



วิทยานิพนธ์

การพัฒนาระบบการผลิตมะกรูดแช่อิ่มอบแห้งด้วยเทคนิค
เครือข่ายใยประสาทเทียม

**PROCESS DEVELOPMENT OF LEECH LIME OSMOTIC
DEHYDRATION BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

นางสาวรพีพร ตลับใหม่

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดเชื่อมอบแห้งด้วยเทคนิคเครือข่ายประสาทเทียม

Process Development of Leech Lime Osmotic Dehydration by Artificial Neural Network

นามผู้วิจัย นางสาวพีพร ตลับใหม่

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาวณีษ์ เลิศวรสิริกุล, Ph.D)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพศาล วุฒิจำนงค์, Ph.D)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชุตินา ไวศรายุทธ์, Ph.D)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดเชื่อมอบแห้งด้วยเทคนิคเครือข่ายประสาทเทียม

Process Development of Leech Lime Osmotic Dehydration by Artificial Neural Network

โดย

นางสาวรพีพร ตลับไหม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2551

รพีพร ตลับใหม่ 2551: การพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดแช่อิ่มอบแห้งด้วยเทคนิคเครือข่ายประสาทเทียม ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ ประชานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสาวณีย์ เลิศวรสิริกุล, Ph.D. 104 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดแช่อิ่มอบแห้งและหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (ANN) งานวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการสำรวจตลาดผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง ผลการสำรวจพบว่าผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งจากจังหวัดอ่างทองมีคะแนนความชอบสูงสุด เมื่อพิจารณาค่าความพอดี พบว่าผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งจากจังหวัดอ่างทองมีคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรสมะกรูด และความแข็งอยู่ในระดับพอดี ส่วนค่าความสว่าง พบว่า มีสีเข้มมากเกินไป และค่าความหวาน พบว่า มีความหวานมากเกินไป นำมะกรูดแช่อิ่มอบแห้งจากจังหวัดอ่างทองมาวัดค่าคุณลักษณะทางด้านความชื้น water activity (a_w) ความสว่าง และความแข็งเพื่อกำหนดเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งต้นแบบที่ต้องการพัฒนามีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 12%-18% ค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.60-0.75 ค่าความสว่างมากกว่า 30 และความแข็งอยู่ระหว่าง 0.2-0.4 ส่วนเรื่องความหวานในงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์มีความหวานน้อย กระบวนการแช่อิ่มอบแห้งนั้นประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการแช่อิ่ม และขั้นตอนการอบแห้ง สำหรับขั้นตอนการแช่อิ่มได้ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดกับเวลา (ชั่วโมง) สมการที่ได้ คือ สมการลอการิทึมที่มีค่า MSE เท่ากับ 2.4621 และมีค่าสหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9677 จากสมการดังกล่าวสามารถทราบถึงเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่ทำให้ได้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในตัวผลิตภัณฑ์ตามต้องการเพื่อใช้เป็นตัวแปรนำเข้าตัวหนึ่งในการศึกษาขั้นตอนการอบแห้ง โดยตัวแปรนำเข้าในขั้นตอนการอบแห้ง ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดแช่อิ่ม (45, 50, 55, 60 %) อุณหภูมิ (45, 50, 55, 60 องศาเซลเซียส) และเวลา (2, 4, 6, 8 ชั่วโมง) ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง ANN และแบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยในการทำนายค่าปริมาณความชื้น ค่า a_w ความสว่าง และความแข็ง เลือกแบบจำลองที่เหมาะสมโดยพิจารณาค่า MSE และ r จากการศึกษา พบว่า แบบจำลอง ANN มีค่า MSE ต่ำกว่า แต่มีค่าสหสัมพันธ์สูงกว่าแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย ดังนั้นแบบจำลอง ANN จึงเป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมในการทำนายคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง เมื่อใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งมีคุณลักษณะต่างๆ ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ คือ ที่ปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 50 อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณร้อยละความชื้น a_w ความสว่าง และความแข็งเท่ากับ 15.16% 0.70 40 และ 0.36 นิวตัน ตามลำดับ จากการทดสอบผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวม ในระดับชอบปานกลาง และให้การยอมรับร้อยละ 88.0

Rapeeporn Talabmai 2008: Process Development of Leech Lime Osmotic Dehydration by Artificial Neural Network. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Assistant Professor Saowanee Lertworasirikul, Ph.D. 104 pages

The objective of this research was to develop the process of leech lime osmotic dehydration and find the optimal process condition by applying Artificial neural network (ANN). The research started with a consumer survey to determine the preference of osmotic dehydrated leech lime from several sources. The results showed that consumers preferred the product from Angthong province. From Just About Right score, the characteristic of hardness was moderate but the appearance lightness and sweetness were quite too strong. The characteristic of flavor was quite too weak. The moisture content, water activity (a_w), lightness and hardness of the product from Angthong were measured and then used as product profiles for the process development. Therefore the product specifications of this research were moisture content of 12%-18%, a_w of 0.60-0.75, lightness (L) more than 30 and hardness of 0.2-0.4 N. For sweet taste, the product with low sweetness was developed in this research. The process of leech lime osmotic dehydration was composed of two steps: immersion process of leech lime in an osmotic solution and drying process of osmotic leech lime. For the immersion step, a standard curve between %total soluble solid (TSS) and immersion time was constructed and a fitting equation was determined. The fitting equation was a logarithmic equation with the correlation coefficient (r) of 0.9677. This equation could be used to find an immersion time to reach a specified %TSS, which was used as an input variable in the drying step. For the drying step, back-propagation ANNs and regression models were used to predict a moisture content, a_w , hardness and L of osmotic dehydrated leech lime from drying process based on three input variables; time (2, 4, 6, 8 hours), temperature (45, 50, 55, 60 °C) and %TSS (45, 50, 55, 60). The performance measures for selection of the best model were mean squared error (MSE) and correlation coefficient (r). From the results, ANN had a lower MSE and a higher r than the regression model for each product characteristic. Therefore, the ANN was an appropriate model for predicting characteristics of osmotic dehydrated leech lime. Using the best ANNs, a contour plot for each characteristic was constructed and overlapped to find the optimal process condition with 50%TSS. The optimal process condition during drying process was 2 hours and 60 °C which gave moisture content, water activity, L and hardness of 15.16% 0.70 40 0.36 N, respectively. According to a consumer test, the overall liking was moderate and 88% of consumers accepted the product.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวณีย์ เลิศวรสิริกุล ประธาน
กรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำชี้แนะแนวทางการวางแผนวิจัยตลอดจนตรวจแก้ไขในวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล วุฒิจำนงค์ กรรมการที่ปรึกษา
วิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุตินา ไวศรายุทธ์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ ที่กรุณาให้คำปรึกษา
ในระหว่างการทำงานวิจัย และ ดร.ศศิธร ตรงจิตภักดี ผู้แทนจากบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้
คำแนะนำเพิ่มเติม เพื่อความสมบูรณ์แห่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่อำนวยความสะดวก
ในการปฏิบัติงาน คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความอนุเคราะห์ในด้านต่าง ๆ จนงานสำเร็จ
อย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุน ดูแล และเป็นกำลังใจในยามท้อแท้ และ
เพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือเกื้อกูล และให้กำลังใจเสมอมา ขอบขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ที่ให้ความร่วมมือ และเป็นแรงใจที่น่ารัก ตลอดจนผู้มีพระคุณที่มีได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ทุก
ท่าน สำหรับความรัก ความห่วงใย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ความดีใด ๆ อันเนื่องมาจากการใช้ประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอ
มอบให้แก่ครูบาอาจารย์ และท่านผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าขอน้อมรับ
ไว้แต่เพียงผู้เดียว

รพีพร ตลับใหม่

มีนาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	46
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	74
ภาคผนวก	81
ภาคผนวก ก	82
ภาคผนวก ข	84
ภาคผนวก ค	89
ภาคผนวก ง	92
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	104

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทมนุษย์กับเซลล์ประสาทเทียม	24
2	สิ่งทดลองสำหรับการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียม	43
3	ข้อมูลการสำรวจตลาดผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง	46
4	คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากแหล่งต่างๆ	47
5	คะแนนค่าความพอดีของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากแหล่งต่างๆ	48
6	ค่าคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	49
7	ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งที่ต้องการพัฒนา	50
8	สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลในเนื้อกับเวลา	51
9	ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการฝึกฝน เครือข่ายประสาทเทียมแบบที่ใช้ปริมาณร้อยละความชื้นเป็นข้อมูลออก	53
10	ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการฝึกฝน เครือข่ายประสาทเทียม แบบที่ใช้ water activity เป็นข้อมูลออก	56
11	ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการฝึกฝน เครือข่ายประสาทเทียม แบบที่ใช้ความสว่างเป็นข้อมูลออก	58
12	ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการฝึกฝน เครือข่ายประสาทเทียม แบบที่ใช้ความแข็งเป็นข้อมูลออก	60
13	ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการวิเคราะห์การ ถดถอยในแต่ละคุณลักษณะ	62
14	ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการทดสอบ สมการ การวิเคราะห์การถดถอยในแต่ละคุณลักษณะ	62
15	คะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งที่มีสภาวะการอบแห้ง ต่างๆ	66
16	ค่าคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง	67
17	ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
18	คะแนนความยอมรับผลิตภัณฑ์คุณลักษณะด้านต่างๆ	69
19	การยอมรับและความสนใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง	69
ตารางผนวกที่		
ข1	ค่าไคสแควร์ของการให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)	88
ค1	สภาวะการทดสอบเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความชื้นเป็นข้อมูลนำออก	90
ค2	สภาวะการทดสอบเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ค่า water activity เป็นข้อมูลนำออก	90
ค3	สภาวะการทดสอบเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความสว่างเป็นข้อมูลนำออก	91
ค4	สภาวะการทดสอบเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความแข็งเป็นข้อมูลนำออก	91
ง1	ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายใยประสาทเทียมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความชื้นเป็นข้อมูลนำออก	93
ง2	ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายใยประสาทเทียมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ water activity เป็นข้อมูลนำออก	98
ง3	ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายใยประสาทเทียมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความสว่างเป็นข้อมูลนำออก	99
ง4	ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายใยประสาทเทียมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความแข็งเป็นข้อมูลนำออก	100

