว่าจะระบบการผสมมีอนุภาคของแข็งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแท้จริงในของเหลว หรือไม่ ต้องมาจากการสังเกตจริง หรือ เก็บตัวอย่างเพื่อการทดสอบการกระจายตัวเท่านั้น จึงเป็นการยากต่อการจะหาความเร็วรอบที่เหมาะสมดังกล่าวจากการคำนวณทางทฤษฎี โดยสภาวะการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งในของเหลว สามารถแบ่งได้ 3 ระดับ [1] [5] คือ สภาวะการกระจายตัวเพียงบางส่วน สภาวะเริ่มการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และ สภาวะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แท้จริง ดังแสดงตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระดับการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งในของเหลว

อย่างไรก็ตามมี ผู้นำเสนออัตราส่วนความเร็วรอบของค่าความเร็วที่ให้อนุภาคเริ่มมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เทียบกับ ค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมออย่างแท้จริง (uniform suspension speed,  $N_{us}$ ) โดยเทคนิคการประมาณการ ซึ่งยังมีความซับซ้อนอยู่มากพอสมควร เนื่องจากมีปัจจัยหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกัน ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาปัญหาดังกล่าวโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความซับซ้อนทางทฤษฎี ลดความวุ่นวายของการคำนวณทางสมการคณิตศาสตร์หลายตัวแปร ทั้งที่สามารถวัดค่าได้ วัดค่าไม่ได้ และ เพื่อลดขั้นตอนในการจัดการกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม โดยการใช้ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นวิธีที่มีผู้วิจัยหลายรายใช้ในกระบวนการผสมที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน [7] [8] [9]

## 2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปร สำหรับการคัดกรองตัวแปรที่เหมาะสมในการหาค่าการกระจายตัวของระบบการผสมที่สามารถก่อให้เกิดสภาวะการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริงได้
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปร สำหรับการพยากรณ์ค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง

## 3. แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผสมเพื่อให้อนุภาคของแข็งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในของเหลว ซึ่งหากจะกล่าวถึงกระบวนการผสมดังกล่าวแล้วนั้น มีทฤษฎีหนึ่งที่

ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการอ้างอิงสำหรับกระบวนการออกแบบ นั่นคือ ทฤษฎีของ ZWIETERING [5] ซึ่งสามารถแสดงสมการและความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

$$N_{js} = S \frac{v^{0.10} d_p^{0.20} X^{0.13} \left( \frac{g \Delta p}{\rho L} \right)^{0.45}}{D^{0.85}} \quad (1)$$

โดยที่  $N_{js}$  คือ ความเร็วรอบของค่าความเร็วที่ทำให้อนุภาคเริ่มมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ  $S$  คือ ค่าคงที่ของ ZWIETERING  $V$  คือ ความหนืดของของเหลว  $d_p$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคของแข็ง  $X$  คือ อัตราส่วนโดยมวลของ ZWIETERING  $g$  คือค่าแรงโน้มถ่วงของโลก  $\Delta p$  คือ ค่าความแตกต่างของความหนาแน่นของผงของแข็งและของเหลว  $\rho_L$  คือ ความหนาแน่นของของเหลว และ  $D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน

ทฤษฎีดังกล่าว ว่าด้วยหลักการการออกแบบเพื่อหาค่าความเร็วที่ทำให้อนุภาคเริ่มมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งถือเป็นค่าความเร็วเริ่มต้นที่ทำให้อนุภาคของแข็งทั้งหมดลอยเหนือพื้นถึงเป็นระยะเวลา 1-2 วินาที [5] ทั้งนี้ค่าความเร็วเริ่มต้นดังกล่าวจะเป็นดัชนีบ่งบอกถึงความเร็วของใบกวนนั้นมีแนวโน้มที่ทำให้อนุภาคกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแล้ว และโดยทั่วไปจะใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นดังกล่าวอ้างอิงเป็นมาตรฐาน เพื่อใช้ในการปรับเพิ่มความเร็วตามอัตราส่วนความเร็วรอบของค่าความเร็วที่ทำให้อนุภาคเริ่มมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เทียบกับค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมออย่างแท้จริง เพื่อหาค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง ต่อไป ซึ่งการได้มาจากการสังเกตการทดลองในภาชนะขนาดเล็กแบบใส

สำหรับงานในภาคอุตสาหกรรมจริงนั้น เป็นการยากที่จะทำการสังเกตภาวะเริ่มต้นการกระจายตัว เนื่องด้วยมองไม่เห็นสภาวะดังกล่าว อีกทั้งถึงผสมมีขนาดใหญ่ แต่จะสามารถทราบได้ถึงสภาวะ

การกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริงได้จากการเก็บตัวอย่างในถังผสมแล้วมาวิเคราะห์การกระจายตัวของผงของแข็งในของเหลว

