

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

**การทำนายพฤติกรรมการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้แบบจำลองเอมพีริคัล
และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม**

**Prediction of Hot Air Drying Behavior using an Empirical Model
and Artificial Neural Network Model**

ปฏิวดี วรามิตร*, นันทวัฒน์ วีระยุทธ และ อำไพศักดิ์ ธิบุญมา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อ. วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

ติดต่อ: โทรศัพท์: 045 353 308, โทรสาร: 045 353 309

E-mail: vandal_me@windowslive.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้แบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ คือ แครอท และ บอระเพ็ด ภายใต้อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C และความเร็วลม 0.5-1.0 m/s ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำพฤติกรรมการอบแห้งที่ได้จากการทดลองมาทำนายและเปรียบเทียบผลการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ผลจากการศึกษาพบว่า แบบจำลองเอมพีริคัล และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายพฤติกรรมการอบแห้งได้แม่นยำ นอกจากนี้ยังพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายได้แม่นยำกว่าแบบจำลองเอมพีริคัล

คำหลัก: การอบแห้ง / แบบจำลองการอบแห้ง / โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

The objective of this research was to predict drying behavior of hot air drying using an empirical model (EM) and an artificial neural network model (ANNM). Carrot and Heart-leaved moonseed were dried under drying temperature of 60-80°C and air velocity of 0.5-1.0 m/s. Subsequently, EM and ANNM were applied to describe the drying behavior of both products. Furthermore, prediction results between EM and ANNM were compared with the experimental data.

In this research, it was obviously found that EM and ANNM can describe the drying behavior. Additionally, it was also found that prediction results of ANNM are good agreement with experimental results than that of EM.

Keywords: Drying / Drying model / Artificial neural network

1. บทนำ

การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆกัน [1] กระบวนการที่ซับซ้อนนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิและความเร็วของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อัตราการไหลของอากาศ ลักษณะทางกายภาพและความชื้นเริ่มต้นของวัสดุที่จะทำการอบแห้ง พื้นที่และความดันในการอบ [2] ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมของการอบแห้งเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบจำลองกระบวนการอบแห้งให้มีความเหมาะสม [3] มีการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของการอบแห้งของวัสดุธรรมชาติที่แตกต่างกันจากนักวิจัยหลายกลุ่ม [4-10] นักวิจัยหลายท่านได้ทำการพัฒนาแบบจำลองเพื่อกระบวนการอบแห้ง [11-13] ความสัมพันธ์สมการคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งของวัสดุธรรมชาติ สมการเหล่านี้เน้นเฉพาะปัญหาที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก เช่นสมการเอกซโพเนนเชียลอย่างง่ายที่รู้จักกันคือสมการของนิวตัน อย่างไรก็ตามสมการดั้งเดิมได้ถูกดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลการทดลอง

แบบจำลองเอมพีริคัลส่วนใหญ่จะมีความแม่นยำเฉพาะผลการทดลองนั้นๆ แต่เมื่อเงื่อนไขเปลี่ยนไปแบบจำลองเอมพีริคัลที่ใช้จะเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขการทดลอง ปัญหาที่สามารถแก้ได้โดยการวิเคราะห์ตามหลักการของการถ่ายเทความร้อนและมวลสารโดยใช้สมการดิฟเฟอเรนเชียล แต่ผลลัพธ์สุดท้ายนั้นซับซ้อนและยากที่จะนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้งจริง

จากเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) จึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาทางชีววิทยาและวิศวกรรมเคมี [14] โดยโครงข่ายประสาทเทียมถูกใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งของวัสดุธรรมชาติที่แตกต่างกัน เช่น *Echinacea angustifolia* [15] มันสำปะหลังและมะม่วง [16] แครอท [17, 18] และโสม [19] เพื่อนำเสนอให้เห็นถึงความสามารถของการแก้ปัญหาโดยโครงข่ายประสาทเทียม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่าย

ประสาทเทียมในการทำนายพฤติกรรมของการอบแห้งและเปรียบเทียบกับผลการทำนายโดยใช้แบบจำลองเอมพีริคัล

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ในงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ได้จากการทดลองมาทำนายและเปรียบเทียบผลการทำนายพฤติกรรมของการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ แครอท และบอระเพ็ด ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งคือ อุณหภูมิอบแห้ง 60, 70 และ 80 °C และความเร็วลม 0.5, 0.7 และ 1.0 m/s

