วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2561

แบบจำลองการอบแห้งระกำผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยโครงข่ายประสาทเทียม

MODEL OF RAKAM JUICE POWDER DRYING WITH SPRAY DRYER BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

โพธิ์ทอง ปราณีตพลกรัง
สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (ต่อเนื่อง) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Pothong Praneetpolkrang
Department of Industrial Technology (Continuous), Faculty of Industrial Technology,
RambhaiBarni Rajabhat University; e-mail:pttmbj@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบอัตราการไหลของลมร้อนและปริมาณสารมอลโตรเด็กซ์ตรินต่อการอบแห้งพ่นฝอยและการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งระกำผงด้วยเครื่องอบแห้งพ่นฝอย สภาวะการอบแห้งกำหนดให้อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับคือ 120,140 และ 160 °C อัตราการไหลของลมร้อน 3 ระดับคือ 0.01 m^3/s 0.025 m^3/s และ 0.040 m^3/s และปริมาณสารมอลโตรเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 20 และ 30 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าที่สภาวะการอบแห้งพ่นฝอยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนหรือลดอัตราการไหลของลมร้อนจะส่งผลปริมาณความชื้นของระกำผงมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณสารมอลโตรเดกซ์ตรินจะทำให้ปริมาณความชื้นของระกำผงมีค่าต่ำลง ในส่วนการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับทำนายปริมาณความชื้นระกำผงคือ โครงสร้างแบบ 3-30-1 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Tan-sigmoid และ Pure linear ในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.973 และค่า RMSE เท่ากับ 0.107 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การอบแห้งพ่นฝอย, ระกำผง, โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

The objective of this research was aimed to investigate the effects of hot air flow rate and the of maltodextrin concentrations on spray drying and the application of artificial neural network models to predict moisture content. Experiments were conducted under various operating conditions; 3 levels of hot air temperature of 120°C, 140°C and 160°C, and 3 levels of hot air flow rate of 0.01 m^3/s, 0.025 m^3/s and 0.04 m^3/s, and three maltodextrin concentrations of 10%, 20% and 30%. The results shown that, increasing the hot air temperature or decreasing hot air flow rate causes decreased the moisture content, and increasing the maltodextrin concentrations also decreased the moisture content of rakam juice powder. The optimum structure of neural network model was found to be a 3-30-1 structure with tan-

sigmoid and pure linear transfer functions in the hidden layer and the output layer. The coefficient of determination (R^2) and the root mean square error (RMSE) value of 0.973 and 0.107 respectively.

Keywords: Spray drying, Rakam juice powder, Artificial neural network

1. บทนำ

ระกำเป็นพืชในวงศ์ปาล์มมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Salacca wallichiana* Mart. พบมากใน จีน ไทย มาเลเซีย พม่า อินโดนีเซีย เวียดนามและอินเดีย [1] สำหรับประเทศไทยมีการปลูกกันมากในภาคตะวันออก ในจังหวัด ตราด จันทบุรีและระยอง ในเนื้อระกำประกอบด้วยวิตามินซีน้ำตาล คาร์โบไฮเดรต ไฟเบอร์และสารประกอบอื่นๆที่ให้พลังงานและบำรุงร่างกาย [2] ระกำรับประทานเป็นผลไม้สดและนำมาปรุงรสเปรี้ยวในอาหาร ในปัจจุบันความนิยมในการบริโภคผลระกำสดได้ลดลง จึงได้นำผลระกำมาแปรรูปเป็นขนมหวานคือ น้ำระกำ ระกำลอยแก้ว หรือมีการนำไปใช้เป็นสารให้ความหวาน สารให้กลิ่น รส หรือใช้ตกแต่งหน้าผลิตภัณฑ์อาหาร [2] การแปรรูปผลระกำให้เป็นเครื่องดื่มระกำผงเป็นการแปรรูปอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับระกำ ช่วยแกปัญหาระกำมีราคาถูก

การแปรรูปผลไม้เป็นผลไม้ผงมีหลายวิธีเช่น การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง แบบโฟมหรือแบบพ่นฝอย เป็นต้นการอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการผลิตอาหารแห้งผง เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการทำแห้งสูง อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนดี การปนเปื้อนน้อยเนื่องจากเป็นระบบปิด และระยะเวลาในการทำแห้งสั้นมาก ก่อให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และสารให้กลิ่นรสต่ำ รวมทั้งยังสามารถผลิตได้ต่อเนื่อง [3] ตัวอย่างอาหารแห้งที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญ ได้แก่ น้ำตาลกาแฟ นม มันฝรั่ง แป้งถั่ว อาหารเช้าประเภทธัญพืชต่างๆ [4] การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปผลผลิตที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย วัตถุประสงค์ของการอบแห้งนั้นคือ ลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลผลิตนั้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ลดน้ำหนักและสะดวกในการขนส่ง [5-10] ในการอบแห้งสิ่งสำคัญที่เราจำเป็นต้องทราบ คือเงื่อนไขสภาวะแบบใดที่จะเหมาะสมที่สุดในการอบแห้ง เราจะใช้ข้อกำหนดสภาวะนี้ในการเริ่มต้นที่จะทำการออกแบบเครื่องอบแห้งที่เหมาะสม ในการออกแบบเพื่อให้มีความรวดเร็วในการหาคำตอบของข้อกำหนดสภาวะนี้ สามารถทำได้โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [5-10] การทราบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบจำลองกระบวนการอบแห้งให้มีความเหมาะสม [6] การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุ ทั้งยังได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ เป็นจำนวนมาก หากต้องการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งวัสดุเกษตรจะต้องทำการทดลองหลายครั้งเพื่อหาข้อมูลผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ซึ่งจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายการทดลองเพื่อกำหนดสภาวะการอบแห้ง ในปัจจุบันแบบจำลองคณิตสาสตร์การอบแห้งได้นำไปใช้ในการจำลองสภาวะการอบแห้งและศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการอบแห้ง เปรียบเทียบเงื่อนไขการอบแห้งแบบต่างๆ เพื่อกำหนดสภาวะทีเหมาะสมแทนการทดลองจริง เนื่องจากมีความสะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง [11]