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์กับสารละลายออสโมซิสระหว่างการออสโมซิส	9
2	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและน้ำตาลของชิ้นผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส	10
3	ส่วนประกอบของระบบประสาทมนุษย์	23
4	แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับระบบในสมองมนุษย์	24
5	โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม	26
6	Log-Sigmoid Transfer Function	27
7	Tangent Sigmoid Transfer Function	27
8	Linear Transfer Function	28
9	ลักษณะการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation	31
10	โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่แข็ง	42
11	ผลมะกรูดก่อนตัดแต่ง และหลังตัดแต่ง	50
12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลในเนื้อมะกรูดกับเวลาในรูปแบบต่างๆ	51
13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลในเนื้อมะกรูดกับเวลาจากสมการลอการิทึม	52
14	กราฟเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายจากสมการลอการิทึม	52
15	โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับทำนายปริมาณร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่แข็งอบแห้ง	54
16	กราฟเปรียบเทียบค่าปริมาณร้อยละความชื้นที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายจากเครือข่ายประสาทเทียม	55
17	โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับทำนาย water activity ของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่แข็งอบแห้ง	56
18	กราฟเปรียบเทียบค่า water activity ที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายจากเครือข่ายประสาทเทียม	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	โครงสร้างเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความสว่างของ ผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง	58
20	กราฟเปรียบเทียบค่าความสว่างที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายจากเครือข่ายใย ประสาทเทียม	59
21	โครงสร้างเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความแข็งของ ผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง	60
22	กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็งที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายจากเครือข่ายใย ประสาทเทียม	61
23	แผนภาพ contour ของคุณลักษณะต่างๆที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 45	64
24	แผนภาพ contour ของคุณลักษณะต่างๆที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 45	65
25	สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมะกรูดเชื่อมที่มีปริมาณร้อยละของของแข็ง เท่ากับ 50	65

การพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดเชื่อมอบแห้งด้วยเทคนิคเครือข่ายประสาทเทียม

Process Development of Leech Lime Osmotic Dehydration by Artificial Neural Network

คำนำ

มะกรูด มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus hystrix* DC. อยู่ในวงศ์ RUTACEAE เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก ประโยชน์ทางยาของมะกรูดนั้น กรมส่งเสริมการเกษตรได้ให้ข้อมูลว่า ส่วนที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบทางยาสมุนไพร คือ ผิวมะกรูด ผล ราก น้ำมะกรูด และใบ ผิวผลสดและผลแห้งมีรสเปรี้ยว หอมร้อน สรรพคุณแก้ลมหน้ามืด แก้ลมวิงเวียน บำรุงหัวใจ ขับลมในลำไส้ ขับระดู ขับผายลม ผลมีรสเปรี้ยว มีสรรพคุณเป็นยาขับเสมหะ แก้ไอ แก้น้ำลายเหนียว ฟอกโลหิต ใช้สระผม จะทำให้ผมดกดำเป็นเงางามไม่มีรังแค และไม่คันศีรษะ นอกจากนี้ยังใช้เป็นยาขับลม แก้ปวดท้องในเด็ก รากของมะกรูดจะมีรสเย็นจืด แก้ไข้ แก้หวัด แก้กำเดา แก้พิษฝีภายใน แก้เสมหะเป็นพิษ ประชุมสมกับยาตัวอื่น เป็นยาแก้ลมจุกเสียด ถอนพิษผิดสำแดง (สุกัญญา, 2549) อย่างไรก็ตามการนำผลมะกรูดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับบริโภคในรูปแบบต่างๆ ยังมีไม่มากนัก และรสชาติขมของมะกรูดทำให้ผู้บริโภคไม่นิยมนำมารับประทาน การนำมะกรูดมาแปรรูปจะสามารถทำให้มะกรูดเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น การเชื่อมอบแห้งเป็นอีกหนทางหนึ่งของการแปรรูปอาหารให้เกิดประโยชน์ดังกล่าวข้างต้น

การผลิตผลไม้เชื่อมอบแห้งอาศัยหลักการของการทำให้น้ำตาลในรูปของน้ำเชื่อมค่อยๆ ซึมเข้าไปในเนื้อของผลไม้ เพื่อดึงน้ำออกจากผลไม้ จากนั้นจึงนำไปอบแห้งต่อไป การทำผลไม้เชื่อมอบแห้งรับประทานกันในครัวเรือน หรือการทำเพื่อจำหน่ายกันในชุมชนนั้นมีมานานแล้ว แต่มักเป็นการทำที่อาศัยความชำนาญเฉพาะตัว กว่าจะทำให้ฝีมือคงที่ต้องผ่านการทำหลายๆ ครั้ง เพราะมักจะไม่มีความสม่ำเสมอในการทำตายตัว ต้องอาศัยการสังเกตและการประมาณทำให้คุณภาพต่างกันไปในแต่ละครั้งที่ทำ

เครือข่ายประสาทเทียม หรือ Artificial Neural Network (ANN) เป็นแบบจำลองที่จำลองการทำงานของสมองมนุษย์ โดยเรียนรู้เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมาแล้วจัดจำรูปแบบการตอบสนอง เพื่อใช้ในการทำนายผลของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นต่อไป โดยไม่จำเป็นต้องมีนิยามที่เด่นชัดเหมือน

ปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ทั่วไป ไม่ต้องทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรในปัญหา ทำให้ ANN สามารถแก้ไขปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากๆ ได้ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเทคนิคการสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) มาประยุกต์ใช้ในการศึกษากระบวนการผลิตมะกูดแช่อิ่มอบแห้ง โดยทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำตาลในเนื้อมะกูดแช่อิ่มก่อนการอบแห้ง อุณหภูมิในการอบแห้ง และเวลาในการอบแห้ง ที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในด้านเนื้อสัมผัส ความสว่าง ปริมาณน้ำตาล ความชื้น และค่า water activity (a_w)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดแช่อิ่มอบแห้งให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) และการวิเคราะห์สมการการถดถอย (Regression analysis) ในการทำนายคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งในด้านปริมาณร้อยละความชื้น ค่า water activity (a_w) ความสว่าง และความแข็ง
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) กับแบบจำลองการวิเคราะห์สมการการถดถอย (Regression analysis) ในการทำนายคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งในด้านปริมาณร้อยละความชื้น ค่า water activity (a_w) ความสว่าง และความแข็ง
4. เพื่อหาสภาวะการผลิตมะกรูดแช่อิ่มอบแห้งที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

การตรวจเอกสาร

1. มะกรูด

มะกรูด มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus hystrix* DC. อยู่ในวงศ์ RUTACEAE เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก แตกกิ่งก้าน ลำต้นและกิ่งมีหนามแข็ง ใบ เป็นใบประกอบที่มีใบย่อยใบเดียว สีเขียวหนา มีลักษณะคอดกึ่งที่กลางใบเป็นตอนๆ มีก้านแผ่ออกใหญ่เท่ากับแผ่นใบ ทำให้เห็นใบเป็น 2 ตอน ใบสีเขียวแก่ค่อนข้างหนา มีกลิ่นหอมมากเพราะมีต่อมน้ำมันอยู่ ดอก ออกเป็นกระจุก 3 – 5 ดอก กลีบดอกสีขาว ร่วงง่าย ผล มีหลายแบบแล้วแต่พันธุ์ (ผลเล็กเท่ามะนาว ผิวขรุขระน้อยกว่าและไม่มีจุดที่หัว) การเพาะปลูกมะกรูดสามารถพบในพื้นที่ทุกภาคของประเทศไทย เจริญเติบโตได้ดีในดินเกือบทุกชนิด แต่ชอบดินโปร่งร่วนซุยมีอินทรีย์วัตถุสูงและระบายน้ำได้ดี ประโยชน์ทางยาของมะกรูดนั้น กรมส่งเสริมการเกษตรได้ให้ข้อมูลว่า ส่วนที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบทางยาสมุนไพร คือ ผิวมะกรูด ผล ราก น้ำมะกรูด และใบ ผิวผลสดและผลแห้งมีรสเปรี้ยว หอมร้อน สรรพคุณแก้ลม หน้ามืด แก้ลมวิงเวียน บำรุงหัวใจ ขับลมในลำไส้ ขับระดู ขับผายลม (สุกัญญา, 2549) ผลของมะกรูด มีรสเปรี้ยว มีสรรพคุณเป็นยาขับเสมหะ บำรุง ปอดโลหิตระดู แก้เลือดออกตามไรฟัน (เชาวน์, 2522) นอกจากนี้ยังพบว่าผลของมะกรูดสามารถ กระตุ้นการเจริญอาหาร แก้ปวดศีรษะ แก้สะอึก (เทพนม, 2533)

2. ผลไม้แช่อิ่ม

การนำผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูป จะช่วยป้องกันการล้นตลาดของผลผลิต ซึ่งจะช่วยรักษาระดับราคาผลผลิตไม่ให้ตกต่ำ ปัจจุบันการใช้ผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูปเป็นที่ยอมรับมาก สามารถขยายตลาดการค้าไปทั้งภายในและภายนอกประเทศได้ ช่วยเพิ่มพูนรายได้ให้กับเกษตรกรและประเทศชาติได้เป็นอย่างดี การนำผลไม้มาแช่อิ่มเป็นอีกหนทางหนึ่งของการแปรรูปอาหารให้เกิดประโยชน์

ผลไม้แช่อิ่ม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้สดหรือผลไม้ดองมาตัดแต่ง เช่น ปอกเปลือก ควั่นเมล็ด ล้างยาง ผ่าเป็นชิ้น แกะสลักลวดลาย อาจนำไปแช่น้ำปูนใสหรือสารช่วยทำให้กรอบ อาจต้มก่อนนำไปแช่อิ่มในน้ำเชื่อมด้วยกรรมวิธีการแช่อิ่มแบบช้าหรือเร็วก็ได้จนอิมตัว อาจผสมส่วนประกอบอื่น เช่น เกลือ กรดซิตริก ลงน้ำเชื่อมก็ได้ (มพช.๑๖๑/๒๕๔๖)