โครงข่ายประสาทเทียม เป็นการจำลองการทำงานโครงข่ายประสาทที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากโครงข่ายประสาทของมนุษย์ โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม จะประกอบด้วยชั้นของข้อมูลเบื้องต้น 3 ชั้น เรียงกัน ได้แก่ ชั้นอินพุต (input layer) ชั้นซ่อนเร้น (hidden layer) และ ชั้นเอาต์พุต (output layer) โดยสามารถเข้าใจง่ายและมีการประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย [7] [8] [9] โครงข่ายประสาทเทียมมีการสอนการเรียนรู้แพร่ย้อนกลับ (back propagation neural network) ประกอบไปด้วยกระบวนการ 3 ขั้นตอน กล่าวคือ ขั้นตอนการคำนวณไปข้างหน้า (feed forward) จากชั้นอินพุตไปยังชั้นซ่อนเร้น และไปสู่อินพุต ตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนการคำนวณและการแทนค่ากลับของผลรวมของความผิดพลาดของสัญญาณออกแบบ กับค่าเป้าหมาย และ ขั้นตอนการปรับค่าน้ำหนัก (weight) และ ค่าความลำเอียง (bias) หลังจากที่ได้โครงข่ายประสาทเทียมได้ผ่านการเรียนรู้แล้ว จะเป็นการนำตัวโครงข่ายไปประยุกต์ใช้งาน ขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับขั้นตอนการคำนวณไปข้างหน้าเพียงขั้นตอนเดียว โดยจะนำค่าน้ำหนัก และค่าความลำเอียง ที่ได้จากการเรียนรู้ไปในการพยากรณ์ต่อไป [10] [11] [12]

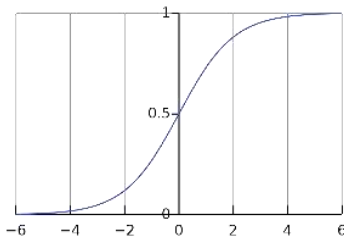
กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม จำเป็นต้องหาค่าน้ำหนัก ของตัวแปรเข้า (input) และค่าความลำเอียง ที่ดีที่สุดเพื่อให้โมเดลที่กำลังเรียนรู้อยู่มีค่าความคลาดเคลื่อน (loss) น้อยที่สุด โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าเป้าหมายและค่าที่ได้จากการพยากรณ์ โดยวิธีการหาค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสอง (mean square error, MSE) และ การทำให้โมเดลมีความแม่นยำมากที่สุด (optimization) [16] ซึ่งผู้วิจัยใช้วิธี Gradient descent ในรูปแบบของ Batch gradient descent ซึ่งเป็นวิธีที่นำเอาข้อมูล (dataset) ทั้งหมดเข้าไปประมวลผลในแต่ละรอบ (epochs) จากนั้นก็ทำการอัปเดตค่าน้ำหนัก ของตัวแปรเข้า และ ค่าความลำเอียง แล้วคำนวณใหม่ ซึ่งเป็นวิธีการ

ที่ใช้แพร่หลายในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลจำนวนไม่มาก [10]

ฟังก์ชันกระตุ้นไม่เชิงเส้น (non-linear activation function) มีอยู่หลายแบบด้วยกัน โดยการเลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบที่จะนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้ โดยหากพิจารณาการใช้เพื่อการแบ่งแยกประเภทข้อมูลแบบสองกลุ่ม (binary classification) แล้ว ฟังก์ชันกระตุ้นประเภทซิกมอยด์ (sigmoid function) ดังสมการที่ 2

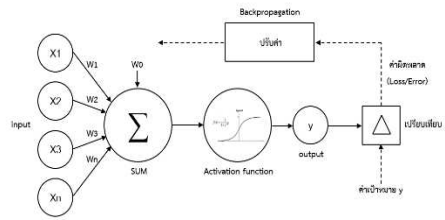
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

ได้รับความนิยมนำมาใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมในชั้นเอาท์พุทซึ่งฟังก์ชันกระตุ้นประเภทซิกมอยด์ จะมีคุณสมบัติ คือ ตัวเลขที่ผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์มีค่าเป็นบวก ฟังก์ชันซิกมอยด์จะให้ค่าผลลัพธ์ออกมา มีค่ามากกว่า 0.5 ถึง 1 และ ตัวเลขที่ผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์มีค่าเป็นลบ จะให้ค่าผลลัพธ์ออกมา มีค่าน้อยกว่า 0.5 ถึง 0 ดังแสดงตามรูปที่ 2



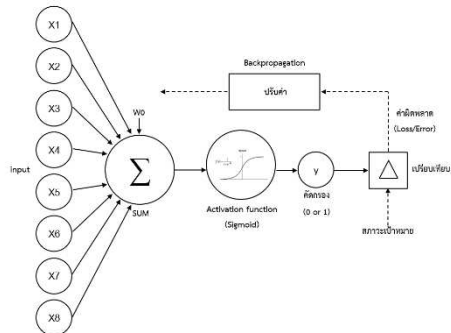
รูปที่ 2 ฟังก์ชันกระตุ้นซิกมอยด์

ตัวแปรเข้า เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องด้วยโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถทำงานได้ดีที่สุดสำหรับระบบ จะเป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้เฉพาะตัวแปรเข้าที่จำเป็นต่อการสร้างโมเดลเท่านั้น หากมีตัวแปรเข้ามากเกินไปจนการการเรียนรู้จะส่งผลให้ระบบมีการเรียนรู้ที่ใช้เวลานานโดยไม่มีผลต่อการพยากรณ์ค่าในชั้นเอาท์พุท ที่ต้องการ ซึ่งสามารถแสดงกระบวนการการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ดังแสดงตามรูปที่ 3