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองแบบหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เพื่อช่วยแก้ปัญหาด้านวิศวกรรมต่างๆ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเลียนแบบพฤติกรรมที่มีความซับซ้อนสูงได ดี มีความเหมาะสมในการทำนายพฤติกรรมที่มีลักษณะไมเป็นเชิงเสน (Non linear) ได้ดี [11-16] จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในการทำนายหรือการพยากรณ์ โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์โครงข่ายประสาทเทียมนี้ถูกประยุกต์ใช้เพื่อทำนายและอธิบายกระบวนการอบแห้งของผลผลิตทางการเกษตร [12] เช่น เนื้อวัว [11] แครอท [13] แอปเปิล [14] เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบอัตราการไหลของลมร้อนและปริมาณสารมอลโตรเด็กซ์ตรินต่อการอบแห้งระกำผงแบบพ่นฝอย

2. เพื่อทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งระกำผงด้วยเครื่องอบแห้งพ่นฝอย

3. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ความชื้นในวัสดุ

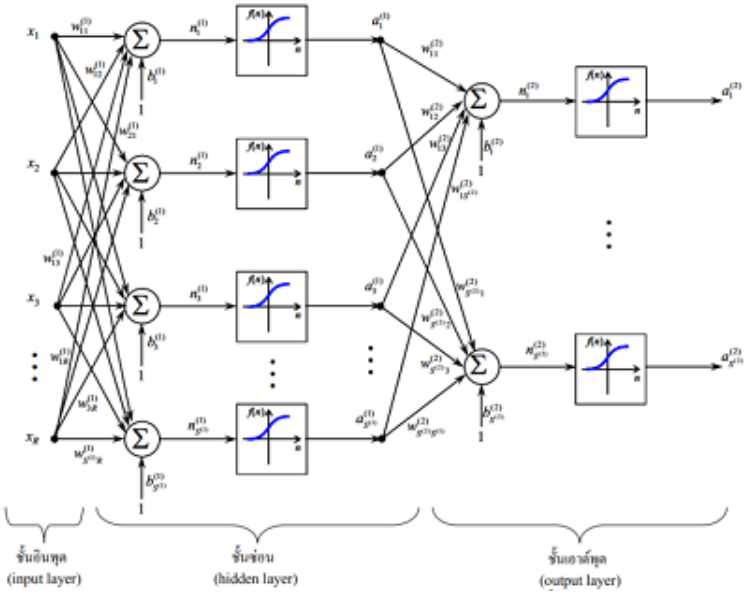
ความชื้นในวัสดุเป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง มักจะแสดงในค่าอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) เป็นการนำค่าความชื้นมาวิเคราะห์ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (1) ดังนี้

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (1)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้นและ M_t คือปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ, M_i คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและM_e คือปริมาณความชื้นสมดุล

3.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียมมีพื้นฐานมาจากการจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีความชาญฉลาดในการเรียนรู้เหมือนสมองมนุษย์ [11-12] โครงข่ายประสาทเทียมเป็นเทคนิคที่มีความยืดหยุ่นตัวในการแกปัญหาไดสูง มีความสะดวกในการใช้งานกับการทำนายสภาวะที่มีตัวแปรจำนวนมากได ดี ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพสูงในการทำนายความสัมพันธ์ของปัญหา [11] โครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรูไดด้วยการรับข้อมูลตัวอย่างเข้ามาจำนวนหนึ่งแลว ทำการปรับค่าน้ำหนักจนกว่าจะไดผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ต้องการ [11] โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้และขั้นตอนของกระบวนการทดสอบ



รูปที่ 1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว [15]

โดยโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยชั้นของนิวรอน 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นอินพุต (Input layer) ชั้นซ่อน (Hidden layer) และชั้นแสดงผล (Output layer) [11-12] ดังรูปที่ 1 ซึ่งนิวรอนหลาย ๆ ตัวจะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นลักษณะของโครงข่ายเป็นชั้น ๆ นิวรอนแต่ละตัวที่อยู่ในชั้นเดียวกันจะไม่มีการเชื่อมต่อถึงกันโดยการนำข้อมูลอินพุทมาผ่านฟังก์ชันกระตุ้นในแต่นิวรอน ซึ่งคำตอบที่ได้จะทำการส่งผ่านไปยังชั้นต่อไปโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการเรียนรู้ความผิดพลาดจากข้อมูลฝึกสอน (Training Data) จากนั้นจะทำการปรับ Weight และ Bias เพื่อให้ความผิดพลาดของโครงข่ายมีค่าน้อยที่สุด [15] โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตนิวรอนในแต่ละชั้นกับค่า Weight และ Bias ดังนี้ [15]

$$n^{(l)} = W^{(l)} a^{(l-1)} + b^{l} \tag{2}$$

โดยที่ $n^{(l)}$ คือ ค่าอินพุตฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นที่ l

$W^{(l)}$ คือ ค่าWeight ในชั้นที่ l

$a^{(l-1)}$ คือ คำตอบที่ผ่านฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นที่ l-1

b^{l} คือ ค่าBias ในชั้นที่ l

และค่าเอาต์พุตของแต่ละชั้นสามารถหาได้จากสมการที่ (10)

$$a^{(l)} = f^{(l)}\left(n^{(l)}\right) \tag{3}$$

โดยที่ $a^{(l)}$ คือ ค่าเอาต์พุตจากฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นที่ l

$f^{(l)}$ คือ ฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นที่ l

$n^{(l)}$ คือ ค่าอินพุตสู่ฟังก์ชันกระตุ้นในชั้นที่ l

โดยมีสมการของฟังก์ชันถ่ายโอนที่นิยมมีดังนี้ [15]

Log-sigmoid Transfer Function ; $$a(n) = \frac{1}{1+e^{(-n)}} \tag{4}$$

Tan-sigmoid Transfer Function ; $$a(n) = \frac{1-e^{(-n)}}{1+e^{(-n)}} \tag{5}$$

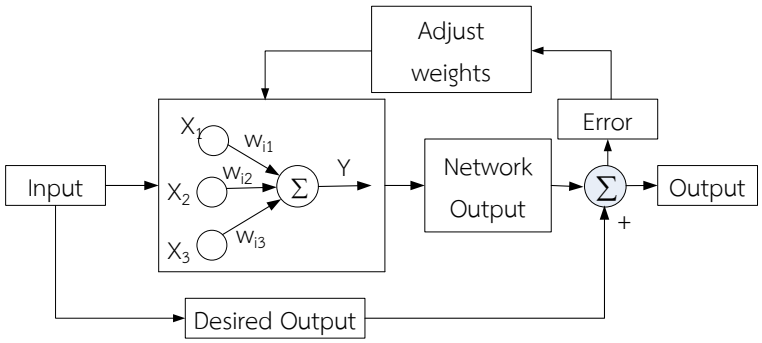
Pure Linear Transfer Function ; $$a(n) = n \tag{6}$$

โดยที่ $a(n)$ คือ เอาต์พุทของโครงข่ายในชั้นซ่อน

n คือ อินพุตของโครงข่ายในชั้นซ่อน n

3.3 การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับมีลักษณะการทำงานที่ไม่ซับซ้อน นอกจากนี้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับยังสามารถใช้ได้กับข้อมูลที่เป็นทั้งเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นและยังเหมาะสมกับข้อมูลที่มีจำนวนไม่มากนักที่ใช้สำหรับการฝึกสอนได้ [16-17] โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ [16]

เทคนิคของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพรกระจายย้อนกลับ (Back Propagation) นั้น จะนำข้อมูลจากชั้นข้อมูลนำเข้ามาคำนวณและส่งผ่านฟังก์ชันถ่ายโอนจากชั้นแฝงไปยังชั้นแสดงผล โดยหลักการของกระบวนการเรียนรูของแบบจำลองคือการเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละการเชื่อมต่อเพื่อปรับผลลัพธ์ของแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับค่าความจริงมากที่สุด โดยอาศัยการแพรกลับเพื่อปรับค่าน้ำหนัก [11,16] ในการเชื่อมต่อระหว่างนิวรอนให้เหมาะสมการปรับค่าน้ำนักนี้จะขึ้นกับความแตกต่างของคู่เอาต์พุตที่คำนวณไดกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ โดยชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมจะมีคำตอบไวคอยตรวจดูว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกต้องหรือไม ถาคำตอบไมถูกวงจรข่ายก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ไดคำตอบที่ดีขึ้น [11] ซึ่งการปรับน้ำหนักทำไดตามสมการที่ 7 ดังนี้ [11]

$$\Delta w_{ji}(n+1) = \eta\delta(n).y_j(n) + \alpha\Delta w_{ji}(n) \qquad (7)$$

Δw_{ji} คือ ค่าปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างโหนด i และโหนด j

w_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่โหนด i

η คือ ค่าอัตราการเรียนรู้

α คือ ค่าโมเมนตัม

δ_j คือ ผลต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณในรูปของอนุพันธ์ของ Transfer function ของโหนด j

y_j คือ ค่าผลลัพธ์ของแบบจำลองที่โหนด j และ n

n+1 คือ ค่าที่แสดงถึงรอบการปรับแก้ที่ n หรือ n+1

โครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนมีขั้นตอนการทำงานที่แน่นอน 4 ขั้นตอน ได้แก่ [17]