การแช่ส้ม เป็นการถนอมอาหารโดยใช้น้ำตาลเป็นเครื่องช่วยรักษาอายุของอาหารผักและผลไม้ให้เก็บไว้ได้นานมากขึ้น ลักษณะการทำต้องค่อยๆ เพิ่มน้ำตาลทีละน้อย จนกระทั่งผักและผลไม้เน่าๆ อิ่มตัว ทำให้ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

การเตรียมผลไม้แช่ส้ม ต้องเลือกผลไม้ที่เกือบสุก มีเนื้อแน่นแข็ง ไม่นุ่มเน่าเสียและอยู่ในกลางฤดูของผลไม้ ซึ่งจะช่วยให้วัตถุดิบถูกและมีปริมาณมากพอที่จะทำการแปรรูปได้ ผลไม้ที่ผ่านการคัดเลือกควรล้างน้ำให้สะอาด เพื่อขจัด ดิน ทราย แล้วแช่น้ำปูนใสเข้มข้นร้อยละ 2 เพื่อให้เนื้อผลไม้กรอบ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2549)

2.1 ขั้นตอนการแช่ส้ม ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.1 การแช่ในสารละลายออสโมซิส

การแช่ในสารละลายออสโมซิสเป็นขั้นตอนที่นำผลไม้ที่ต้องการอบแห้งมาแช่ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำตาลภายนอกสูงกว่าความเข้มข้นของน้ำตาลภายในผลไม้ และปริมาณน้ำในผลไม้มีเปอร์เซ็นต์มากกว่าภายนอก เมื่อนำผลไม้มาแช่ลงในน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงนี้ น้ำจากผลไม้จะเคลื่อนที่มาสู่สารละลายน้ำตาลผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Semi-permeable membrane) เรียกว่า กระบวนการ Osmotic Dehydration เป็นผลทำให้ปริมาณน้ำภายในผลไม้ลดลงจากเดิมหรือความชื้นลดลง มีความแห้งมากขึ้น น้ำตาลจากภายนอกอาจจะเข้าไปในผลไม้บ้าง แต่ก็เป็นไปได้อย่างช้าๆ โดยปกติจะสามารถทำให้น้ำหนักของผลไม้ลดลงมากกว่า 50% ของน้ำหนักผลไม้ก่อนแช่ การแช่ส้มผลไม้มีอยู่ 2 วิธี (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2549) คือ

ก. การทำผลไม้แช่ส้มแบบเร็ว วิธีนี้จะเตรียมน้ำเชื่อมปรุงรส ให้มีความหวานเริ่มต้นที่ น้ำตาลร้อยละ 30 ของน้ำหนัก น้ำเชื่อม แล้วเคี่ยวผลไม้ในน้ำเชื่อมดังกล่าวโดยใช้ไฟอ่อนๆ หรือความร้อนไม่สูงประมาณ 100 - 105 องศาเซลเซียส เคี่ยวจนน้ำเชื่อมงวด และได้ความหวานของน้ำเชื่อมประมาณ ร้อยละ 50 - 65 ของน้ำหนักน้ำเชื่อม การทำผลไม้แช่ส้มแบบเร็วนี้ จะใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง ในการเคี่ยวน้ำเชื่อมจนงวดและเนื้อผลไม้มีความหวานใกล้เคียงกับน้ำเชื่อม การใช้อุณหภูมิในการเคี่ยวที่สูงเกินไปจะทำให้ น้ำเชื่อมมีสีคล้ำและมีกลิ่นน้ำตาลไหม้ อีกทั้งทำให้เนื้อผลไม้นุ่มและ ดังนั้น วิธีนี้ไม่เหมาะกับผลไม้ที่มีเนื้อนุ่มและละเอียดง่าย

ข. การทำผลไม้แช่อิ่มแบบซ้า เป็นวิธีการที่แช่ผลไม้ที่เตรียมไว้แล้วในน้ำเชื่อม โดยจะเริ่มต้มน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลร้อยละ 30 นาน ประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเชื่อมทุกวัน เป็นน้ำตาลร้อยละ 40, 50, 60 และ 65 ของน้ำหนักน้ำเชื่อม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหวานเริ่มต้นของผลไม้แต่ละชนิดและความหวานของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ และควรเติมกรดซิตริก ลงไปร้อยละ 0.1 เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำตาลตกผลึก การแช่อิ่มผลไม้ด้วยวิธีนี้ใช้เวลานานจึงต้องรักษาความสะอาด และคั้นน้ำเชื่อมทุกวันเพื่อไม่ให้เกิดกลิ่นหมักหรือเหม็นเปรี้ยว นอกจากนี้การแช่อิ่มด้วยวิธีนี้ จะทำให้ผลไม้ไม่หดตัวมากนัก

ผลไม้แช่อิ่มที่ได้จากทั้งสองวิธี เมื่อนำขึ้นจากน้ำเชื่อม และทิ้งให้สะเด็ดน้ำเชื่อมแล้ว จะเป็นผลไม้แช่อิ่มแบบเปียก ซึ่งหากนำผลไม้แช่อิ่มนี้ไปอบให้แห้งก็จะเป็นผลไม้แช่อิ่มอบแห้ง ซึ่งจะมี 2 ลักษณะ คือ ผลไม้เคลือบน้ำตาลอบแห้ง ผลไม้อบแห้งที่ไม่เคลือบน้ำตาล ซึ่งได้จากการนำผลไม้แช่อิ่ม ที่สะเด็ดน้ำเชื่อมแล้ว มาล้างน้ำเชื่อมที่ผิวออกก่อนนำไปอบแห้ง

2.1.2 การอบแห้ง (Drying)

หลังจากผ่านขั้นตอนการแช่ในสารละลายออสโมซิสมาแล้ว น้ำหนักของผลไม้จะลดลงส่วนหนึ่ง (ปริมาณน้ำออกจากผลไม้ทำให้น้ำหนักลดลง) ต่อมาจะนำผลไม้มาอบให้แห้งมากขึ้น จนสามารถเก็บรักษาได้ในขั้นที่ปลอดภัย การอบแห้งในขั้นตอนนี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตากลม (air drying) การตากแดด (sun drying) การอบด้วยสุญญากาศ (vacuum drying) เป็นต้น การแช่อิ่มผลไม้ทำให้อย่างไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานมาก และลดเวลาในการอบแห้งลงได้มาก

การบรรจุผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มแห้ง หรือแช่อิ่มเคลือบน้ำตาลอบแห้งจะต้องแห้งและบรรจุในภาชนะที่ไม่ให้ความชื้นซึมผ่านเข้าไป เช่น บรรจุกระป๋อง เพราะถ้าความชื้นซึมผ่านเข้าไปได้ก็ จะทำให้มีเชื้อราเกิดขึ้น ตัวอย่างของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุผลไม้แช่อิ่มแห้งหรือแช่อิ่มเคลือบน้ำตาลอบแห้ง ได้แก่ โพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน ซึ่งมีความหนาเท่ากับ 0.03 มิลลิเมตร (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2549)

ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มแห้งหรือเคลือบน้ำตาลอบแห้ง จะมีแมลงมาปนเปื้อนได้ แม้ว่าจะทำให้แห้ง และเก็บไว้อย่างเหมาะสม แมลงไม่ใช่แค่จะกัดกินผลิตภัณฑ์ แต่ยังทิ้งของเสียไว้ทำให้

ลักษณะปรากฏที่ดีของผลิตภัณฑ์สูญเสียไป เพื่อหลีกเลี่ยงจากการทำลายของแมลง ควรจะต้องสร้างที่เก็บเพื่อป้องกันแมลงปีกแข็ง และพวกมอด วิธีที่ดีที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงการโจมตีของแมลงก็คือใช้ความร้อน โดยการจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในน้ำเดือด ในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตแล้วทำการตากแห้ง ซึ่งจะทำให้แมลงถูกทำลายอย่างสิ้นเชิง

การส่งออกผลไม้เชื่อมแช่อิ่มและกวนของไทยในแต่ละปีมีมูลค่าคิดเป็นร้อยละ 5 ของการส่งออกผลไม้และผลิตภัณฑ์แปรรูป (สถาบันอาหาร, 2544) ในช่วงที่ผ่านมามีการส่งออกผลไม้เชื่อมแช่อิ่มและกวนของไทยค่อนข้างมีความผันผวน เนื่องจากเป็นช่วงที่เริ่มทดลองตลาด ปริมาณความต้องการบริโภคจึงยังไม่แน่นอน นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ผลไม้เชื่อม แช่อิ่มและกวนที่มีการส่งออกของไทยยังไม่มีหลากหลายเนื่องจากรสชาติ คุณภาพ และบรรจุภัณฑ์ ยังไม่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค

การส่งออกผลไม้เชื่อม แช่อิ่มและกวนของไทยในช่วงไตรมาสแรกปี 2544 มีอัตราการส่งออกเพิ่มขึ้นจากปี 2543 ทั้งปริมาณและมูลค่าในทุกผลิตภัณฑ์ ปริมาณการส่งออกอยู่ที่ 5,810 ตัน มูลค่ารวม 324 ล้านบาท คิดเป็นอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 และ 16 ตามลำดับ เนื่องจากผู้บริโภคเริ่มคุ้นเคยและในปี 2543 มีการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์สินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์แปรรูปในต่างประเทศรวมทั้งการทดลองตลาดมากยิ่งขึ้นจนทำให้ผู้บริโภคเริ่มยอมรับผลิตภัณฑ์จากไทยมากยิ่งขึ้น ประกอบกับการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคอยู่ตลอดเวลาที่มีแนวโน้มการนำเข้าจากไทยเพิ่มขึ้น ได้แก่ สหรัฐอเมริกา เนเธอร์แลนด์ สหราชอาณาจักร เยอรมนี ญี่ปุ่น และแคนาดา (สถาบันอาหาร, 2544)

3. การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส

การทำแห้งผลไม้โดยวิธีออสโมซิส (Osmotic dehydration) หรือที่รู้จักกันว่าการแช่อิ่มนั้นเป็นขั้นตอนหนึ่งในการดองน้ำบางส่วนออกจากผลไม้โดยอาศัยกระบวนการออสโมซิส (Osmosis) ก่อนที่จะนำไปทำแห้งโดยวิธีการอื่น ในระหว่างกระบวนการทำแห้งผลไม้โดยวิธีออสโมซิสนั้นจะมีถ่ายเทมวลสารของน้ำและสารละลายออสโมซิส โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากผลิตภัณฑ์ผ่านผนังเซลล์ไปยังสารละลายออสโมซิสภายนอก ในขณะที่สารละลายออสโมซิสจะถ่ายเทจากสารละลายผ่านผนังเซลล์เข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ (Lazarides, 2001)

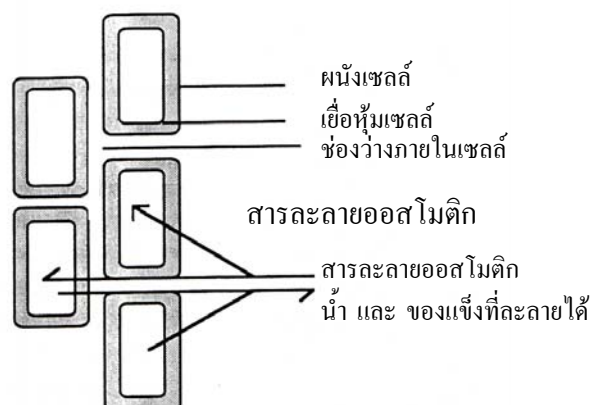
การทำแห้งผลไม้โดยวิธีออสโมซิส เป็นการทำให้มีการทำลายคุณภาพความสดของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด โดยการผ่านกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิที่ต่ำ ซึ่งจะไม่เกิดผลกระทบต่อลักษณะการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการรักษาปรากฏการณ์การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส (Lazarides, 2001)

นอกจากนี้ในกระบวนการทำให้แห้งโดยวิธีออสโมซิสนั้น น้ำจะถูกนำออกจากตัวผลิตภัณฑ์ในรูปของของเหลว ไม่ใช่ในรูปของไอน้ำ ทำให้การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสสามารถรักษาความเสถียรของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ โดยพบว่า ทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส ใช้พลังงานน้อยกว่าการทำแห้งโดยการพาความร้อน 2-3 เท่า (Lenart and Lewicki, 1988)

ในระหว่างที่ผลิตภัณฑ์จมอยู่ในสารละลายออสโมซิส เนื้อเยื่อของพืชจะไม่ได้รับออกซิเจน ดังนั้น การทำให้แห้งโดยวิธีออสโมซิสจึงไม่จำเป็นต้องใช้สาร Antioxidant ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Ponting *et al.*, 1966; Ponting, 1973; Dixon *et al.*, 1976)

3.1 หลักการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส

การทำแห้งผลไม้โดยวิธีออสโมซิส เป็นกระบวนการดึงน้ำออกจากผลไม้โดยการแช่ผลไม้ลงในสารละลายที่มีค่าแรงดันสูงและมีค่า water activity (a_w) ต่ำกว่า ซึ่งจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างผลไม้และสารละลายภายนอก โดยที่เยื่อหุ้มเซลล์ของผลไม้จะทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semi permeable membrane) กั้นอยู่ระหว่างสารละลายที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากัน ในกระบวนการออสโมซิสจะมีแรงดัน ซึ่งเรียกว่า แรงดันออสโมติก (osmotic pressure) เป็นแรงดันที่เกิดจากความแตกต่างของความดันไอของสารละลายทั้งสอง แรงดันออสโมติกนี้เป็นแรงขับ (Driving force) ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสาร ดังนั้นกระบวนการออสโมซิสจึงเป็นกระบวนการที่มีทั้งการถ่ายเทมวลของน้ำและตัวถูกละลายในเวลาเดียวกัน โดยในระหว่างกระบวนการออสโมซิส จะมีการเคลื่อนที่สวนทางกันของน้ำและสารละลายออสโมซิส โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากผลิตภัณฑ์ผ่านผนังเซลล์ไปยังสารละลายออสโมซิสภายนอก ในขณะที่สารละลายออสโมซิสจะถ่ายเทจากสารละลายผ่านผนังเซลล์เข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ ดังภาพที่ 1 นอกจากนี้ยังมีกระบวนการถ่ายเทของกรด แร่ธาตุ และวิตามินต่างๆ ผ่านผนังเซลล์ออกสู่สารละลายออสโมซิสด้วยซึ่งจะมีผลต่อคุณค่าทางอาหาร แต่ไม่สามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณได้ (Lazarides, 2001)

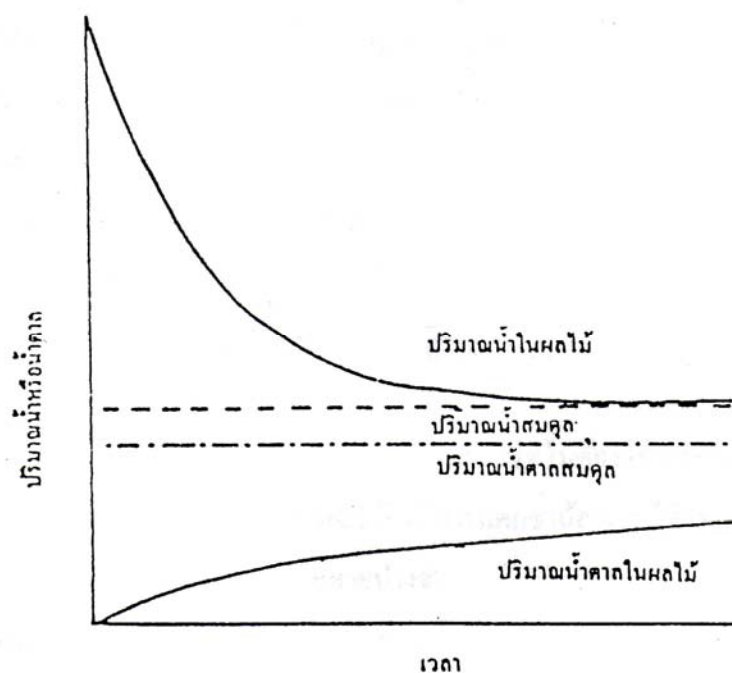


ภาพที่ 1 การแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์กับสารละลาย
ออสโมซิสระหว่างการออสโมซิส

ที่มา: คัดแปลงจาก Lazarides (2001)

ระหว่างการถ่ายเทมวลสารของกระบวนการออสโมซิสนั้น การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านผนังเซลล์ออกจากเซลล์ของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับตัวถูกละลายที่ถ่ายเทเข้าไปในเซลล์ของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส จึงอาศัยความแตกต่างของอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำและตัวถูกละลาย ในการควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องการดึงออกและปริมาณตัวถูกละลายที่เพิ่มขึ้นในตัวผลิตภัณฑ์ (Islam and Flink, 1982; Lerici *et al.*, 1985; Raoult *et al.*, 1989; Rahman and Lamb, 1990; Raoult-Wack, 1994)

ในระหว่างกระบวนการออสโมซิสนั้น การถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นจะดำเนินไปจนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล (Equilibrium) ของมวลสารระหว่างน้ำและตัวถูกละลายในผลิตภัณฑ์ และสารละลายออสโมซิส ที่สภาวะสมดุลนี้อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำและตัวถูกละลายจะมีค่าคงที่ มีผลทำให้ปริมาณน้ำและตัวถูกละลายในตัวผลิตภัณฑ์ และในสารละลายออสโมซิสมีค่าคงที่ด้วย (ไพบุลย์, 2532) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและน้ำตาลของชิ้นผลไม้ในระหว่างการออสโมซิส
ที่มา : ไพนุลย์ (2532)

3.2 ชนิดของการทำแห้งแบบออสโมซิส

การทำแห้งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การออสโมซิสในระบบแห้ง (Dry solution) และการออสโมซิสในระบบสารละลาย (Solution system) (Ponting *et al.*, 1966)

3.2.1 การออสโมซิสในระบบแห้ง (Dry solution)

การออสโมซิสในระบบแห้งเป็นการดึงน้ำบางส่วนในผลิตภัณฑ์ออก โดยการออสโมซิสใน Osmotic medium ที่แห้ง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้น้ำตาล โดยการโรยน้ำตาลสลับกันเป็นชั้นๆ กับชิ้นของผลไม้ วิธีการออสโมซิสในระบบแห้งจะมีอัตราการถ่ายเทมวลสารต่ำกว่าการออสโมซิสในระบบสารละลายและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะไม่ดี เนื่องจากถูกผลึกน้ำตาลกดทับทำให้ผิวผลไม้บอบช้ำจึงมักไม่ค่อยนิยม การออสโมซิสวิธีนี้มีวิธีการทำที่แตกต่างกันหลายวิธี เช่น การใช้ Osmotic medium อยู่กับที่ (Static treatment) การใช้ Osmotic medium แบบเคลื่อนที่ (tumbling and mixing) และการใช้ Osmotic medium ร่วมกับการให้ความร้อนในฟลูอิดไคซ์เบด

ก. การใช้ Osmotic medium อยู่กับที่ (Static treatment) เป็นวิธีที่ผลไม้และ Osmotic medium จะอยู่กับที่ตลอดเวลา ขึ้นผลไม้จึงมีการแตกซึ้นน้อยกว่าวิธีอื่น แต่ผิวของขึ้นผลไม้บางชนิดที่มีผิวอ่อนนุ่ม เช่น ถั่วลิสง จะเสียหายบ้างจากการถูกกดทับของน้ำตาล หลังจากทำการออสโมซิสจนน้ำหนักผลไม้ลดลงประมาณร้อยละ 50 แล้วจึงแยกขึ้นผลไม้ออกจาก Osmotic medium ซึ่งกลายเป็นสารละลาย จากนั้นนำผลไม้ไปล้าง Osmotic medium ที่เคลือบผิวออก แล้วนำไปทำแห้งด้วยวิธีการอื่นต่อไป