2.1 แบบจำลองเอมพีริคัลของการอบแห้ง

อัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งจากการทดลองคำนวณตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 1 ในงานวิจัยนี้ได้เลือกแบบจำลองเอมพีริคัลมาทำการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 13 แบบจำลองเพื่อทำนายพฤติกรรมของการอบแห้งโดยที่พฤติกรรมของการอบแห้งจะแสดงอยู่ในรูปของอัตราส่วนความชื้น (MR) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาดังแสดงในตารางที่ 1

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

เมื่อ	MR	คือ อัตราส่วนความชื้น
	M_t	คือ ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ (% dry basis)
	M_{eq}	คือ ปริมาณความชื้นสมดุล (% dry basis)
	M_i	คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (% dry basis)

การวิเคราะห์หาแบบจำลองเอมพีริคัลที่เหมาะสมสำหรับทำนายพฤติกรรมการอบแห้งแครอทและบอระเพ็ด ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง และความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้น $a, b, c, g, h, k, k_1, k_2$ หรือ n ซึ่งเดิมเป็นเพียงค่าคงที่ จึงได้ถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิอบแห้ง และความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2

$$K = x_0 + x_1T + x_2V + x_3TV \quad (2)$$

เมื่อ K คือ $a, b, c, g, h, k, k_1, k_2$ หรือ n

T คือ อุณหภูมิอบแห้ง (องศาเซลเซียส)

V คือ ความเร็วลม (เมตร/วินาที)

x_i คือ ค่าคงที่ของสมการที่ (2)

หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์หาแบบจำลองเอมพีริคัลที่เหมาะสมด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เพื่อหาค่าตัวแปรของแบบจำลอง และใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลรวมความคลาดเคลื่อนทั้งหมด (Root Mean Squared Error, RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, r^2) เป็นดัชนีชี้วัดแบบจำลองเอมพีริคัลที่เหมาะสม โดย RMSE คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

เมื่อ $MR_{pre,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่ทำนายด้วยแบบจำลองเอมพีริคัล

$MR_{exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นจากข้อมูลการทดลอง

N คือ จำนวนของข้อมูล

ตารางที่ 1 แบบจำลองเอมพีริคัลสำหรับการทำนายพฤติกรรมการอบแห้ง [20, 21]

ลำดับที่	ชื่อแบบจำลอง	แบบจำลอง
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
3	Modified Page I	$MR = \exp(-(kt)^n)$
4	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
5	Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$
6	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
7	Two term	$MR = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t)$
8	Two term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$
9	Modified Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
10	Midilli	$MR = a \exp(-kt^b) + bt$
11	Approximation of diffusion	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$
12	Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$
13	Logistic	$MR = a / [1 + \exp(kt)]$

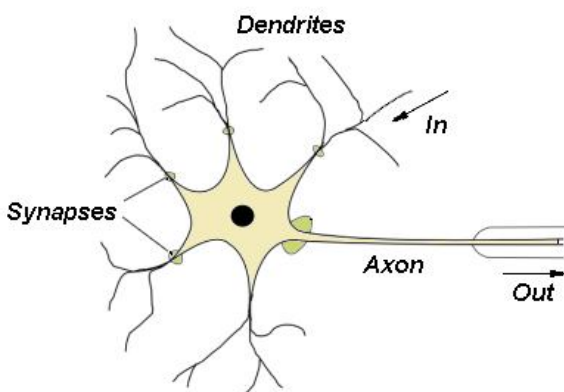
2.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

2.2.1 หลักการโครงข่ายประสาทเทียม

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) มักจะเรียกสั้น ๆ ว่า ข่ายงานประสาท (neural network หรือ neural net) ซึ่งก็คือโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนกชันนิสต์ (connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (pattern recognition) และการอุปมาความรู้อื่น (knowledge deduction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจาก

การศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (bioelectric network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ "นิวรอน" (neurons) และ จุดประสานประสาท (synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า "เดนไดรต์" (dendrite) ซึ่งเป็น input และปลายในการส่งกระแสประสาท เรียกว่า "แอกซอน" (axon) ซึ่งเป็นเหมือนเอาต์พุตของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรต์เข้าสู่ นิวเคลียสซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอกซอนของมัน ตามโมเดลนี้ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท จนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกันดังแสดงในรูปที่ 1

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเลียนแบบพฤติกรรมที่มีความซับซ้อนสูงได้เป็นอย่างดี มีความเหมาะสมในการทำนายพฤติกรรมที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) ในงานวิจัยนี้จึงได้นำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งด้วยลมร้อนของแครอท และบอระเพ็ด ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนของคุณสมบัติทางจลนพลศาสตร์



รูปที่ 1 แบบจำลองเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์

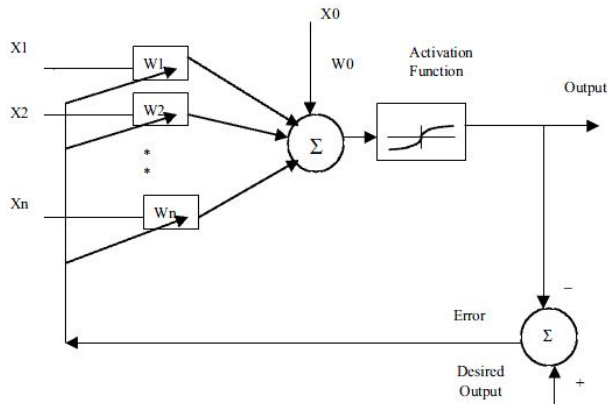
2.2.2 สถาปัตยกรรมโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า (multilayer feed forward neural network) และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับของเลเวนเบิร์ก-มาควาร์ดท์ (Levenberg-Maquardt's Back-Propagation) ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้ที่สุด [22] เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและใช้เวลาไม่นานในการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม [23] Back-Propagation ยังเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างนิวรอนให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้อาจขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ ชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมจะมีคำตอบไว้คอยตรวจสอบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าคำตอบไม่ถูก วงจรข่ายก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2

2.2.3 ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม

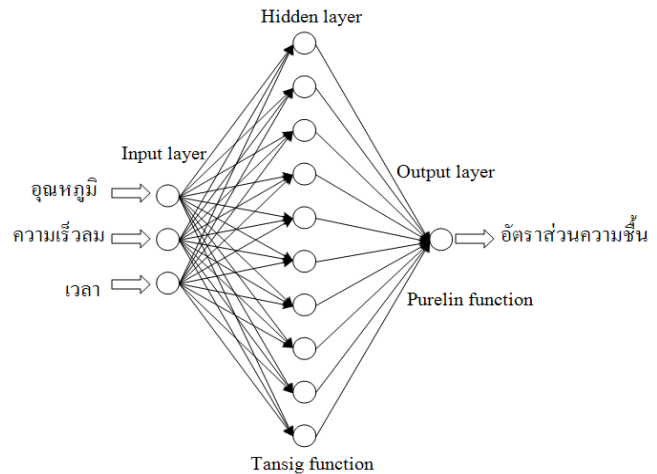
งานวิจัยนี้ได้ใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมผ่านกล่องเครื่องมือโครงข่ายประสาทเทียม (neural network toolbox) โดยที่ข้อมูลอินพุต (input) ของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย อุณหภูมิ, ความเร็วลม และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ข้อมูลเอาต์พุต (output) ของโครงข่ายประสาทเทียมคืออัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง และมีจำนวนชั้นซ่อน (hidden layer) ของโครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งชั้นซ่อนมีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน 10 นิวรอน และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ของโครงข่ายประสาทเทียมคือ tansig function และ purelin function ในชั้นซ่อนและชั้น output ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3

จากนั้นเปรียบเทียบผลการทำนายพฤติกรรมการ
อบแห้งระหว่างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับ
แบบจำลองเอมพีริคัลโดยใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ย
ของผลรวมของความคลาดเคลื่อนทั้งหมด (RMSE)
และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ในการ
เปรียบเทียบ