1. เตรียมข้อมูลสำหรับการฝึกสอน ได้แก่ ข้อมูลป้อนเข้าและผลลัพธ์ที่ต้องการ

2.ระบุจำนวนชั้นและจำนวนนิวรอนเพื่อสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับการฝึกสอน

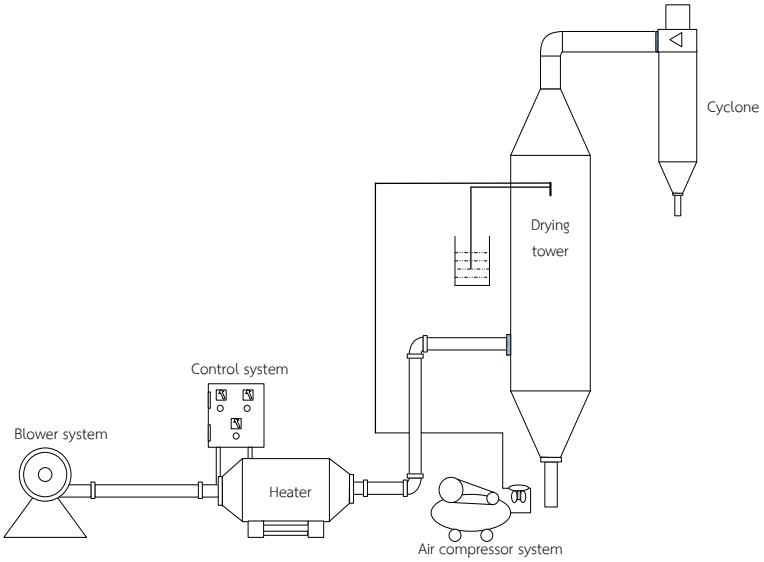
3. ทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ข้อมูลที่เตรียมในขั้นตอนที่ 1 และโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากขั้นตอนที่ 2

4. นำข้อมูลชุดใหม่ที่ไม่เคยได้รับการฝึกสอน มาทำการทดสอบ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 3 โดยห้องอบแห้งทำจากเหล็กสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 m. สูง 1.0 m. มุมกรวย 60 องศา ให้ความร้อนกับอากาศด้วยกำเนิดความร้อนไฟฟ้า (10 kW) Air blower ขนาด 2 hp ลมร้อนไหลสวนทางการไหลของสารละลายระกำที่เป็นละอองฝอย วัตถุดิบที่ใช้สำหรับทำการทดลองคือระกำ สภาวะในการอบแห้งดังนี้ดังนี้คือ อัตราการไหลของลมร้อน 3 ระดับคือ 0.01 m^3/s 0.025 m^3/s และ 0.040 m^3/s อุณหภูมิของลมร้อนขาเข้า 3 ระดับคือ 120°C, 140°C และ 160°C ส่วนผสมปริมาณสารมอลโตรเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 20 และ 30 ตามลำดับ ที่อัตราการป้อนสารละลายระกำคงที่เท่ากับ 1.5 kg/hr ทำการวัดอุณหภูมิลมร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับอุปกรณ์บันทึกข้อมูล Data logger ก่อนทำการทดลองจะทำการเปิดเครื่องอบแห้งทำงาน 30 นาที เพื่อให้สภาวะการทำงานของเครื่องอบแห้งคงที่ แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x3 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์