ข. การใช้ Osmotic medium แบบเคลื่อนที่ เป็นวิธีการที่ต้องอาศัยการคนหรือคลุกเคล้าขึ้นผลไม้กับ Osmotic medium ระหว่างการออสโมซิส อัตราการถ่ายเทมวลสารจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการคนหรือทำให้ขึ้นผลไม้เคลื่อนที่ใน Osmotic medium แต่เมื่อผลไม้อยู่กับที่ขณะออสโมซิส ปริมาณน้ำในขึ้นผลไม้ที่ถูกขับออกมาภายนอก จะทำให้บริเวณรอบๆ ขึ้นผลไม้มีความเข้มข้นของ Osmotic medium ลดลง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลสารลดลง ดังนั้นการคนหรือการคลุกเคล้าขึ้นผลไม้จึงเป็นการกระจายความเข้มข้นภายนอกขึ้นผลไม้ ทำให้ขึ้นผลไม้มีโอกาสสัมผัสกับ Osmotic medium ส่วนอื่นที่มีความเข้มข้นสูงกว่า จึงช่วยให้อัตราการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น การคนจำเป็นต้องคนเบาๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ผลไม้แตกซึ้น

ค. การใช้ Osmotic medium ร่วมกับการให้ความร้อนในฟลูอิดไคซ์เบด เป็นวิธีการออสโมซิสโดยใช้ Osmotic medium ร่วมกับการอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด กล่าวคือ ในขณะที่เกิดการออสโมซิสก็จะมีการทำแห้งร่วมด้วย โดยจะพ่นลมร้อนผ่านทางด้านล่างของอนุภาคของ Osmotic medium กับผลไม้ ซึ่งวิธีนี้ยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากค่าใช้จ่ายสูง แต่มีผลดี คือ ทำได้เร็ว และสามารถผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous) ได้ การออสโมซิสโดยวิธีนี้จะมีข้อเสีย คือ จะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน (caking) ของ Osmotic medium รอบๆ ขึ้นผลไม้

3.2.2 การออสโมซิสในระบบสารละลาย (solution system)

การใช้สารละลายเป็น Osmotic medium เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ในระบบแห้ง และสะดวกที่จะนำสารละลายกลับมาใช้อีก วิธีการออสโมซิสในระบบสารละลายนี้มีหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่

ก. การออสโมซิสในสารละลายที่ไม่มีการเคลื่อนที่ (Static treatment) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ขึ้นผลไม่จะขึ้นอยู่กับเวลาที่กำหนด หรือแม้กระทั่งผลไม่มีความหวานตามต้องการ ซึ่งวิธีนี้สามารถแช่ผลไม่ในสารละลายทิ้งไว้ค้างคืนได้หรือนานกว่านั้น จากนั้นนำขึ้นมาล้างน้ำแล้วนำไปทำแห้งต่อ

ข. การออสโมซิสในสารละลายที่มีการเคลื่อนที่ (Agitation treatment) การออสโมซิสโดยวิธีนี้ จะต้องทำให้สารละลายเคลื่อนที่หรือมีการคน เพื่อให้สารละลายได้ไหลเวียน ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารสูงกว่าสารละลายที่ไม่มีการเคลื่อนที่ การออสโมซิสในสารละลายนี้ในทางปฏิบัติจะทำได้สะดวกโดยที่ไม่ทำให้ขึ้นผลไม่บอบช้ำ วิธีการทำให้สารละลายเคลื่อนที่ที่สะดวกและมีประสิทธิภาพที่นิยมใช้กันมาก คือ การใช้เครื่องสูบของเหลว (Pump) ทำให้สารละลายไหลเวียนอยู่ในภาชนะ

ค. การออสโมซิสในสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารละลายคงที่ การออสโมซิสโดยวิธีนี้ จะต้องรักษาความเข้มข้นของสารละลายให้คงที่อยู่ตลอดเวลา เพื่อให้อัตราการถ่ายเทมวลดีขึ้นหรือเท่าเดิม โดยการสูบสารละลายในขณะออสโมซิสเข้าไปในถังระเหยน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ (Atmospheric pressure evaporator) ซึ่งจะเป็นตัวระเหยน้ำออกจากสารละลายในอัตราเดียวกันกับน้ำที่ถูกขับออกจากผลไม่ แล้วสูบสารละลายที่ได้ใหม่นี้ลงในถังที่ทำ การออสโมซิสอีก การที่เราสามารถทำให้ความเข้มข้นของสารละลายคงที่โดยการระเหยน้ำออกนี้ เราจึงสามารถที่จะใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นไม่สูงนักในการออสโมซิสได้ ทั้งนี้เพราะถ้าใช้สารละลายโดยที่ไม่มีการระเหยน้ำออกไป ความเข้มข้นของสารละลายจะลดลงจึงต้องใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นสูงๆ Ponting *et al.*, 1966 รายงานว่า อัตราการถ่ายเทมวลสารในสารละลายที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากนักพร้อมกับมีการระเหยน้ำออกจากสารละลายเพื่อรักษาความเข้มข้นให้คงที่อยู่เสมอนั้น เกือบจะเท่ากับการใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงโดยไม่มีการระเหยน้ำออก แต่การใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำจะสะดวกและง่ายกว่า เนื่องจากมีความหนืดต่ำกว่า

3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส

อัตราการถ่ายเทมวลสารในกระบวนการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสจะเกิดได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยและสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิส ดังต่อไปนี้

3.3.1 ลักษณะโครงสร้างตามธรรมชาติของผลไม้

ผลไม้แต่ละชนิดจะมีการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสไม่เหมือนกัน บางชนิดมีอัตราการถ่ายเทมวลสารสูง บางชนิดมีอัตราการถ่ายเทมวลสารต่ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์ จากการศึกษาของ (Lazarides, 2001) พบว่าโครงสร้างของผลไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูพรุนของวัตถุดิบ จะมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปรากฏการณ์การหดตัว (shrinkage) และอัตราการถ่ายเทมวลสาร

Shi and Maupoey (1993) ได้ศึกษาผลของลักษณะโครงสร้างของผลไม้ต่ออัตราการถ่ายเทมวลสาร พบว่า สับปะรดจะมีปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (sugar gain) มากกว่าบ๊วย ที่แช่ในสารละลายซูโครส 65 บริกส์ ทั้งนี้เนื่องจาก ลักษณะโครงสร้างภายในเซลล์สับปะรดจะมีรูพรุน มีค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นโพรง (porosity coefficient) ร้อยละ 8-9 ซึ่งมากกว่าบ๊วยที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นโพรง (porosity coefficient) ร้อยละ 5-6 ดังนั้น ผลไม้ที่มีรูพรุนมากจึงเหมาะที่จะนำมาทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส นอกจากนี้ความแก่อ่อนของผลไม้ก็มีผลต่อการถ่ายเทมวลสารด้วยเช่นกัน โดยผลที่แก่เต็มที่จะมีอัตราการถ่ายเทมวลสารสูงกว่า (อ่อนรวี, 2533)

3.3.2 ขนาดรูปร่างของผลไม้

ขนาดและรูปร่างของผลไม้จะมีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรของผลไม้ (Surface area / Volume) อัตราส่วนที่สูงจะทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารสูงขึ้น ด้วย เนื่องจากผลไม้มีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับสารละลายได้มากขึ้น จากการศึกษาของ Lerici *et al.*, (1985) รายงานว่า รูปร่างและขนาดของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่ออัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร โดยพบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสต่อความหนาจะทำให้การสูญเสียน้ำและการได้รับน้ำตาล (Sugar gain) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษาของ Monsalve-Gonzalez *et al.*, (1993) รายงานว่า การตัดชิ้นแอปเปิ้ลแบบวงแหวนจะมีปริมาณน้ำที่สูญเสีย (water loss) และปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (sugar gain) น้อยกว่า การตัดชิ้นแอปเปิ้ลแบบทรงกระบอก เนื่องจากการหั่นแบบวงแหวนจะมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรเป็น 3.50 ซึ่งน้อยกว่าการหั่นแบบทรงกระบอกซึ่งมีค่าเป็น 5.64

3.3.3 ชนิดของออสโมติกเอเจนต์

ออสโมติกเอเจนต์ที่นิยมนำมาใช้ในการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส คือ น้ำตาล เนื่องจากน้ำตาลจะมีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์ (Enzymatic browning) ได้ และสามารถรวมตัวกับสารให้กลิ่นรสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยไปได้ระหว่างการทำแห้ง (Ponting, 1973; Godshall, 1995) น้ำตาลที่นำมาใช้เป็นออสโมติกเอเจนต์มีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ น้ำตาลซูโครส ซึ่งเป็นสารที่มีค่า a_w ต่ำ ให้แรงดันออสโมติก ให้รสหวานและทำให้เกิดน้ำหนักรวม นอกจากนี้ยังมีราคาถูกกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ (Ravindran, 1989; Clarke and Reiser, 1995)

Lenart and Flink (1984) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสารละลายออสโมติกต่างๆ กัน โดยมีความเข้มข้นของของแข็งคงที่ พบว่า สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลกับเกลือ จะมีผลทำให้ค่า a_w ลดลงมากกว่าสารละลายน้ำตาลเพียงอย่างเดียว

จากการศึกษาผลของการใช้ซูโครส และ high fructose corn syrup (HFCS) เป็นสารละลายออสโมติก ต่อการถ่ายเทมวลสารของ Bolin *et al.*, (1983) พบว่า ผลลัพธ์สุดท้ายที่แช่ใน HFCS จะมีการสูญเสียน้ำ (water loss) มากกว่าที่แช่ในซูโครส เนื่องจาก HFCS เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจะมีแรงดันออสโมติกสูงกว่าน้ำตาลโมเลกุลคู่ ดังนั้น HFCS จึงดึงน้ำออกจากผลไม้ได้มากกว่า ขณะเดียวกัน HFCS ก็สามารถเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปสู่เนื้อผลไม้ได้ดีกว่า จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (sugar gain) สูงกว่าด้วย แต่เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสแล้ว พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการแช่ในซูโครส จะได้รับการยอมรับมากกว่าที่แช่ใน HFCS