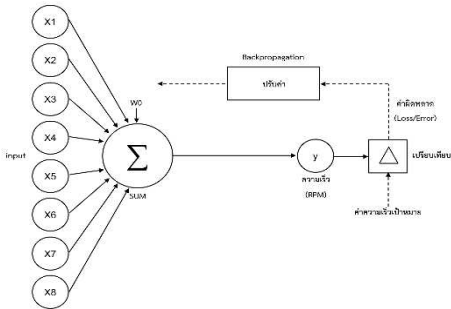
รูปที่ 3 กระบวนการการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

วิธีโครงข่ายประสาทเทียม สามารถลดความซับซ้อนของตัวแปรและความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้โดยการเปลี่ยนแปลง ทฤษฎีที่สำคัญด้านเทคโนโลยีผสมของเหลวซึ่งใช้กับกระบวนการ กระจายตัวดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงข้อมูล โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ของกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการคัดกรองตัวแปรของปัจจัยแวดล้อมระบบการผสมที่สามารถก่อให้เกิดสภาวะการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริงได้ ดังแสดงตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการคัดกรองปัจจัยการกระจายตัว

และ สามารถแสดงความสัมพันธ์ของกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์ค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง ดังแสดงตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการพยากรณ์ค่าความเร็ว

ซึ่งโดยทั่วไปของการสอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะแบ่งชุดข้อมูล (dataset) ออกเป็น 2 ส่วน เพื่อใช้ในการเรียนรู้ และ ใช้ในการทดสอบความแม่นยำ ของโมเดล ทั้งนี้สัดส่วนการแบ่งชุดข้อมูลไม่ได้มีการกำหนดไว้เป็นมาตรฐาน แต่ที่นิยมใช้กันคือ สัดส่วนการแบ่งชุดข้อมูลที่สัดส่วน 80 : 20 หรืออื่นๆตามความเหมาะสม และการปรับโมเดลสำหรับชุดข้อมูลปริมาณไม่มาก จะปรับค่าการเรียนรู้ (learning rate) เพียงค่าเดียว [10] ทั้งนี้ก่อนโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการพยากรณ์ค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริงได้นั้น โครงข่ายประสาทเทียมจำเป็นต้องทำการคัดกรองสถานะของระบบการผสมว่าข้อมูลนำเข้าชุดใหม่นั้นอยู่ในกรอบของความเหมาะสมที่สามารุใช้โมเดลของโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ได้หรือไม่

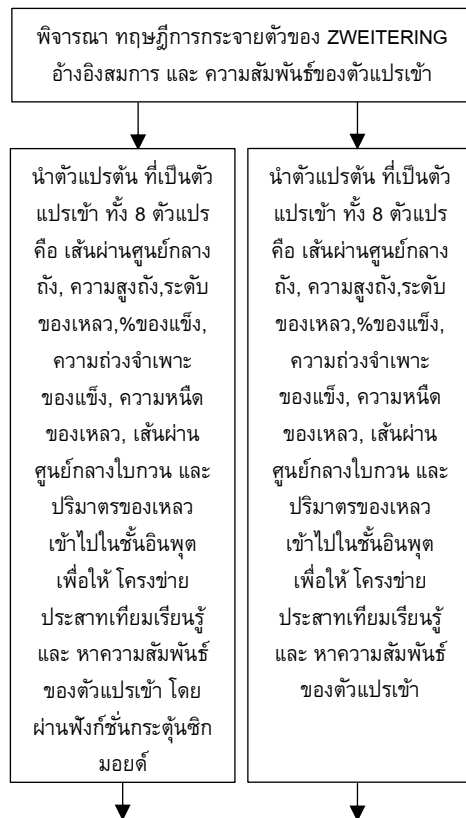
วิธีวัดความแม่นยำ โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ความเร็วพยากรณ์ โดยวิธีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) ดังสมการที่ 5

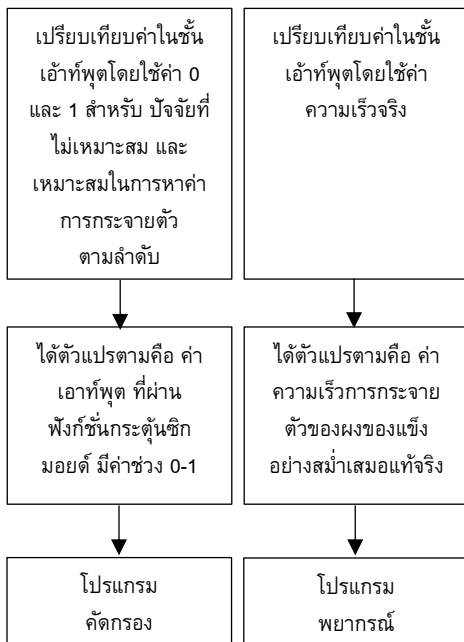
$$MAPE = \frac{\sum |(A_t - F_t)/A_t|}{n} \times 100\% \quad (5)$$