รูปที่ 3 เครื่องอบแห้งพ่นฝอยที่ใช้ในงานวิจัย

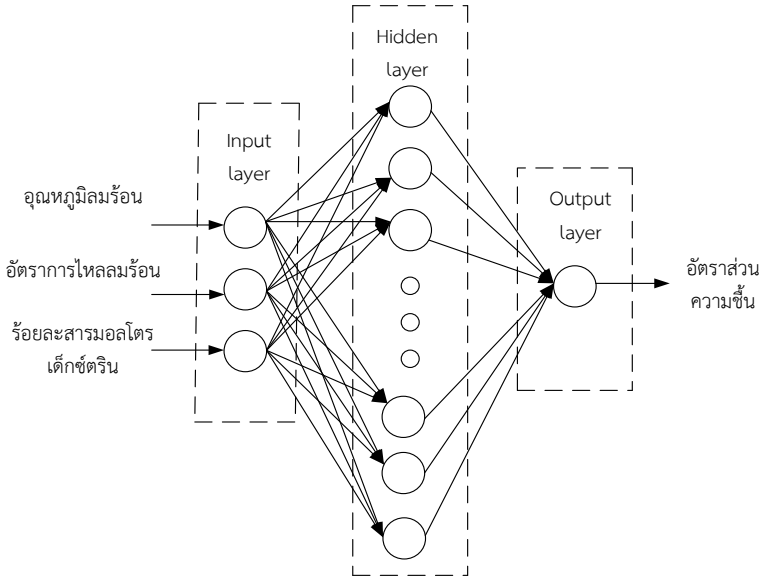
4.2 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบ กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับร่วมกับวิธีการฝึกสอนโครงข่ายคือวิธีเลเวนเบิร์ก-มาร์ควอร์ท (Levenberg-Marquardt) ประกอบด้วยชั้นของข้อมูลเบื้องต้น 3 ชั้นได้แก่ชั้นอินพุตชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต โดยโครงสร้างในโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 2โดยผ่านกล่องเครื่องมือโครงข่ายประสาทเทียม (Neural network toolbox) ของโปรแกรม MATLAB โดยกำหนดให้จำนวนชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียมมี 1 ชั้นซ่อน มีจำนวนหน่วยย่อยในชั้นซ่อน 5-10-20-30 หน่วยย่อยตามลำดับ และกำหนดให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของโครงข่ายประสาทเทียมในชั้นซ่อนและชั้นส่งออก เป็นแบบ Log-sigmoid Transfer Function (Log-sig), Linear Transfer Function (Pure-lin), และ Tan-sigmoid Transfer Function (Tan-sig) ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยเรียงสับเปลี่ยน 36 รูปแบบ โดยชุดข้อมูลผลการอบแห้งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้เพื่อการฝึกหัดและส่วนที่เหลือจะใช้เพื่อทดสอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ร้อยละ70 ของข้อมูลการอบแห้งจะถูกใช้เพื่อฝึกหัดและอีกร้อยละ30 ของข้อมูลการอบแห้งจะใช้เพื่อทดสอบการทำนายอัตราส่วนความชื้น ข้อมูลอินพุตสำหรับโครงข่ายใยประสาทเทียมประกอบด้วย อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับคือ 120,140 และ 160 °C อัตราการไหลของลมร้อน 3 ระดับคือ 0.01 m^3/s 0.025 m^3/s และ 0.040 m^3/s และส่วนผสมปริมาณสารมอลโตรเด็กซ์ตรินร้อยละ 10,20 และ30

ตามลำดับ ข้อมูลเอาต์พุต คืออัตราส่วนความชื้น โดยผลการจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองการอบแห้งพ่นฝอย ข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุตแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆที่เลือกใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม

วัสดุอบแห้ง	ข้อมูลอินพุต	ข้อมูลเอาต์พุต
สารละลายระกำ	- อุณหภูมิลมร้อน - ร้อยละสารมอลโตรเด็กซ์ตริน (โดยน้ำหนัก) - อัตราการไหลลมร้อน	- อัตราส่วนความชื้น



รูปที่ 4 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัย

จำนวนหน่วยในชั้นซ่อนรวมทั้งฟังก์ชันถ่ายโอนชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงโครงสร้างในโครงข่ายประสาทเทียม

จำนวนโหนดในชั้นซ่อน	ฟังก์ชันถ่ายโอนชั้นซ่อน	ฟังก์ชันชั้นเอาต์พุต
5,10,20,30	Pure linear Tan-Sig Log-sig	Pure linear Tan-Sig Log-sig

ผลที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม จะต้องมีการวิเคราะห์ตัวแปรทางสถิติว่ามีค่าความแม่นยำและใกล้เคียงกับผลการทดลอง โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of determine, R^2) ซึ่งจะต้องมีค่ามากที่สุด ในขณะที่ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean square error, RMSE) จะต้องมีค่าต่ำที่สุด [12-13] แสดงดังสมการ

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(MR_{pred,i} - MR_{\exp,i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

เมื่อ $MR_{\exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง

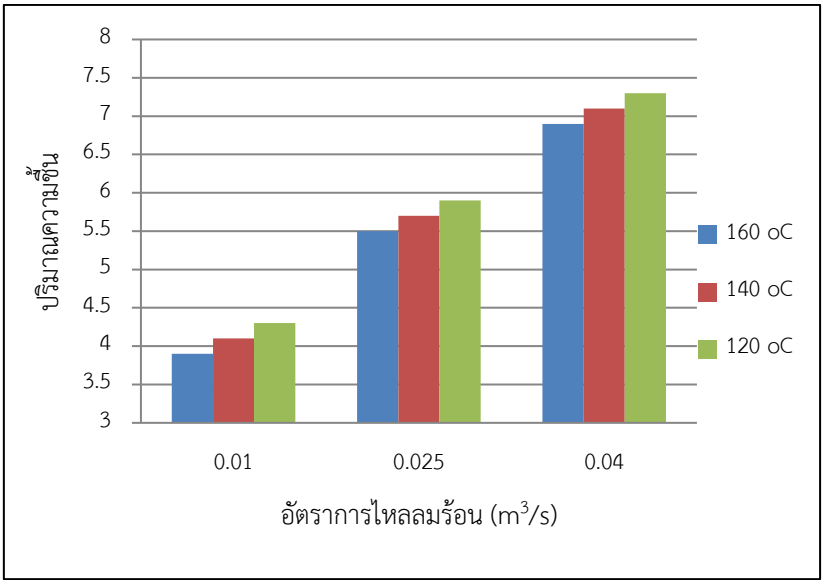
$MR_{pred,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลอง