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ชนิดของออสโมติกเอเจนต์นั้นจะต้องคำนึงถึงต้นทุนในการผลิต ความหวานที่ต้องการ และประสิทธิภาพในการแพร่กระจาย Nicol (1971) ได้ศึกษาการใช้ HFCS ร่วมกับซูโครส เป็นออสโมติกเอเจนต์ พบว่า การใช้ HFCS ร่วมกับซูโครส จะไปเพิ่มแรงดันออสโมติก ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารสูงขึ้น ส่วน Hawkes and Flink (1978) พบว่าสามารถใช้แลคโตสทดแทนซูโครสบางส่วนได้ทั้งในระบบแห้งและระบบสารละลาย ถึงแม้ว่าแลคโตสจะมีขีดจำกัดในการละลายต่ำ (ประมาณร้อยละ 25) ซึ่งทั้งแลคโตสและมอลโตเดกซ์ทรินนี้มีระดับความหวานต่ำ จึงสามารถใช้เป็นออสโมติกส์เอเจนต์ร่วมกับซูโครสในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

ความหวานน้อยๆ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ชูโครสร่วมกับสารให้ความหวานชนิดอื่นๆ เช่น กลูโคสไซรัป น้ำตาลอินเวอร์ท เป็นต้น กลูโคสไซรัป จะป้องกันไม่ให้ชูโครสตกผลึก และช่วยเพิ่มแรงดันออสโมติกให้แก่สารละลาย ส่วนน้ำตาลอินเวอร์ทนั้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะใส วาว แต่ไม่ควรใช้เกินร้อยละ 25 เพราะถ้าใช้มากเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเหนียว และ ดิบมือ อบไม่แห้ง และจะทำให้เกิดสีน้ำตาลได้ (ณรงค์ และคณะ, 2524)

นอกจากนี้ยังมีการใช้ เกลือ หรือ กรด ร่วมกับชูโครสเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสาร ทั้งนี้เนื่องจากเกลือจะช่วยเพิ่มแรงขับ (Driving force) ของสารละลาย (Lerici *et al.*, 1985; Lenart and Flink, 1984) อีกทั้งเกลียวยังช่วยลด a_w ของผลิตภัณฑ์ ป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Yang and Maguer, 1992) ถึงแม้ว่าการใช้เกลือร่วมกับชูโครสจะให้ผลดีแต่จะต้องใช้ในปริมาณที่พอเหมาะ เนื่องจากถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรสเค็ม ส่วนการใช้กรด เช่น กรดแลคติก กรดซิตริก ร่วมกับชูโครสนั้นจะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลสารได้ เนื่องจากกรดสามารถช่วยป้องกันการเกิดเจล ของสารประกอบเพคติน เช่น ในมะละกอก็มีสารประกอบเพคตินมาก สารนี้เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดเจลขึ้น โดยดึงเอาชูโครสเข้าไปรวมด้วย จึงทำให้อัตราการถ่ายเทมวลลดลง เพราะเจลจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ (Moy *et al.*, 1978)

3.3.4 ความเข้มข้นของสารละลายออสโมซิส

ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้มีความสำคัญ เพราะจะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารและระยะเวลาที่ใช้ในการออสโมซิสรวมไปถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วย อีกทั้งยังมีผลต่อ a_w ของผลิตภัณฑ์ด้วย (Lenart and Flink, 1984) การออสโมซิสในสารละลายจะทำได้ 2 ลักษณะ คือ การแช่ในสารละลายขึ้นตอนเดียว และการแช่ในสารละลายหลายขั้นตอน

ในระหว่างกระบวนการแช่หุ้ม พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมซิส จะทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักที่ลดลง (weight loss) และน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (sugar gain) เพิ่มขึ้น (Hawkes and Flink, 1978; Lenart, 1991) และจากการศึกษาของ Lazarides (1995) พบว่า ในการแช่หุ้มอบแห้งแอปเปิ้ลที่ความเข้มข้นของสารละลายชูโครสสูงๆ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำเร็วขึ้นร้อยละ 30 และทำให้สารละลายชูโครสซึมเข้าสู่ตัวผลิตภัณฑ์มากขึ้นถึงร้อยละ 80 จากผลการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมซิสจะมีผลทำให้การแช่หุ้มใช้เวลาน้อยลง นอกจากนี้ Beristain *et al.*, (1990) ศึกษาผลของ

ระดับความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่ 50 60 และ 70 บริกส์ ต่อการถ่ายเทมวลสารของ สับปะรดรูปวงแหวน ในการออสโมซิสแบบขั้นตอนเดียว พบว่า น้ำหนักที่ลดลง (weight loss) และ น้ำตาลที่เพิ่มขึ้น (sugar gain) จะสูงขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าสารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นสูงจะมีค่าแรงดันออสโมติกสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองในสับปะรด (Ravindran, 1989; Rahman and Lamb, 1990) ในแอปเปิ้ล (Ponting *et al.*, 1966; Farkas and Lazar, 1969; Hawkes and Flink, 1978; Conway and Smyrl, 1981) ในกล้วย (Bongirwar and Screenivasan, 1977) ในมะม่วงและมะละกอ (Moy *et al.*, 1978)

ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ (Ravindran, 1989) ส่วนใหญ่นิยมใช้สารละลายซูโครสที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 50 - 70 บริกส์ (Lerici *et al.*, 1985) Farkas and Lazar (1969) รายงานว่าสารละลายน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการออสโมซิสไม่ควรให้มีความเข้มข้นสูงกว่า 70 บริกส์ เนื่องจากว่าที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้ สารละลายน้ำตาลจะมีความหนืดมากเกินไปทำให้การถ่ายเทมวลลดลง การออสโมซิสใน สารละลายแบบขั้นตอนเดียวนี้จะเกิดปัญหาคือ ถ้าใช้น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสูง จะทำให้ผลไม้ที่ได้ มีลักษณะเหี่ยวแห้งไม่สวยงาม ดังนั้นในการออสโมซิสจึงต้องค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นของ สารละลายน้ำตาล เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ซึ่งเรียกการออสโมซิสแบบนี้ว่า การออสโมซิสแบบหลาย ขั้นตอน Varanyanond and Wongkrajang (1993) รายงานว่าการแช่มะละกอในน้ำเชื่อมเข้มข้น เริ่มต้น 30 บริกส์ สามารถเพิ่มความเข้มข้นวันละ 5 บริกส์ จนถึง 65 บริกส์ มะม่วงซึ่งมีเนื้อแน่นกว่า สามารถใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 40 บริกส์ เพิ่มวันละ 10 บริกส์ ส่วนสับปะรดใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 บริกส์ และเพิ่มวันละ 10 บริกส์ ความเข้มข้นสุดท้ายของน้ำเชื่อมที่ใช้แช่มะม่วงและสับปะรด อาจเป็น 50 – 60 บริกส์ ขึ้นกับความหวานของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ ออสโมซิสในสารละลายแบบหลายขั้นตอนจะมีเนื้อสัมผัสดีและไม่เหี่ยว นอกจากนี้ยังมีความ สม่าเสมอ (วิชัย, 2521) ซึ่งคล้ายกับการทดลองของสุวิช (2530)

3.3.5 อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลาย

การใช้สารละลายออสโมซิสปริมาณมาก จะทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสูงกว่า การใช้สารละลายปริมาณน้อย ๆ เนื่องจากว่า น้ำที่แพร่ออกจากเซลล์ผลไม้ในระหว่างการออสโม ซิสนั้น จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายน้อยมากถ้าใช้สารละลายปริมาณ

มาก ๆ ดังนั้นความแตกต่างของแรงดันออสโมติกของน้ำภายในเซลล์ผลไม้และสารละลายภายนอก จึงยังคงมีค่าสูงอยู่ตลอดเวลา อัตราการถ่ายเทมวลจึงเกิดได้มาก (Lenart and Flink, 1984) แต่เนื่องจากการใช้สารละลายปริมาณมาก ๆ ทำให้เพิ่มค่าใช้จ่าย และยังมีปัญหาด้านการจัดการกับสารละลายหลังการออสโมซิสอีกด้วย (Bolin *et al.*, 1983; Raoult-Wack, 1994) จึงต้องใช้อัตราส่วนของผลไม้ต่อสารละลายให้เหมาะสม เพื่อที่จะดึงน้ำออกให้ได้มาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี รวมทั้งได้ความหวานตามต้องการด้วย จากรายงานวิจัยส่วนใหญ่ นิยมใช้อัตราส่วนผลไม้ต่อสารละลายเป็น 1 ต่อ 4 (Moy *et al.*, 1978; Bolin *et al.*, 1983; Conway and Smyrl, 1981; Levi *et al.*, 1983; Lenart and Flink, 1984; Ravindran, 1989)

3.3.6 การเคลื่อนที่ของสารละลาย

ในขณะที่เกิดการออสโมซิสจะเกิดการสะสมของน้ำที่แพร่ออกมาจากเซลล์รอบ ๆ ขึ้นผลไม้ทำให้สารละลายที่สัมผัสกับผลไม้มีความเข้มข้นลดลง ความแตกต่างของแรงดันออสโมติก จึงลดลง มีผลทำให้อัตราการถ่ายเทมวลลดลงด้วย Ponting *et al.*, (1966) กล่าวว่า การคนหรือการทำให้สารละลายเคลื่อนที่จะช่วยกระจายสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำรอบ ๆ ขึ้นผลไม้ ออกไป ทำให้เกิดการหมุนเวียนของสารละลายส่วนนอกที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ได้มีโอกาสสัมผัสกับขึ้นผลไม้ จึงเป็นการเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวล มีผลทำให้เวลาในการออสโมซิสลดลงได้ การทำให้สารละลายเคลื่อนที่อาจทำได้ 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนที่สารละลายแบบจังหวะ และการเคลื่อนที่สารละลายแบบต่อเนื่อง การเคลื่อนที่สารละลายแบบจังหวะนั้นทำได้โดยการคน ส่วนการเคลื่อนที่สารละลายแบบต่อเนื่อง อาจทำได้โดยการปล่อยให้สารละลายไหลผ่านขึ้นผลไม้อย่างต่อเนื่องในอัตราที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องสูบของเหลว (pump) ช่วย ซึ่งอัตราการไหลเวียนของสารละลายจะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสารด้วย (Farkas and Lazar, 1969; Contreras and Smyrl, 1981) การเคลื่อนที่ของสารละลายนอกจากจะช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลแล้ว ในอุตสาหกรรมอาจใช้วิธีนี้ร่วมกับการระเหยน้ำออกจากสารละลายเพื่อทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น ขณะเดียวกันก็ให้สารละลายไหลเวียนผ่านขึ้นผลไม้ด้วย (Ponting *et al.*, 1966; Bongirwar and Sreenivasan, 1977; O' Mahony *et al.*, 1986)

