

**การทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง
โดยใช้แบบจำลองเอมพิริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
A Prediction of Drying Time
using Empirical Model and Artificial Neural Network Model**

ปวิวัติ วรามิตร*¹, บัณฑิต กฤตาคม¹, นันทวัฒน์ วีระยุทธ², อำไพศักดิ์ ทีบุญมา² และโสภณ สีนสร้าง¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 744 ถ.สุรนารายณ์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

*E-mail : pathiwat.wa@rmuti.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 044-233000 ต่อ 3410 เบอร์โทรสาร ,044-233074

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทร 0-4535-3309 โทรสาร 0-4535-3308

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้แบบจำลองเอมพิริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาซึ่งใช้ในการทดสอบคือเนื้อวัว ภายใต้อุณหภูมิอบแห้ง 50-70 °C และความเร็วลม 1.0 - 2.0 m/s ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ได้จากการทดลองมาทำนายและเปรียบเทียบผลการทำนายโดยใช้แบบจำลองเอมพิริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ผลจากการศึกษาพบว่าแบบจำลองเอมพิริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งได้ นอกจากนี้ยังพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายได้แม่นยำกว่าแบบจำลองเอมพิริคัล

คำหลัก: การอบแห้ง / แบบจำลองเอมพิริคัล / แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

The objective of this study was to predict drying times of hot air drying using an empirical model (EM) and an artificial neural network model (ANNM). Beef was dried under drying temperatures of 50-70 °C and air velocities of 1.0-2.0 m/s. Subsequently, EM and ANNM were applied to describe the drying times of product. Furthermore, prediction results between EM and ANNM were compared with the experimental data. In this study, it was obviously found that EM and ANNM can describe the drying times effectively. Additionally, it was also found that prediction results of ANNM is good agreement with experimental results than those of EM.

Keywords: Drying / Empirical model / Artificial neural network model.

1. บทนำ

การทำแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยหนึ่งในวิธีการทำแห้งที่เป็นที่นิยมใช้อย่างมากก็คือการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งนั้นคือกระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆกัน [1] กระบวนการที่ซับซ้อนนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิและความเร็วของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อัตราการไหลของอากาศ

ลักษณะทางกายภาพและความชื้นเริ่มต้นของวัสดุที่จะทำการอบแห้ง พื้นที่และความดันในการอบ [2] ความรู้เกี่ยวกับอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบและจำลองกระบวนการอบแห้งให้มีความเหมาะสม [3] จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งของวัสดุธรรมชาติที่แตกต่างกันจากนักวิจัยหลายกลุ่ม [4-10] โดยนักวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองขึ้นมาเพื่ออธิบาย

กระบวนการอบแห้ง [11-13] โดยความสัมพันธ์ของสมการคณิตศาสตร์และความสามารถในการทำนายพฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่ออธิบายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง

นอกจากการศึกษาเกี่ยวกับอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งแล้ว การที่สามารถคาดการณ์เวลาที่ใช้ในการอบแห้งล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำนั้นจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการอบแห้งได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเพื่อนำเสนอให้เห็นถึงความสามารถของการแก้ปัญหาโดยแบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและเปรียบเทียบกับผลการทำนายของแบบจำลองทั้งสองแบบ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง ในงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ได้จากการทดลองมาใช้เป็นฐานข้อมูลแล้วเปรียบเทียบกับผลการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ เนื้อวัว ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งคือ อุณหภูมิอบแห้ง 50, 60 และ 70 °C และความเร็วมวล 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s โดยจะคำนวณอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio: MR) จากการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะใช้ในการฝึกหัดแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมก่อน อัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งจากการทดลองคำนวณตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 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)

2.2 แบบจำลองเอมพีริคัลของการอบแห้ง งานวิจัยนี้ได้เลือกแบบจำลองเอมพีริคัลมาทั้งสิ้น 5 แบบจำลอง โดยทำการจัดรูปแบบจำลองใหม่เพื่อทำนายเวลาที่ใช้ใน

การอบแห้ง โดยที่แบบจำลองเดิมจะเป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง (MR) ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันของเวลาดังแสดงในตารางที่ 1 และทำการวิเคราะห์เพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดจาก 5 แบบจำลอง โดยดัชนีที่ใช้ชี้วัดคือค่า r^2 และค่า RMSE ดังสมการที่ 2

ตารางที่ 1 แบบจำลองเอมพีริคัลสำหรับการทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้ง [14, 15]

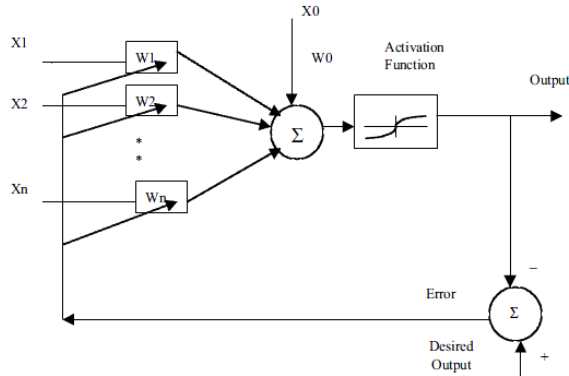
ลำดับที่	ชื่อแบบจำลอง	แบบจำลอง
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$
2	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
3	Modified Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
4	Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$
5	Logistic	$MR = a / [1 + \exp(kt)]$