n คือ จำนวนข้อมูล

5. ผลการทดลอง

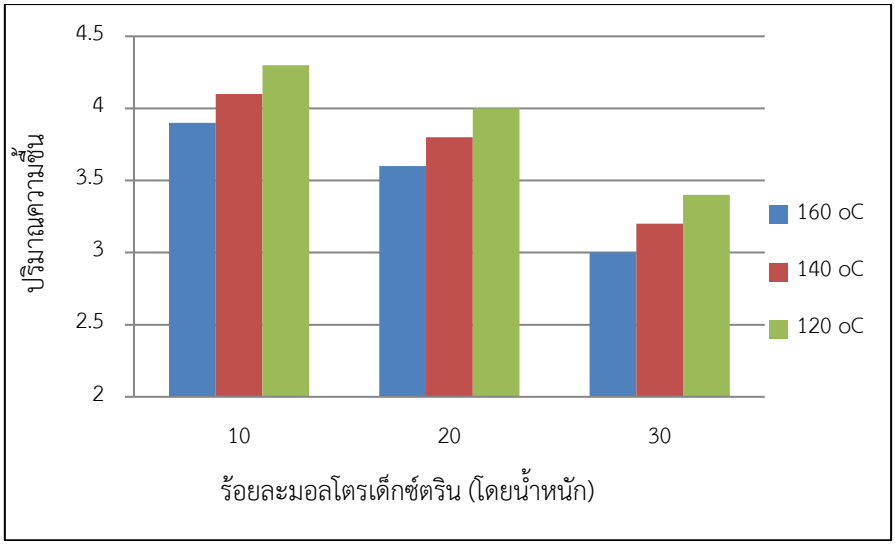
5.1 ผลกระทบอัตราการไหลของลมร้อนและปริมาณสารมอลโตรเด็กซ์ตริน

จากการทดลองอบแห้งพ่นสารละลายระกำโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ในเงื่อนไขการทดลองที่กำหนดให้อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับคือ 120,140 และ 160 °C อัตราการไหลของลมร้อน 3 ระดับคือ 0.01 m^3/s 0.025 m^3/s และ 0.040 m^3/s และส่วนผสมปริมาณสารมอลโตรเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 20 และ 30 ที่อัตราการป้อนสารละลายระกำมีค่าเท่ากับ 1.5 kg/hr จากผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จะพบว่าที่สภาวะการอบแห้งพ่นฝอยเมื่อกำหนดให้ปริมาณสารมอลโตรเดกซ์ตรินและอัตราการป้อนสารละลายคงที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนหรือลดอัตราการไหลของลมร้อนจะส่งผลปริมาณความชื้นของระกำผงมีค่าลดลง ซึ่งผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนและอัตราการไหลของลมร้อนที่มีผลต่อปริมาณความชื้นของระกำผงนี้เป็นผลเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับลมร้อน ทำให้ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่ามากขึ้นและในขณะเดียวกันเมื่อลดอัตราการไหลของลมร้อนจะทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีค่ามากขึ้นเช่นกัน [18]



รูปที่ 5 ผลอัตราการไหลลมร้อนต่อปริมาณความชื้นของระกำผงที่ปริมาณสารมอลโตรเดกซ์ตรินร้อยละ 10

จากรูปที่ 6 เมื่อเพิ่มปริมาณสารมอลโตรเดกซ์ตรินให้กับสารละลายระกำ จะทำให้ปริมาณความชื้นของระกำผงมีค่าต่ำลง แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับสารละลายระกำจะทำให้ปริมาณความชื้นของระกำผงที่ได้มีค่าต่ำลง เป็นผลมาจากเมื่อเพิ่มปริมาณสารมอลโตรเดกซ์ตรินทำให้เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายระกำ ทำให้ปริมาณของน้ำเริ่มต้นก่อนการอบแห้งมีค่าต่ำลง ในขณะที่ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าคงที่ ดังนั้นปริมาณความชื้นของระกำผงจึงมีค่าลดลง [18]



รูปที่ 6 ผลร้อยละสารมอลโตรเดกซ์ตรินต่อปริมาณความชื้นของระกำผงที่อัตราการไหลลมร้อน 0.01m^3/s

5.2 ผลการทำนายแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมการอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับระกำผง

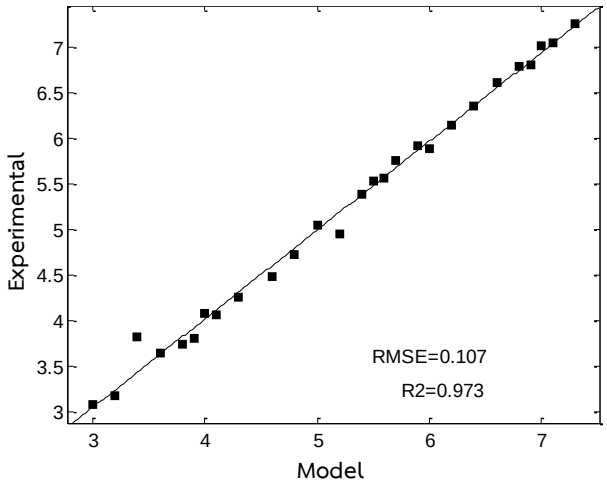
ผลการทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับระกำผงแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งจะได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ค่า R^2 และค่า RMSE เป็นดัชนีชี้วัด โดยกำหนดจำนวนชั้นซ่อนของโครงข่ายประสาทเทียมมี 1 ชั้นซ่อน มีจำนวนหน่วยย่อยในชั้นซ่อน 5-10-20-30 หน่วยย่อยตามลำดับ ผลจากแบบจำลองตามสภาวะที่กำหนดพบว่าโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับทำนายอัตราการอบแห้งของระกำผงด้วยเครื่องอบแห้งพ่นฝอย คือ โครงสร้างแบบ 3-30-1 หรือโครงสร้างที่มีตัวแปรนำเข้า 3 ตัวแปร มีจำนวนหน่วยย่อยในชั้นซ่อนจำนวน 30 หน่วยย่อย และข้อมูลตัวแปรออก 1 ตัวแปร โดยฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นแบบ Tan-sigmoid และPure linear ในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.973 และค่า RMSE เท่ากับ 0.107 ดังแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณอัตราส่วนความชื้นจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับผลการทดลองอบแห้งระกำผงด้วยเครื่องอบแห้งพ่นฝอย พบว่า ผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองทุกเงื่อนไขการทดลอง ผลที่ได้มีความสอดคล้องและแตกต่างกันน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีจุดเด่นในการเรียนรู้สังเคราะห์ทำนายผลลัพธ์ของปัจจัยแบบมีความสัมพันธ์ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นได้ดีและโครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถปรับแต่งความรู้ที่ซ่อนอยู่ภายในเครือข่ายที่มีการต่อเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น มีการส่งผ่านข้อมูลที่จะประมวลผลจากอินพุตไปยังเอาต์พุตแบบขนาน ดังนั้นการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นไปอย่างแม่นยำและรวดเร็ว [15-17]

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์โครงข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมที่สุด

วัสดุทดลอง	จำนวนโหนด	ฟังก์ชันถ่ายโอน		R^2	RMSE
		ชั้นซ่อน	ชั้นเอาต์พุต		
ระกำ	30	Tan-Sig	Pure linear	0.973	0.107

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลทำนายโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

อุณหภูมิลมร้อน (°C)	**ร้อยละมอลโตรเด็กซ์ตริน (โดยน้ำหนัก)**	**อัตราการไหลลมร้อน (m^3/s)**	**ผลทดลองปริมาณความชื้น**	**ผลทำนายปริมาณความชื้น**	**ผลต่างผลทดลองกับผลทำนาย**
160	10	0.01	3.9	3.81	0.09
160	10	0.025	5.5	5.54	-0.04
160	10	0.04	6.9	6.80	0.1
160	20	0.01	3.6	3.64	-0.04
160	20	0.025	5.2	4.96	0.24
160	20	0.04	6.6	6.61	-0.01
160	30	0.01	3.0	3.09	-0.09
160	30	0.025	4.6	4.49	0.11
160	30	0.04	6.0	5.89	0.11
140	10	0.01	4.1	4.07	0.03
140	10	0.025	5.7	5.76	-0.06
140	10	0.04	7.1	7.04	0.06
140	20	0.01	3.8	3.75	0.05
140	20	0.025	5.4	5.38	0.02
140	20	0.04	6.8	6.79	0.01
140	30	0.01	3.2	3.18	0.02
140	30	0.025	4.8	4.72	0.08
140	30	0.04	6.2	6.15	0.05
120	10	0.01	4.3	4.26	0.04
120	10	0.025	5.9	5.92	-0.02
120	10	0.04	7.3	7.25	0.05
120	20	0.01	4.0	4.08	-0.08
120	20	0.025	5.6	5.56	0.04
120	20	0.04	7.0	7.02	-0.02
120	30	0.01	3.4	3.82	-0.42
120	30	0.025	5.0	5.05	-0.05
120	30	0.04	6.4	6.36	0.04



รูปที่ 7 แสดงสหสัมพันธ์ระหว่างผลจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและการทดลองอบแห้งพ่นฝอย

จากรูปที่ 7 แสดงสหสัมพันธ์ระหว่างผลจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและการทดลองอบแห้งระกำผงด้วยเครื่องอบแห้งพ่นฝอย จะเห็นว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลอง มีค่า R^2เท่ากับ 0.973 และ RMSE เท่ากับ 0.107 ค่าความแตกต่างระหว่างผลการทดลองและผลจากมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 5 %