รูปที่ 2 กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ

ข้อมูลจากการอบแห้งแครอทและบอระเพ็ดด้วย
ลมร้อนจะนำมาใช้ฝึกหัดและทดสอบแบบจำลอง
โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายพฤติกรรมการ
อบแห้ง จากข้อมูลทั้งสิ้น 756 ชุดข้อมูลจากการ
อบแห้งด้วยลมร้อนทั้ง 9 เงื่อนไข โดยที่ชุดข้อมูลจะถูก
แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้เพื่อการฝึกหัด
แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและส่วนที่เหลือจะ
ใช้เพื่อทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมใน
การทำนายพฤติกรรมการอบแห้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ร้อย
ละ 75 ของข้อมูลการอบแห้งจะถูกใช้เพื่อฝึกหัดและอีก
ร้อยละ 25 ของข้อมูลการอบแห้งจะใช้เพื่อทดสอบการ
ทำนายพฤติกรรมการอบแห้งของแบบจำลองโครงข่าย
ประสาทเทียม



รูปที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับทำนาย
พฤติกรรมการอบแห้ง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการหาวิเคราะห์แบบจำลองเอมพีริคัลที่ เหมาะสม

ผลการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาแบบจำลอง
เอมพีริคัลที่เหมาะสมสำหรับการทำนายพฤติกรรมการ
อบแห้งแครอทและบอระเพ็ดด้วยลมร้อนแสดงอยู่ใน
รูปค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (r^2) และค่ารากที่
สองของค่าเฉลี่ยผลรวมความคลาดเคลื่อนทั้งหมด
(RMSE) เมื่อเทียบกับข้อมูลการทดลองของ
แบบจำลองเอมพีริคัลทั้ง 13 แบบจำลอง ดังแสดงใน
ตารางที่ 2 และ 3

จากตารางที่ 2 พบว่าแบบจำลองของ Logistic มี
ความเหมาะสมมากที่สุดในการทำนายพฤติกรรมการ
อบแห้งแครอทด้วยลมร้อนโดยมีค่า r^2 มากที่สุดเท่ากับ
0.98538 และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดโดยมีค่า
RMSE เท่ากับ 0.08741

สำหรับการทำนายพฤติกรรมการอบแห้ง
บอระเพ็ดด้วยลมร้อน พบว่าแบบจำลองของ Page
สามารถทำนายได้ดีที่สุดโดยมีค่า r^2 มากที่สุดเท่ากับ
0.98634 และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดโดยมีค่า
RMSE เท่ากับ 0.03463 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองเอมพีริคัล
สำหรับการอบแห้งแครอทด้วยลมร้อน

แครอท		
ชื่อแบบจำลอง	r^2	RMSE
Newton	0.98182	0.08852
Page	0.98508	0.08923
Modified Page I	0.98508	0.08923
Henderson and Pabis	0.98292	0.08870
Wang and Singh	0.97935	0.12116
Logarithmic	0.98464	0.08892
Two term	0.98292	0.08870
Two term exponential	0.98182	0.08852
Modified Henderson and Pabis	0.98291	0.08906
Midilli	0.98531	0.08915
Approximation of diffusion	0.98525	0.08915
Verma et al.	0.98481	0.10457
Logistic	0.98538	0.08741

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองเอมพีริคัล
สำหรับการอบแห้งบอระเพ็ดด้วยลมร้อน

บอระเพ็ด		
ชื่อแบบจำลอง	r^2	RMSE
Newton	0.98087	0.03655
Page	0.98634	0.03463
Modified Page I	0.98595	0.03468
Henderson and Pabis	0.98156	0.03525
Wang and Singh	0.95986	0.08334
Logarithmic	0.98316	0.03536
Two term	0.98295	0.03563
Two term exponential	0.98181	0.03495
Modified Henderson and Pabis	0.98474	0.03566
Midilli	0.98335	0.03722
Approximation of diffusion	0.98380	0.03540
Verma et al.	0.98380	0.03538
Logistic	0.97511	0.04299

3.2 ผลการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งโดย แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียบกับแบบจำลอง เอมพีริคัล

ผลการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งแครอทและ
บอระเพ็ดด้วยลมร้อนโดยแบบจำลองโครงข่าย
ประสาทเทียมได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการ
ทำนายพฤติกรรมการอบแห้งโดยแบบจำลองเอมพีริ
คัล โดยใช้ค่า r^2 และค่า RMSE เป็นดัชนีชี้วัดดังแสดง
ในตารางที่ 4 และ 5 และ รูปที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การอบแห้งแครอทด้วยลม
ร้อน