โดย  $A_t$  คือ ค่าจริง  $F_t$  คือ ค่าพยากรณ์  $n$  คือ จำนวนข้อมูลที่นำมาพิจารณา

#### 4. กรอบแนวคิดงานวิจัย

โดยจากการศึกษาสถานะการกระจายตัวของหลักทฤษฎีของ ZWEITERING และ วิธีการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม รวมถึงการทวนสอบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [7] [8] [9] สามารถกำหนดกรอบแนวคิดงานวิจัยในการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์และตัดสินใจปัจจัยแวดล้อมในขั้นตอนที่ 1 และ การพยากรณ์ค่าความเร็วรอบในขั้นตอนที่ 2 โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น จำนวน 8 ตัวแปรตาม คือ ค่าเอทัพุดที่ผ่านฟังก์ชันกระตุ้นชอกมอยด์ มีค่าช่วง 0-1 และ ค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง ดังแสดงตามรูปที่ 6





รูปที่ 6 กรอบแนวคิดงานวิจัย

### 5. วิธีการศึกษาวิจัย

ข้อมูลการวิจัย, ข้อมูลงานในภาคอุตสาหกรรมจริง สำหรับงานในกระบวนการผสมดังกล่าวถือได้ว่าเป็นชุดข้อมูลหายากและมีจำนวนไม่มาก ทั้งนี้เพื่อความเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยที่สามารถนำไปต่อยอดใช้งานได้จริง ผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลจากผู้ออกแบบและผลิตงานด้านเทคโนโลยีการผสมของเหลว จากบริษัท มิสซิเบิล เทคโนโลยี จำกัด ระหว่างปีพ.ศ. 2562-2565 จำนวน 50 ตัวอย่าง (50 sample) ซึ่งมีจำนวนข้อมูล 450 ข้อมูล (450 dataset) ซึ่งใช้งานจริงในอุตสาหกรรมของกระบวนการเตรียมน้ำแข็งดิบสำหรับโรงงานแบริ่งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นชุดข้อมูลของกระบวนการผสมที่มีสภาวะการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง ที่มีขนาดของถังผสมแตกต่างกันออกไปตามการใช้งานจริงสำหรับใช้สอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการพยากรณ์ค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง และ ข้อมูล จำนวน 20 ตัวอย่าง (20 sample) ซึ่งมีจำนวนข้อมูล 180 ข้อมูล (180 dataset) จากช่วงระยะเวลาเดียวกัน ในการทดสอบ

ความแม่นยำของการพยากรณ์

การพิจารณาตัวแปรเข้า เนื่องด้วยข้อมูลนำเข้าที่มีวัตถุประสงค์ของการผสมเพื่อให้อนุภาคของแข็งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในของเหลว ดังกล่าวเป็นข้อมูลจริงจากการใช้งานภาคอุตสาหกรรม ผู้วิจัยได้ออกแบบจำนวนนิรอนในชั้นอินพุต ตามสภาวะใช้งานจริง ของถังผสมซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการ อ้างอิงจากความสัมพันธ์การกระจายตัวของ ZWEITERING จำนวน 8 นิรอน ดังนี้คือ 1) เส้นผ่านศูนย์กลางของถังผสม, 2) ความสูงของถังผสม, 3) ระดับความสูงของของเหลว, 4) เปอร์เซ็นต์ของผงของแข็ง, 5) ความหนาแน่นของผงของแข็ง, 6) ความหนืดของของเหลว, 7) เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน และ 8) ปริมาตรของของเหลวในถัง ดังแสดงตามรูปที่ 2 และ ดังแสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงของชุดข้อมูล ของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการพยากรณ์ค่าความเร็ว

| ตัวแปร                | หน่วย | ช่วงข้อมูล      |
|-----------------------|-------|-----------------|
| เส้นผ่านศูนย์กลางถัง  | เมตร  | [1.20 ถึง 3.88] |
| ความสูงถัง            | เมตร  | [1.40 ถึง 9.15] |
| ระดับของเหลว          | เมตร  | [1.00 ถึง 8.20] |
| % ของแข็ง             | %     | [10 ถึง 45]     |
| ความถ่วงจำเพาะของแข็ง | -     | ค่าคงที่ 0.6    |
| ความหนืดของเหลว       | cps   | ค่าคงที่ 1.0    |
| เส้นผ่านศูนย์กลางใบ   | เมตร  | [0.60 ถึง 2.70] |
| ปริมาตรถังผสม         | ลบ.ม  | [1 ถึง 100]     |