6. สรุปผลการทดลอง

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบอัตราการไหลของลมร้อนและปริมาณสารมอลโตรเด็กซ์ตรินต่อการอบแห้งพ่นฝอยและการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งระกำผงด้วยเครื่องอบแห้งพ่นฝอย สภาวะการอบแห้งกำหนดให้อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับคือ 120,140 และ 160 $^{\circ}$C อัตราการไหลของลมร้อน 3 ระดับคือ 0.01 m^3/s 0.025 m^3/s และ 0.040 m^3/s และส่วนผสมปริมาณสารมอลโตรเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 20 และ 30 จากผลการทดลองจะพบว่าที่สภาวะการอบแห้งพ่นฝอยเมื่อ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนหรือลดอัตราการไหลของลมร้อนจะส่งผลปริมาณความชื้นของระกำผงมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณสารมอลโตรเดกซ์ตรินให้กับสารละลายระกำจะทำให้ปริมาณความชื้นของระกำผงมีค่าต่ำลง ในส่วนการประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียม ข้อมูลอินพุตประกอบด้วย อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับคือ 120,140 และ 160 $^{\circ}$C อัตราการไหลของลมร้อน 3 ระดับคือ 0.01 m^3/s 0.025 m^3/s และ 0.040 m^3/s ส่วนผสมปริมาณสารมอลโตรเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 20 และ 30 ตามลำดับ ส่วนข้อมูลเอาต์พุต คืออัตราส่วนความชื้น ผลจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งได้ดีและแม่นยำ ผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าที่ได้จากผลการทดลองมากผลจากการวิเคราะห์หาแบบจำลองที่เหมาะสมพบว่า โครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับทำนายปริมาณความชื้นการอบแห้งระกำผง คือ โครงสร้างแบบ 3-30-1 โดยฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นแบบ Tan-sigmoid และPure linear ในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.973 และค่า RMSE เท่ากับ 0.107 ทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ทำนายการทำงานของเครื่องอบแห้งพ่นฝอยที่สภาวะอื่นๆได้ สามารถนำ ไปศึกษาพัฒนาการอบแห้งแบบพ่นฝอยในอนาคตต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

[1] อัจฉริยา รังษิรุจิ ฐปวิตรา ผ่องแผ้วและธวัช ดอนสกุล. (2549). **คาริโอไทป์ของพืชสกุลระกำ (Salacca) บางชนิดในประเทศไทย และประเทศอินโดนีเซีย**, วารสารวิทยาศาสตร์ มศว ปีที่ 22 ฉบับที่ 2, หน้า 48-61.

[2] Tungrugsasut W., Srisukh V., Wisamitanan J., Suksawat P. & Thongbainoi W., (2004**). Flavoring agent from Salacca Thai**. Journal of Phytopharmacy Vol. 11(1), pp. 1-10.

[3] สมฤดี ไทพาณิชย์. (2554). **กระบวนการแปรรูปด้วยเอนไซม์และการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยของไซรัปขนุนชนิดผง.** วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, ปีที่ 7 ฉบับที่ 1, หน้า 31-39.

[4] วรีวรรณ์ พฤกษ์พิจารณ์, มาริษา ภูภิญโญกุลและพัชรี ตั้งตระกูล. (2559). **การพัฒนามะเกี๋ยงผงสำเร็จรูปโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นกระจาย**. วารสารคหเศรษฐศาสตร์ปีที่ 59 ฉบับที่ 3, หน้า 14-25.

[5] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์.(2540). **การอบแห้งเมล็ดธัญพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 5, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[6] พัชรินทร์ ตาด้วงและวีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล. (2555). **การอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบด.** การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่13 ,4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่.

[7] ไพโรจน์ จันทร์แก้วและศิวะ อัจฉริยวิริยะ. (2555). **บทวิเคราะห์การอบแห้งธัญพืชโดยประยุกต์ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด**. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ ที่ 134-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่.

[8] วัชรินทร์ ดงบัง. (2547). **การศึกษาการอบแห้งเมล็ดพืช**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[9] Akpinar E.K., Bicer Y. & Yildiz C., (2003). **Thin layer drying of red pepper**. Journal of Food Engineering, Vol. 59(1), pp. 99-104.

[10] Madhiyanon T., Phila A. & Soponronnarit S., (2009). **Models of fluidized bed drying for thin-layer chopped coconut**. Applied Thermal Engineering, Vol.29, pp.2849-2854.

[11] จักรพงษ์ คำสีเขียวและสุขอังคณา ลี. (2555). **แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการทำนายร้อยละข้าวหักจากเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปที่ 14 ฉบับที่ 2, หน้า 1-10.

[12] ปฏิวัติ วรามิตร, นันทวัฒน์ วีระยุทธและอำไพศักดิ์ ทีบุญมา. (2011). **การทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้แบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม.** วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มศว. ปีที่ 6 ฉบับที่ 1, หน้า 39-47.

[13] Erenturk S. & Erenturk K., (2007). **Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot**, J. Food Eng., Vol.78, pp.905-9012.

[14] Tayfun M., Mustafa B.O. & Volkan K., (2010). **Determination of freeze-drying behaviors of apples by artificial neural network**. Expert Systems with Applications, Vol.37, pp. 7669-7677.

[15] คงฤทธิ์ โกมาสถิตย์และปารมาศ ชุติมา. (2555). **การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทยในระยะยาวด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม**. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2555 17-19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี.

[16] อรนงค์ บุเกตุและพุธษดี ศิริแสงตระกูล. (2556). **แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม**, ว.วิทย. มข., ปีที่ 41 ฉบับที่ 1, หน้า 213-225.

[17] สุธิดา ปรีชาเดชและชนะ รักษ์ศิริ. (2554). **การพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการขัดแผ่นซิลิคอนโดยโครงข่ายประสาทเทียม**, วิศวกรรมสาร มก., ฉบับที่ 77 ปีที่ 24, หน้า 1-11.

[18] สโรบล สโรชวิกสิตและชัยรัตน์ ตั้งดวงดี (2554). **ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับปะรดผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย.** วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 34, หน้า 203-215.