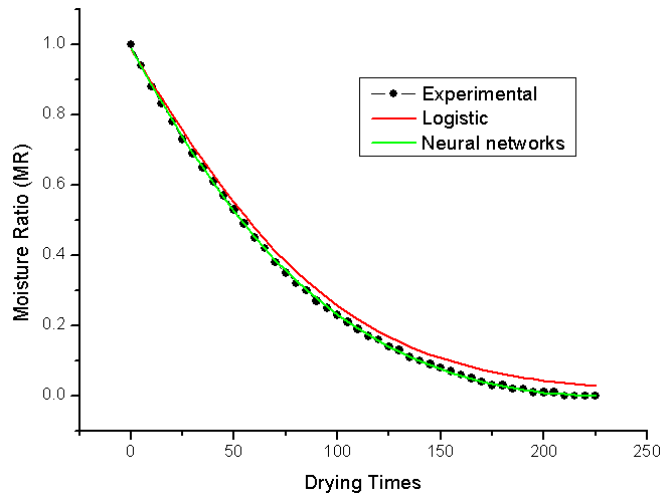
แครอท			
แบบจำลอง	ชื่อแบบจำลอง	r^2	RMSE
เอมพีริคัล	Logistic	0.98538	0.08741
โครงข่าย ประสาท เทียม	Multilayer feed forward back propagation	0.99993	3.794-3

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การอบแห้งบอระเพ็ดด้วย
ลมร้อน

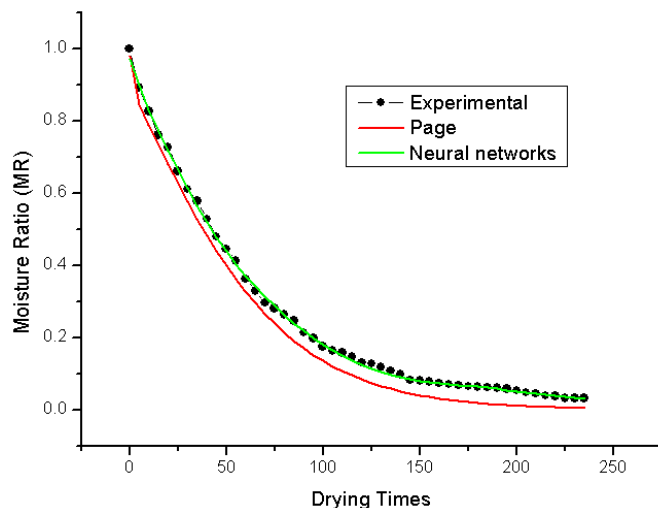
บอระเพ็ด			
แบบจำลอง	ชื่อแบบจำลอง	r^2	RMSE
เอมพีริคัล	Page	0.98634	0.03463
โครงข่าย ประสาท เทียม	Multilayer feed forward back propagation	0.99936	9.849e-3

จากตารางที่ 4 และ 5 และรูปที่ 4 และ 5 แสดงให้
เห็นถึงความสามารถในการทำนายพฤติกรรมการ
อบแห้งโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่
ดีกว่าแบบจำลองเอมพีริคัล ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลอง
โครงข่ายประสาทเทียมมีจุดเด่นในการเรียนรู้
สังเคราะห์ ทำนายผลลัพธ์ของปัจจัยแบบมี
ความสัมพันธ์ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นได้ดี และ

โครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถปรับแต่งความรู้ที่ซ่อนอยู่ภายในโครงข่ายที่มีการต่อเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น มีการส่งผ่านข้อมูลที่จะประมวลผลจากอินพุตไปยังเอาต์พุตแบบขนาน ดังนั้นการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นไปอย่างแม่นยำและรวดเร็ว



รูปที่ 4 ผลการทำนายพฤติกรรมกรอบแห้งแครอทด้วยแบบจำลอง Logistic เทียบกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 5 ผลการทำนายพฤติกรรมกรอบแห้งบอระเพ็ดด้วยแบบจำลอง Page เทียบกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

4. บทสรุป

ผลจากการวิจัยการทำนายพฤติกรรมกรอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้แบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมพบว่าทั้งแบบจำลองเอมพีริคัล และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายพฤติกรรมกรอบแห้งได้แม่นยำ โดยที่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายได้แม่นยำกว่าแบบจำลองเอมพีริคัล นอกจากนี้ยังพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้ทำนายพฤติกรรมกรอบแห้งผลิตภัณฑ์มากกว่าแบบจำลองเอมพีริคัล