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

เมื่อ $t_{pre,i}$ คือ เวลาที่ทำนายด้วยแบบจำลองเอมพีริคัล
 $t_{exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นจากข้อมูลการทดลอง
N คือ จำนวนของข้อมูล

2.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แบบจำลองแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า (multilayer feed forward neural network) และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับของเลเวนเบิร์ก-มาควาร์ดท์ (Levenberg-Maquardt 's Back-Propagation) ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้ที่สุด [16] เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและใช้เวลาไม่นานในการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม [17] Back-Propagation ยังเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมวิธีหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างนิวรอนให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้นี้จะขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ ชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมจะมีค่าตอบไว้คอย

ตรวจสอบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าคำตอบไม่ถูก วงจรข่ายก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นดังแสดงในรูปที่ 1

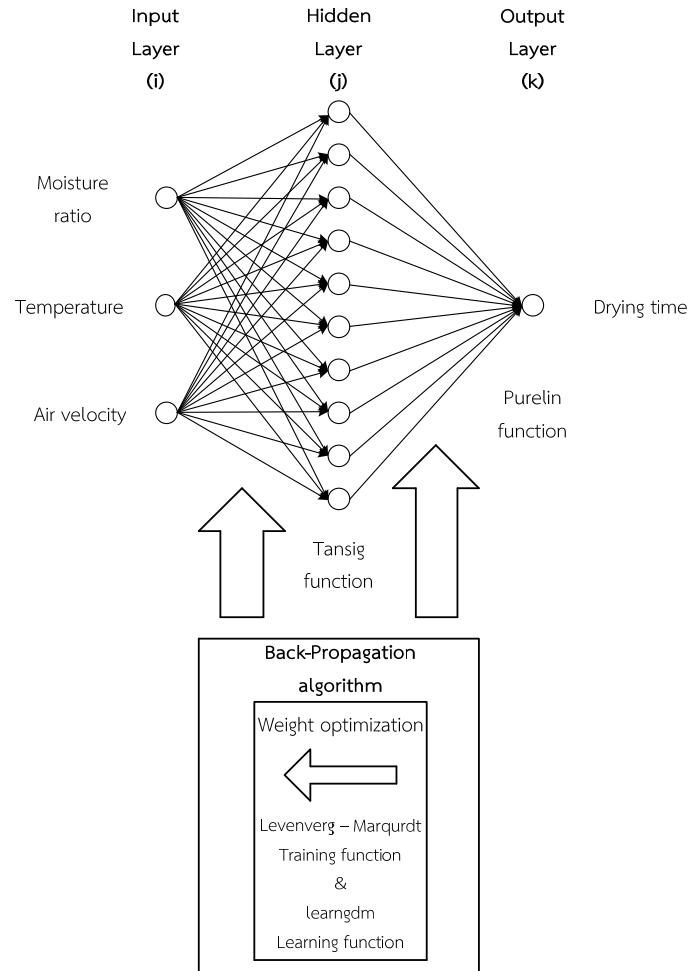


รูปที่ 1 กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ

งานวิจัยนี้ได้ใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมผ่านกล่องเครื่องมือโครงข่ายประสาทเทียม (neural network toolbox) โดยที่ข้อมูลอินพุต (input) ของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย อุณหภูมิ, ความเร็วลม และอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง ข้อมูลเอาต์พุต (output) ของโครงข่ายประสาทเทียมคือเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และมีจำนวนชั้นซ่อน (hidden layer) ของโครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งชั้นซ่อนมีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน 10 นิวรอน และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ของโครงข่ายประสาทเทียมคือ tansig function และ purelin function ในชั้นซ่อนและชั้น output อัตราการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าเท่ากับ 0.1 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 2

ข้อมูลจากการอบแห้งเนื้อวัวด้วยลมร้อนจะนำมาใช้ฝึกหัดและทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จากข้อมูลทั้งสิ้น 756 ชุด ข้อมูลจากการอบแห้งด้วยลมร้อนทั้ง 9 เงื่อนไข โดยที่ชุดข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้เพื่อการฝึกหัดแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและส่วนที่เหลือจะใช้เพื่อทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ร้อยละ 75 ของข้อมูลการอบแห้งจะถูกใช้เพื่อฝึกหัดและอีกร้อยละ 25 ของข้อมูลการอบแห้งจะใช้เพื่อทดสอบการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม จากนั้นเปรียบเทียบผลการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งระหว่างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับการ

ทดลองโดยใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลรวมของความคลาดเคลื่อนทั้งหมด (RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เป็นดัชนีชี้วัดในการเปรียบเทียบ