ใช้ชุดข้อมูล จำนวน 130 ตัวอย่าง (130 sample) ซึ่งมีจำนวนข้อมูล 1170 ข้อมูล (1170 dataset) จากช่วงระยะเวลาเดียวกัน เพื่อใช้ในการสอนการเรียนรู้ของการคัดกรองตัวแปรของปัจจัยแวดล้อมระบบการผสมของเหลวที่สามารถทำงานได้ในวัตถุประสงค์ที่ต้องการสภาวะการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง และ จำนวน 30 ตัวอย่าง (30 sample) ซึ่งมีจำนวนข้อมูล 270 ข้อมูล (270 dataset) ในการทดสอบ ดังแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ช่วงของชุดข้อมูล ของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการคัดกรองปัจจัยการกระจายตัว

| ตัวแปร                | หน่วย | ช่วงข้อมูล      |
|-----------------------|-------|-----------------|
| เส้นผ่านศูนย์กลางถัง  | เมตร  | [1.20 ถึง 3.88] |
| ความสูงถัง            | เมตร  | [1.40 ถึง 9.15] |
| ระดับของเหลว          | เมตร  | [1.00 ถึง 8.20] |
| % ของแข็ง             | %     | [10 ถึง 100]    |
| ความถ่วงจำเพาะของแข็ง | -     | [0.60 ถึง 1.20] |
| ความหนืดของเหลว       | cps   | ค่าคงที่ 1.0    |
| เส้นผ่านศูนย์กลางใบ   | เมตร  | [0.60 ถึง 2.70] |
| ปริมาตรถังผสม         | ลบ.ม  | [1 ถึง 100]     |

โดยมีการแบ่งชุดข้อมูลดังกล่าวในอัตราส่วน ดังแสดงตามตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 การแบ่งกลุ่มข้อมูลการพยากรณ์

| ข้อมูล      | จำนวน | สัดส่วน(ร้อยละ) |
|-------------|-------|-----------------|
| ข้อมูลสอน   | 450   | 72%             |
| ข้อมูลทดสอบ | 180   | 28%             |

ตารางที่ 4 การแบ่งกลุ่มข้อมูลการคัดกรองสภาวะ

| ข้อมูล      | จำนวน | สัดส่วน(ร้อยละ) |
|-------------|-------|-----------------|
| ข้อมูลสอน   | 1170  | 81.2%           |
| ข้อมูลทดสอบ | 270   | 18.8%           |

ทั้งนี้ในการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการออกแบบ [10] อาทิเช่น วิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาท (training algorithm) ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) อัลกอริทึมของโมเดล (training function) ประเภทของการนำข้อมูลเข้าเพื่อเรียนรู้ (type of training) ค่าการเรียนรู้ (learning rate) วิธีที่ใช้สำหรับการหาค่าความผิดพลาด (loss function) ดังแสดงตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียม

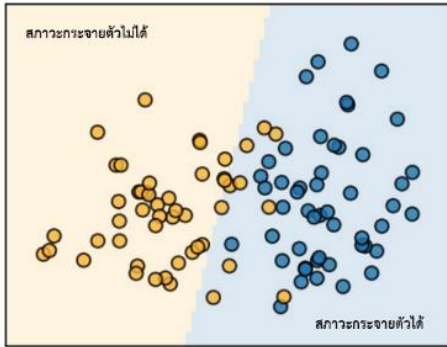
| พารามิเตอร์          | ค่าที่ใช้             |
|----------------------|-----------------------|
| วิธีการเรียนรู้      | แบบแพร่กลับ           |
| ฟังก์ชันกระตุ้น      | Sigmoid               |
| อัลกอริทึม           | Gradient descent      |
| การนำข้อมูลเข้า      | พร้อมกันทั้งชุดข้อมูล |
| ค่าการเรียนรู้       | 0.0001                |
| วิธีหาค่าความผิดพลาด | MSE                   |
| ค่าความผิดพลาด       | 0.0001                |

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้โปรแกรมภาษาไพทอน (python) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และ งานด้านปัญญาประดิษฐ์ โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการคำนวณ กล่าวคือ ใส่ข้อมูลนำเข้าในรูปแบบของเมทริกซ์ (matrix) โดยทำการนำเข้าโมดูลส่วนเสริมของภาษาไพทอน คือ โมดูลนำพาย (numpy) ซึ่งเป็นโมดูลสำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะมาใช้งาน

สร้างโปรแกรมการคำนวณตามหลักของอัลกอริทึม Gradient descent ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วน คือ 1) เตาตำแหน่งจุดเริ่มต้น 2) หาค่าความชัน 3) หาค่าความชันแบบอัตราความชันเล็ก ๆ 4) เปรียบเทียบค่าความชัน และ 5) ทำซ้ำข้อ 2-4 จนกว่าจะได้ค่าศูนย์หรือใกล้เคียง ซึ่งเมื่อโปรแกรมทำการเรียนรู้แล้วเสร็จ จะได้ค่าน้ำหนักและค่าความล่าช้าของตัวแปรเข้า เพื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์ค่าความเร็วและคัดกรองสภาวะต่อไป