3.3.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของสารละลายก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เพราะว่าจะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลสาร การเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายจะทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนจะไปทำให้โครงสร้างบางส่วนของผนังเซลล์ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสและเพกทิน (Rahman and Lamb, 1990) ที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) อ่อนตัวลง จึงมีผลทำให้การซึมผ่านเข้าออกของน้ำและออสโมติกเอเจนต์ที่อุณหภูมิห้องสูงเกิดได้ดีและเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (Ponting *et al.*, 1966) และที่อุณหภูมิสูงนี้ ความสามารถในการแพร่กระจายของสารดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (Beristain *et al.*, 1990) นอกจากนี้แล้วการใช้อุณหภูมิสูงในการออสโมซิส ทำให้เกิดการไหลเวียนของสารละลายรอบ ๆ ชิ้นผลไม้ได้ดีขึ้น เพราะที่อุณหภูมิสูงความหนืดของสารละลายลดลง (Contreras and Smyrl, 1981)

ถึงแม้ว่าอัตราการออสโมซิสจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลาย แต่ก็ยังมีข้อจำกัด คือ การใช้อุณหภูมิสูงเกินไป (70-90 องศาเซลเซียส) จะมีผลต่อการสูญเสียกลีกรินและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Videv *et al.*, 1990) อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการออสโมซิสผลไม้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้

4. การอบแห้ง

การทำให้อาหารแห้งนับเป็นวิธีการถนอมอาหารแบบหนึ่งซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและเป็นวิธีเก่าแก่ที่สุดวิธีหนึ่งที่มนุษย์ได้เรียนรู้มาจากรธรรมชาติ การทำให้อาหารแห้งนั้นมีวิธีการทำได้หลายวิธี จึงมีชื่อเสียงต่าง ๆ กันตามลักษณะของการอบแห้งนั้น ๆ เช่น การตากแห้ง การอบแห้ง การผึ่งแห้ง การทำแห้ง (Drying) และการคังน้ำออก (Dehydration) เป็นต้น โดยความหมายแล้ว การทำแห้งหมายถึง การถ่ายเทของเหลว (Liquid) เช่น น้ำ ออกจากของแข็งหรือวัสดุที่ชื้น (Wet solids) ไปยังก๊าซที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated gas)

4.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

ในการทำแห้งอาหารทั่ว ๆ ไป มีปัจจัยหลายประการที่จะทำให้การอบแห้งนั้นเกิดได้เร็ว หรือช้าซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

4.1.1 ลักษณะธรรมชาติของอาหาร

อาหารที่มีลักษณะเป็นรูปพุ่มมาก ๆ จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว นอกจากนั้นพื้นที่ผิวของอาหารก็จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งมาก อาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก ๆ การอบแห้งก็จะทำได้เร็วขึ้น

4.1.2 ขนาดและรูปร่างของอาหาร

ส่วนใหญ่จะคำนึงถึงเฉพาะความหนาของอาหาร เนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร ยิ่งอาหารหนามากเท่าไรการอบแห้งก็จะเกิดได้ช้าลง

4.1.3 ปริมาณอาหาร

อาหารที่ใส่ในเครื่องอบแห้งและการจัดเรียงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง การใส่ปริมาณอาหารมากเกินไปเข้าไปในเครื่องอบแห้ง จะทำให้การอบแห้งทำได้ไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะบริเวณช่วงกลาง ๆ น้ำจะระเหยออกได้ไม่ดี ความร้อนเข้าไปไม่ค่อยถึง ยิ่งถ้าจัดเรียงตัวกันไม่ดีแล้วก็จะทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้ช้ามาก

4.1.4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของลม

ความชื้นของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยนํ้าออกจะทำได้ดีหรือไม่ ขึ้นกับความชื้นของอากาศและความเร็วของลม นอกจากนั้นอุณหภูมิที่ใช้อบก็จะเป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน

4.1.4 ความดัน

ความดันเกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่มีความดันต่ำ ๆ ลงมา น้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันต่ำจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

4.2 อิทธิพลของการอบแห้งต่อคุณค่าอาหาร

ในขบวนการทำแห้งโดยทั่ว ๆ ไป น้ำในอาหารจะระเหยออกไปหรือความชื้นในอาหารลดลง ดังนั้นปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารแห้งเมื่อเทียบกับน้ำหนักแล้วพบว่า อาหารจะมีความเข้มข้นของสารอาหารเพิ่มขึ้น เช่น โปรตีน แป้ง และไขมัน

4.2.1 อิทธิพลของการอบแห้งต่อโปรตีน

โดยลักษณะธรรมชาติของโปรตีนแล้ว ถ้าได้รับความร้อนสูงนาน ๆ จะทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติทั่วไป (Denature) ดังนั้นคุณค่าทางอาหารของโปรตีนจะเหลืออยู่มากหรือน้อยแค่ไหนก็ขึ้นกับวิธีการทำให้แห้ง กล่าวคือ การเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแต่ละประเภท จะช่วยให้คุณค่าของโปรตีนคงอยู่มากขึ้น ถ้าใช้วิธีที่ต้องให้ความร้อนสูงและนานจะทำให้ร่างกายอาจจะนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์ได้น้อยลง

4.2.2 อิทธิพลของการอบแห้งต่อไขมัน

ไขมันที่มีในอาหารทั่ว ๆ ไป จะเป็นตัวทำให้อาหารนั้นเหม็นหืน ยังมีไขมันสูงและอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเหม็นหืนได้เร็วขึ้น ดังนั้นในการทำแห้งจึงต้องคำนึงถึงการเหม็นหืนของอาหารแห้งที่ได้ ยิ่งถ้าเป็นอาหารที่มีไขมันสูง ควรหลีกเลี่ยงวิธีการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูง อาจจะใช้ทำแห้งโดยวิธีที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ๆ หรือภายใต้สภาวะสุญญากาศ หรืออาจจะใช้สารเคมีบางอย่างป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยการใช้สารป้องกันการออกซิไดซ์ (antioxidant) เช่น BHT (Butylated Hydroxy Toluene) เป็นต้น

4.2.3 อิทธิพลของการอบแห้งต่อคาร์โบไฮเดรต

แป้งและน้ำตาลในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญเมื่อได้รับความร้อนสูงในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning) โดยเฉพาะในพวกน้ำตาลผลไม้จะเกิดการเปลี่ยนสีในขณะทำให้แห้ง จากปฏิกิริยา enzymatic browning หรือ caramelization ซึ่งจะเกิดจากปฏิกิริยาของพวก reducing sugar กับพวกกรดอินทรีย์ทำให้สีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นในอาหารที่มีความชื้นตั้งแต่ 1.30%

5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) เป็นตัวแทนของระบบที่สร้างขึ้นเป็นชุดของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้ในการศึกษาและพยากรณ์ถึงเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้น แบบจำลองที่ดีควรมีความเรียบง่ายและมีพฤติกรรมเป็นไปตามปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ (นันทวัน, 2548)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีหลายแบบ โดยแต่ละแบบจะมีความเหมาะสมกับแต่ละชุดข้อมูลแตกต่างกันไป ได้แก่ แบบจำลองเอมพีริคัล แบบจำลองทางจลนศาสตร์ แบบจำลองดีเทอร์มินิสติก เป็นต้น (นันทวัน, 2548)

5.1 แบบจำลองเอมพีริคัล

แบบจำลองเอมพีริคัลเป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามข้อมูลที่มีอยู่จริง ไม่ได้อิงถึงทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ใด ๆ (Yamashita and Hashida, 2003) สามารถใช้เทคนิค data fitting ในการสร้างได้ การที่แบบจำลองเอมพีริคัลสร้างขึ้นตามข้อมูลการทดลองที่มีอยู่จึงทำให้ความถูกต้องของแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลที่นำมาใช้และความสามารถในการทำนายก็จะแคบหรือกว้างตามช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลองเอมพีริคัลที่สร้างจากเทคนิค data fitting จะสามารถมีตัวแปรต้นได้ตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป และมีพจน์ได้ตั้งแต่ 1 พจน์ (one-term model) ไปจนถึงหลาย ๆ พจน์ที่ซับซ้อนหรือที่เรียกว่าสมการพหุพจน์ (polynomial) (นันทวัน, 2548) ในงานพัฒนาผลิตภัณฑ์จะนิยมใช้เทคนิคนี้ โดยเฉพาะการพัฒนาสูตรเพราะเป็นเทคนิคที่สามารถอธิบายตัวแปรต้นซึ่งได้แก่ส่วนผสมต่าง ๆ ได้หลายตัว เช่นการทดลองของ Junqueira *et al.*, (2007) ที่ได้ศึกษาหาอัตราส่วนของสารป้องกันการเกิดออกซิไดส์ในแป้งสาลี 3 ตัว ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซีจีเนส เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ และกรดแอสคอร์บิก ที่มีผลต่อค่าสี และพฤติกรรมการไหลของโดแป้งสาลี โดยใช้รูปแบบสมการแบบ cubic model ซึ่งจะประกอบด้วยพจน์กำลังหนึ่งและพจน์ปฏิสัมพันธ์ และตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่า regression coefficient (r^2) พบว่า ค่า r^2 มีค่าสูงประมาณ 0.84 – 0.95 จากนั้นหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารทั้ง 3 ชนิดโดยใช้เทคนิค respond surface methodology (RSM) ซึ่งสัดส่วนที่เหมาะสมจะประกอบด้วยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสร้อยละ 0.27 เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ 4.80 ppm และกรดแอสคอร์บิก 325 ppm