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gogus, F. (1994). The effect of movement of solutes on millard reaction during drying, *Ph.D. Thesis*, Leeds University, Leeds, U.K.
- [2] Akpinar, E.K., Bicer, Y., Yildiz, C. (2003). Thin layer drying of red pepper, *Journal of Food Engineering*, vol. 59, pp. 99–104.
- [3] Senadeera, W., Bhandari, B.R., Young, G., Wijesinghe, B. (2003). Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying, *Journal of Food Engineering*, vol. 58, pp. 277–283.
- [4] Passamai, V. and Saravia, L. (1977a). Relationship between a solar drying model of red pepper and the kinetics of pure water evaporation I, *Drying Technology*, vol. 15 (5), pp. 1419–1432.
- [5] Passamai, V. and Saravia, L. (1977b). Relationship between a solar drying model of red pepper and the kinetics of pure water evaporation II, *Drying Technology*, vol. 15 (5), pp. 1433–1457.

- [6] Midilli, A., Olgun, H., Ayhan, T. (1999). Experimental studies of mushroom and pollen drying, *International Journal of Energy Research*, vol. 23, pp. 1143–1152.
- [7] Sarsavadia, P.N., Sawhney, R.L., Pangavhane, D.R., Singh, S.P. (1999). Drying behavior of brined onion slices, *Journal of Food Engineering*, vol. 40, pp. 219–226.
- [8] Midilli, A. (2001). Determination of pistachio drying behavior and conditions in a solar drying system, *International Journal of Energy Research*, vol. 23, pp. 1143–1152.
- [9] Azzouz, S., Guizani, A., Jomaa, W., Belghith, A. (2002). Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes, *Journal of Food Engineering*, vol. 55, pp. 323–330.
- [10] Kaymak-Ertekin, F. (2002). Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers, *Journal of Food Science*, vol. 67 (1), pp. 168–175.
- [11] Diamante, L.M. and Munro, P.A. (1991). Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices, *International Journal of Food Science Technology*, vol. 26, pp. 99–109.
- [12] Diamante, L.M. and Munro, P.A. (1993). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sweet potato slices, *Solar Energy*, vol. 51, pp. 271–276.
- [13] Ratti, C. and Mujumdar, A.S. (1997). Solar drying of foods: modeling and numerical simulation, *Solar Energy*, vol. 60, pp. 151–157.
- [14] Baughman, D.R. and Liu, Y.A. (1995). Neural Networks in Bio-Processing and Chemical Engineering, *Academic Press*, New York, USA.
- [15] Erenturk, K., Erenturk, S., and Tabil, L.G. (2004). A comparative study for the estimation of dynamical drying behavior of *Echinacea angustifolia* : regression analysis and neural network, *Computers and Electronic in Agriculture*, vol. 45, pp. 71–90.
- [16] Hernandez-Perez, J.A., Garcia-Alvarado, M.A., Trystram, G., and Heyd, B. (2004). Neural networks for the heat and mass transfer prediction during drying of cassava and mango, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 5, pp. 57-64.
- [17] Kerr, W.L., Kerdpiroon, S., Devahastin, S. (2006). Neural network prediction of physical property changes of dried carrot as a function of fractal dimension and moisture content, *Food Research International*, vol. 39, pp. 1110–1118.
- [18] Erenturk, S. and Erenturk, K. (2007). Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot, *Journal of Food Engineering*, vol. 78, pp. 905-912.
- [19] Martynenko, A.I. and Yang, S.X. (2006). Biologically inspired neural computation for Ginseng Drying rate, *Biosystems Engineering*, vol. 95 (3), pp. 385–396.
- [20] Ruiz Celma, A., Rojas, S., and Lopez-Rodriguez, F. (2008). Mathematical modeling of thin-layer infrared drying of wet olive husk, *Chemical Engineering and Processing*, vol. 47, pp. 1810–1818.
- [21] Jain, D. and Pathare, P.B. (2004). Selection and Evaluation of Thin Layer Drying Models for Infrared Radiative and Convective Drying of Onion Slices, *Biosystems Engineering*, vol. 89(3), pp. 289-296.

- [22] Movagharnejad, K. and Nikzad, M. (2007). Modeling of tomato drying using artificial neural network, *Computers and electronics in agriculture*, vol. 59, pp. 78-85.
- [23] Hagan, M.T., Demuth, H.B., and Beals, M. (1996). *Neural Network Design*, PWS Publishing Company, USA.