## 6. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

หลังจากนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ ออกแบบไว้ไปทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบสำหรับการคัดกรองตัวแปรของปัจจัยแวดล้อมระบบ การผสมของเหลวที่สามารถทำงานได้ในวัตถุประสงค์ที่ต้องการสภาวะการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง สามารถแสดงเป็นกราฟเส้นแบ่งขอบเขตของโมเดลสำหรับการคัดกรองปัจจัยการกระจายตัว ดังแสดงตามรูปที่ 7



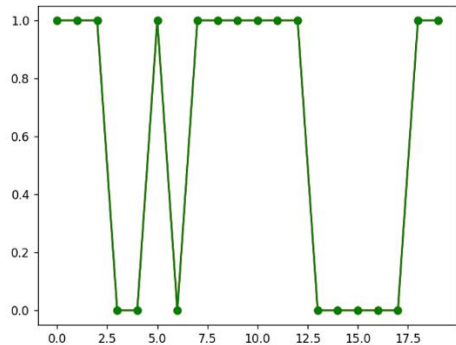
รูปที่ 7 เส้นแบ่งขอบเขตของโมเดลสำหรับการคัดกรอง บัจจัยการกระจายตัว

ได้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความสัมพันธ์ของตัวแปรเข้าที่มีค่าน้ำหนัก และ ค่าความลำเอียง ของการคัดกรองบัจจัยการกระจายตัว ดังนี้

$$y' = (0.0074)X_1 + (0.0001)X_2 + (0.0106)X_3 + (0.0474)X_4 + (0.0011)X_5 + (-0.0843)X_6 + (0.0034)X_7 + (0.1000)X_8 + (0.0019)$$

โดย  $y'$  คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการ  $X_1$  ถึง  $X_8$  คือ ตัวแปรเข้าตัวที่ 1 ถึง 8 ตามลำดับ และ นำค่าที่ได้จากการคำนวณผ่านฟังก์ชันกระตุ้นประเภทซิกมอยด์ เพื่อเป็นการคัดกรองบัจจัยการกระจายตัว เมื่อนำชุดข้อมูลทดสอบ ใช้งานกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ได้ค่า  $R^2 = 1.0$

และเมื่อเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์การคัดกรองบัจจัยการกระจายตัวหลังผ่านฟังก์ชันกระตุ้น ระหว่างข้อมูลจริง กับ ข้อมูลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถคัดกรองบัจจัยการกระจายตัวแบบสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่มีบัจจัยเหมาะสม ให้ผลลัพธ์เป็น 1 และ กลุ่มที่มีบัจจัยไม่เหมาะสมต่อสภาวะการกระจายตัว ให้ผลลัพธ์เป็น 0 ได้อย่างแม่นยำ โดยแสดงกราฟดังแสดงตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าการคัดกรองบัจจัยการกระจายตัว ผ่านฟังก์ชันกระตุ้น

แสดงตัวอย่างชุดข้อมูลทดสอบ 4 ตัวอย่าง จาก 30 ตัวอย่าง จำนวน 32 ข้อมูล ที่ใช้กับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ดังแสดงตามตารางที่ 6 เมื่อนำไปแทนค่าใน  $y'$  ของสมการข้างต้น จะได้ผลลัพธ์เมื่อผ่านฟังก์ชันกระตุ้นประเภทซิกมอยด์ ดังแสดงตามตารางที่ 7

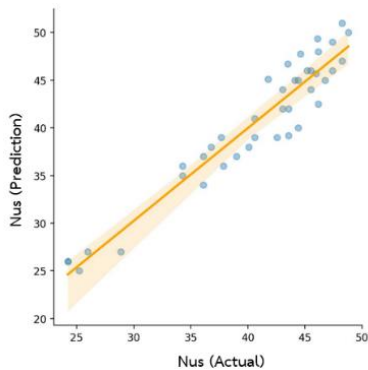
ตารางที่ 6 ตัวอย่างข้อมูลทดสอบแบบจำลองการคัดกรองบัจจัยการกระจายตัว

| ตัวแปร | ค่าตัวแปร 4 ตัวอย่างชุดข้อมูล |      |      |      |
|--------|-------------------------------|------|------|------|
| X1     | 3.88                          | 3.88 | 3.88 | 2.50 |
| X2     | 6.10                          | 9.15 | 6.10 | 6.10 |
| X3     | 5.50                          | 8.20 | 5.50 | 8.20 |
| X4     | 40                            | 20   | 70   | 35   |
| X5     | 0.6                           | 0.6  | 1.7  | 1.7  |
| X6     | 1                             | 1    | 1000 | 300  |
| X7     | 2.13                          | 2.52 | 1.05 | 2.60 |
| X8     | 50                            | 100  | 50   | 100  |