รูปที่ 2 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งการอบแห้ง

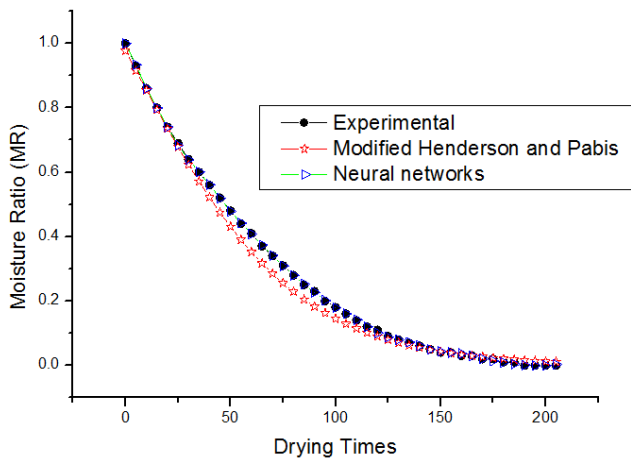
3. ผลและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองเอมพีริคัลที่เหมาะสมที่สุดจาก 5 แบบจำลองพบว่าแบบจำลองของ Modified Henderson and Pabis มีความเหมาะสมมากที่สุดในการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อวัวด้วยลมร้อนโดยมีค่า r^2 มากที่สุดเท่ากับ 0.98144 และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดโดยมีค่า RMSE เท่ากับ 0.00637 และเมื่อเปรียบเทียบผลการทำนายระหว่างแบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งได้แม่นยำกว่าแบบจำลองเอมพีริคัล โดยมีค่า r^2 มากกว่า และมีค่า RMSE น้อยกว่าแบบจำลองเอมพีริคัลโดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.99968 และ RMSE

เท่ากับ 0.00538 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

เนื้อวัว			
แบบจำลอง	ชื่อแบบจำลอง	r^2	RMSE
เอมพีริคัล	Modified Henderson and Pabis	0.98144	0.00637
โครงข่ายประสาทเทียม	Multilayer Feed Forward Back propagation	0.99968	0.00538



รูปที่ 3 ผลการทำนายเวลาในการอบแห้งเนื้อวัว

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีกว่าแบบจำลองเอมพีริคัล ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีจุดเด่นในการเรียนรู้ สังเคราะห์ ทำนายผลลัพธ์ของปัจจัยแบบมีความสัมพันธ์ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นได้ดี และโครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถปรับแต่งความรู้ที่ซ่อนอยู่ภายในเครือข่ายที่มีการต่อเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น มีการส่งผ่านข้อมูลที่จะประมวลผลจากอินพุตไปยังเอาต์พุตแบบขนาน ดังนั้นการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นไปอย่างแม่นยำและรวดเร็ว

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าแบบจำลองทั้งสองมีความสามารถในการทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งได้และเมื่อเปรียบเทียบผลการทำนายของทั้งสองแบบจำลองจะพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งได้แม่นยำกว่าแบบจำลองเอมพีริคัล ซึ่งประโยชน์จากงานวิจัยนี้สามารถช่วยให้ภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรมวางแผนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้ทันต่อความต้องการของผู้บริโภคได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่สนับสนุนทุนวิจัย

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] Akpınar, E.K., Bicer, Y., Yıldız, 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., Ölgün, H., Ayhan, T. (1999). Experimental studies of mushroom and pollen drying, International Journal of Energy Research, vol. 23, pp. 1143–1152.

- [7] ปฏิวัติ วรามิตร, นันทวัฒน์ วีระยุทธ และอำไพศักดิ์ ที่บุญมา. 2553. การทำนายพฤติกรรมการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม. *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย. 5-7 พฤษภาคม 2553*, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดเพชรบุรี.
- [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] ปฏิวัติ วรามิตร, นันทวัฒน์ วีระยุทธ และอำไพศักดิ์ ที่บุญมา. 2553. การเปรียบเทียบแบบจำลองการอบแห้งด้วยลมร้อนระหว่างแบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม, *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 3, ฉบับที่ 1* (60-68)
- [10] นันทวัฒน์ วีระยุทธ, ปฏิวัติ วรามิตร และอำไพศักดิ์ ที่บุญมา. 2553. สถาปัตยกรรมโครงสร้างที่เหมาะสมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้ง, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย. 20-22 ตุลาคม 2553*, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, จังหวัดอุบลราชธานี.
- [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] ปฏิวัติ วรามิตร, นันทวัฒน์ วีระยุทธ และอำไพศักดิ์ ที่บุญมา. 2554. การทำนายอัตราส่วนความชื้นการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้แบบจำลองเอมพีริคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ปีที่ 6, ฉบับที่ 1* (40-49)
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Movagharnejad, K. and Nikzad, M. (2007). Modeling of tomato drying using artificial neural network, *Computers and electronics in agriculture*, vol. 59, pp. 78-85.
- [17] Hagan, M.T., Demuth, H.B., and Beals, M. (1996). *Neural Network Design*, PWS Publishing Company, USA.