ตารางที่ 7 ผลเปรียบเทียบการคัดกรองเมื่อผ่านฟังก์ชันกระตุ้นซิกมอยด์

| ค่าจากสมการ | ค่าจริง | เมื่อผ่านฟังก์ชันกระตุ้น |
|-------------|---------|--------------------------|
| 6.90        | 1       | 1                        |
| 10.99       | 1       | 1                        |
| -75.88      | 0       | 0                        |
| -11.85      | 0       | 0                        |

หลังจากนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ ออกแบบไว้ไปทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบสำหรับการพยากรณ์ค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง สามารถแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบค่าการพยากรณ์และค่าจริง ดังแสดงตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการพยากรณ์ค่าความเร็ว

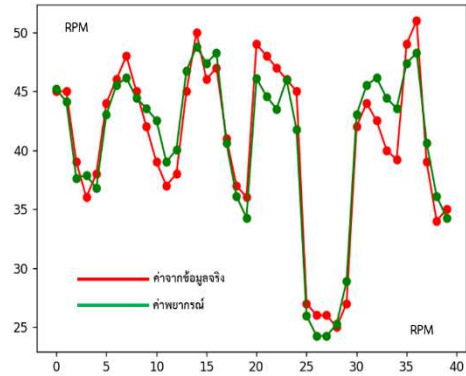
ได้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความสัมพันธ์ของตัวแปรเข้าที่มีค่าน้ำหนัก และ ค่าความลำเอียง ของการพยากรณ์ค่าความเร็ว ดังนี้

$$y' = 9.71X_1 + 4.7X_2 + 1.17X_3 + 0.71X_4 + 1.5X_5 + 2.5X_6 + (-21.59) X_7 + (-0.3) X_8 + 2.5$$

โดย  $y'$  คือ ค่าความเร็วที่ได้จากการพยากรณ์  $X_1$  ถึง  $X_8$  คือ ตัวแปรเข้าตัวที่ 1 ถึง 8 ตามลำดับ เมื่อนำชุดข้อมูลทดสอบ ใช้งานกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ได้ค่า  $R^2 = 0.91$  ค่าความผิดพลาด

เฉลี่ย 4.47 เปอร์เซ็นต์

และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วการกระจายตัวระหว่างข้อมูลจริง กับ ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้กราฟดังแสดงตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 เปรียบเทียบความเร็วการกระจายตัวระหว่างข้อมูลจริงและข้อมูลจากการพยากรณ์

แสดงตัวอย่างชุดข้อมูลทดสอบ 4 ตัวอย่าง จาก 20 ตัวอย่าง จำนวน 32 ข้อมูล ที่ใช้กับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ดังแสดงตามตารางที่ 8 และ ผลทดสอบความแม่นยำ ค่าความเร็วพยากรณ์ ดังแสดงตามตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ตัวอย่างข้อมูลทดสอบแบบจำลองการการพยากรณ์ความเร็ว

| ตัวแปร | ค่าตัวแปร 4 ตัวอย่างชุดข้อมูล |      |      |      |
|--------|-------------------------------|------|------|------|
| X1     | 3.88                          | 3.88 | 2.60 | 1.94 |
| X2     | 6.10                          | 9.15 | 4.57 | 4.57 |
| X3     | 5.50                          | 8.20 | 4.00 | 4    |
| X4     | 40                            | 20   | 40   | 35   |
| X5     | 0.6                           | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| X6     | 1                             | 1    | 1    | 1    |
| X7     | 2.13                          | 2.52 | 1.60 | 1.4  |
| X8     | 50                            | 100  | 20   | 10   |

ตารางที่ 9 ผลทดสอบความแม่นยำความเร็วพยากรณ์

| ความเร็วจริง<br>(รอบต่อนาที) | ความเร็วพยากรณ์<br>(รอบต่อนาที) | %<br>MAPE |
|------------------------------|---------------------------------|-----------|
| 49                           | 46.09                           | 6.58      |
| 27                           | 25.97                           | 3.82      |
| 46                           | 45.18                           | 1.77      |
| 39                           | 42.54                           | 9.08      |

สรุป การทดสอบ โคร่งข่ายประสาทเทียม สำหรับการคัดกรองปัจจัยเหมาะสมต่อการกระจายตัว และการพยากรณ์ค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง โดยใช้วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination,  $R^2$ ) ได้ผลลัพธ์ เท่ากับ 1.0 และ 0.91 ตามลำดับ ดังแสดงตามตารางที่ 10 ซึ่งเป็นค่าที่มีเหมาะสมและ สอดคล้องกับงานวิจัยในลักษณะใกล้เคียงกัน [5] [6] [7] โดยงานวิจัยอ้างอิงมีผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด เกิน 0.9 ทั้งหมด

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบโคร่งข่ายประสาทเทียม

| วัตถุประสงค์การวิจัย         | $R^2$ |
|------------------------------|-------|
| การคัดกรองปัจจัยการกระจายตัว | 1.00  |
| การพยากรณ์ค่าความเร็ว        | 0.91  |

## 7. ข้อเสนอแนะ

ควรมีการเปรียบเทียบวิธีการเรียนรู้ของโคร่งข่ายประสาทเทียมด้วยวิธีอื่น เพื่อหาวิธีการเรียนรู้ที่เร็วและดีที่สุดสำหรับชุดข้อมูลนี้

ควรต้องมีข้อมูลเพิ่มเติมจากแหล่งอื่น เช่น ข้อมูลจากการคำนวณหรือ simulation เพื่อทดสอบว่าหากมีข้อมูลจากแหล่งอื่นเข้ามาแล้วจะทำให้ความแม่นยำของโคร่งข่ายประสาทเทียมแม่นยำขึ้นหรือไม่

หากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบความสัมพันธ์ของชุดข้อมูล จำเป็นที่จะต้องมีการฝึกฝนให้โคร่งข่ายประสาทเทียมได้รับการเรียนรู้รูปแบบชุดข้อมูลอยู่อย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มีความสามารถในการทำนายสูงสุด

## 8. บทสรุป

การใช้โคร่งข่ายประสาทเทียมเพื่อการคัดกรองตัวแปรของสภาวะแวดล้อมระบบการผสมของเหลวที่สามารถทำงานได้ในวัตถุประสงค์ของการผสมที่ต้องการสภาวะการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริง และ เพื่อการพยากรณ์ค่าความเร็วการกระจายตัวของผงของแข็งอย่างสม่ำเสมอแท้จริงสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้โคร่งข่ายประสาทเทียมที่มีข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลจริงจากภาคอุตสาหกรรมช่วยเพิ่มความแม่นยำสำหรับการคาดการณ์และการพยากรณ์ค่าความเร็วการกระจายตัว ส่งผลให้คุณภาพของการผสมในกระบวนการผลิตมีความสม่ำเสมอ ลดการสูญเสียอันเกิดจากจุดอับการผสมได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือช่วยลดขั้นตอนและความซับซ้อนทางทฤษฎีและสมการการคำนวณ เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัทฯ ผู้ให้ข้อมูลด้านการออกแบบระบบการผสม จากอุตสาหกรรมจริง สำหรับงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] James Y Oldshue. Fluid mixing technology. New York: McGraw-Hill; 1983.
- [2] N Hamby, M F Edwards, A W Nienow. Mixing in the Process Industrials. British: A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd; 1985.
- [3] Edward L Paul, Suzanne M Kresta, Victor A Atiemo-Obeng. Handbook of Industrial Mixing. Canada: John Wiley & Sons Inc; 2004.
- [4] ขวัญชัย สิ้นทิพย์สมบูรณ์, วิศิษฐ์ จาตุรमान. กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ซี เอ็ดดูเคชั่น; 2552.

- [5] สมาน เจริญกิจพูลผล, มนต์รี พิรุณเกษตร. กลศาสตร์ของไหลฉบับเสริมประสบการณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น; 2556.
- [6] Suzanne M Kresta, Arthur W Etchells III, David S Dickey, Victor A Atiemo-Obeng. Advances in Industrial Mixing. Canada: John Wiley & Sons Inc; 2016.
- [7] Choe Earn Choong, Shaliza Ibrahim, Ahmed El-Shafie. Artificial Neural Network (ANN) model development for predicting just suspension speed in solid-liquid mixing system. Flow Measurement and Instrumentation.2020; Volume71: 101689
- [8] Shaliza Ibrahim, Choe Earn Choonga, Ahmed El-Shafiea. Sensitivity analysis of artificial neural networks for just-suspension speed prediction in solid-liquid mixing systems: Performance comparison of MLPNN and RBFNN. Advanced Engineering Informatics. 2019; Volume39; Pages 278-291
- [9] Jolanta Szoplik, Marta Ciuksza. Mixing time prediction with artificial neural network model. Chemical Engineering Science.2021; Volume246: 116949
- [10] กอบเกียรติ สระอุบล. เรียนรู้ Ai Deep Learning ด้วย Python. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: หสม สำนักพิมพ์ อินเตอร์มีเดีย; 2565.
- [11] วิริทธิ์พล เกษมสุข. การพัฒนาระบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายจำนวนวันหยุดงานจากการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน [วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. ชลบุรี; มหาวิทยาลัยบูรพา; 2565
- [12] ศศิชา บุญเก่า. การจับความรู้สึกของคนจากใบหน้าด้วยเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ [วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2562
- [13] วชิราภรณ์ แก้วมาตย์, สุรัชย์ จันทร์จรัส. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ดัชนีราคาหลักทรัพย์. วารสารวิจัย มข. 2556; 108-118
- [14] เซาว์น หิรัยดีเยกุล. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการเตือนภัยน้ำท่วม. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; มิถุนายน 2549: SUT7-712-46-12-41
- [15] จีราวุธ วารินทร์. มือใหม่ Python เก่งได้ใน 30 วัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท พงษ์วรินทร์การพิมพ์ จำกัด; 2565.
- [16] Koohathongsumrit N, Luangpaiboon P. An Integrated FAHP–ZODP Approach for Strategic Marketing Information System Project Selection. Managerial and Decision Economics. 2022; Vol. 43: 1792-1809