5.2 แบบจำลองทางจลนศาสตร์ (kinetic model)

แบบจำลองทางจลนศาสตร์ เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเวลาที่เปลี่ยนไป โดยสังเกตแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูลว่ามีลักษณะเป็น First-order model หรือ Higher-order model แบบจำลองชนิดนี้มักใช้ในการอธิบายปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในอาหาร

5.3 แบบจำลองดีเทอร์มินิสติก (deterministic model)

แบบจำลองดีเทอร์มินิสติก เป็นการสร้างแบบจำลองโดยอาศัยทฤษฎี จึงมีความซับซ้อนตามทฤษฎีที่ใช้ แม้ว่าแบบจำลองชนิดนี้จะค่อนข้างซับซ้อน แต่มีความถูกต้องแม่นยำสูง สามารถใช้ในการทำนายได้ในช่วงกว้าง นอกจากนี้ยังต้องการข้อมูลในการสร้างแบบจำลองไม่มากนักเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น โครงสร้างของแบบจำลองนี้ส่วนมากจะพัฒนาจากสมการ difference equation, differential equation และ partial differential equation

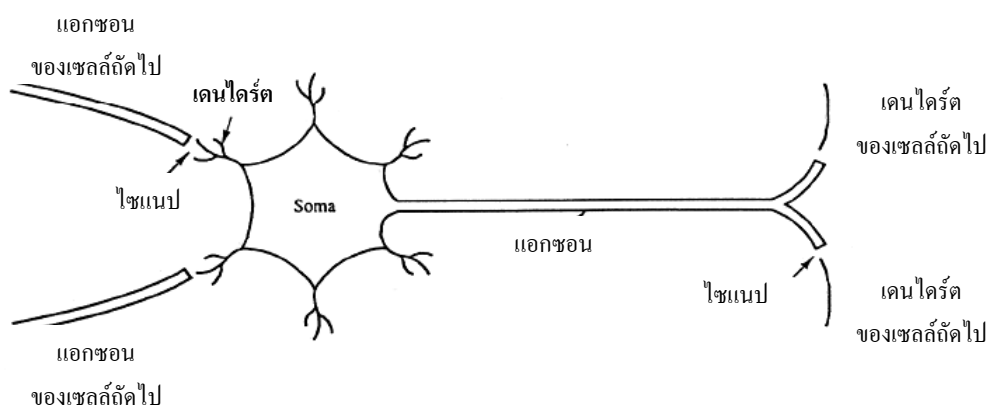
การตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลอง (Predicted value) กับ ค่าที่ได้จากการวัด (Measured value) แล้วพิจารณาจากค่าบ่งชี้ต่าง ๆ เช่น ค่า sum squared error (SSE) ค่า mean squared error (MSE) ค่า relative error ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) และการหาความแตกต่าง (different test)

6. เครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN)

เครือข่ายประสาทเทียม หรือ Artificial Neural Network (ANN) เป็นแบบจำลองเอมพิริคัลชนิดหนึ่งที่จำลองการทำงานของสมองมนุษย์ โดยเรียนรู้เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมาแล้ว แล้วจดจำรูปแบบการตอบสนองเพื่อใช้ในการทำนายผลของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นต่อไป ทำให้ ANN สามารถแก้ไขปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากๆ ได้ ข้อดีของการใช้งานระบบ ANN คือ ความสามารถในการแก้ปัญหาที่ไม่จำเป็นต้องมีนิยามที่เด่นชัดเหมือนปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ทั่วไป ไม่ต้องทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรในปัญหา ส่วนข้อเสียของระบบ ANN คือ จะแก้ไขปัญหาเฉพาะที่มีการรวบรวมชุดของตัวอย่างของปัญหาและคำตอบเอาไว้ และเป็นเทคนิคนี้ที่ต้องการข้อมูลจำนวนมาก นอกจากนี้ในการสร้างแบบจำลองแบบ ANN มีความยุ่งยากในการเลือกพารามิเตอร์ เช่น จำนวน

ของจำนวนชั้นซ่อน (Hidden nodes), อัตราการเรียนรู้ (Learning rate) และน้ำหนักเริ่มต้น (Initial weight) ไม่มีทฤษฎีเริ่มต้นที่จะสามารถบอกได้ว่าจะมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนเท่าไร ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการประมาณค่าเริ่มต้นต่างๆ อย่างไรก็ตามการใช้ระบบคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้การใช้ ANN มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในระบบประสาทของมนุษย์ เดนไดรต์ (Dendrites) จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากแหล่งต่างๆ แล้วส่งให้ Soma ประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น หลังจากนั้น แอกซอน (Axon) จะแปลงข้อมูลต่างๆ เป็นผลลัพธ์ไซแนป (Synapses) แล้วส่งให้หน่วยประสาทอื่นๆ เพื่อช่วยกันสร้างผลลัพธ์สุดท้าย (สุประภาพร, 2547; วรณ, 2547) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของระบบประสาทมนุษย์

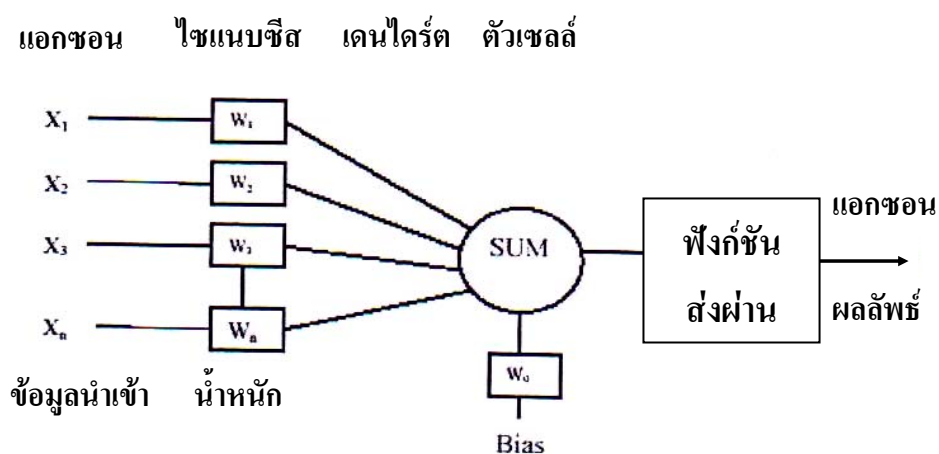
ที่มา: คัดแปลงจาก Fausett (1994)

เซลล์ประสาทมนุษย์มีคุณสมบัติและขั้นตอนการทำงานเหมือนกับเซลล์ประสาทเทียม โดยทั้งสองมีความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 รสกร (2546) กล่าวว่า ข้อมูลที่รับเข้าที่ชั้นรับข้อมูล (Input Layer) จะประมวลผลต่างๆ ที่เกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลเรียกว่า โหนด (node) ซึ่งจำลองลักษณะการทำงานมาจากตัวเซลล์ (Cell) การส่งสัญญาณ (Signal) ต่างๆ ระหว่างโหนดโดยส่วนที่เชื่อมต่อกัน (Connection Link) จำลองมาจากการเชื่อมต่อกันของเดนไดรต์และแอกซอนในระบบประสาทของมนุษย์ การเชื่อมต่อจะมีค่าน้ำหนัก (Weight) ที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับอิทธิพลที่โหนดจะได้รับจากโหนดอื่นๆ ซึ่งจำลองมาจากไซแนป ค่าน้ำหนักที่ได้จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนความรู้รวบรวมไว้ใช้แก้ปัญหาเฉพาะหน้าของมนุษย์ ภายในโหนดมีฟังก์ชันกำหนดสัญญาณส่งออก ซึ่งถูก

เรียกว่าฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) หรือฟังก์ชันส่งผ่าน (Transfer Function) ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนกระบวนการทำงานในเซลล์ประสาท ดังภาพที่ 4

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทมนุษย์กับเซลล์ประสาทเทียม

เซลล์ประสาทมนุษย์	เซลล์ประสาทเทียม
เดนไดรต์	ชั้นรับข้อมูล
โซมา	ชั้นซ่อน
แอกซอน	ชั้นผลลัพธ์
ไซแนป	ค่าน้ำหนัก



ภาพที่ 4 แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับระบบในสมองมนุษย์
ที่มา: ดัดแปลงจาก Page *et al.*, (1993)

6.1 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยหน่วยประสาทในแต่ละชั้นและการเชื่อมต่อกันภายในระหว่างชั้น ดังนี้ (รสกร, 2546)

6.1.1 ชั้นรับข้อมูล (Input Layer)

ชั้นรับข้อมูล เป็นชั้นแรกในโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย หน่วยรับข้อมูล (Input Nodes) ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้าสู่เครือข่ายประสาทเทียม

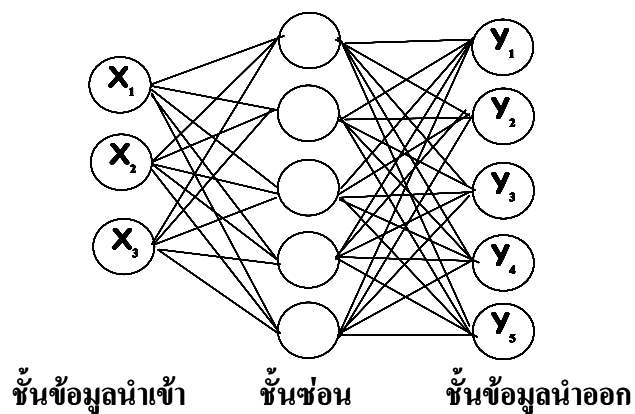
6.1.2 ชั้นแสดงผล (Output Layer)

ชั้นแสดงผล เป็นชั้นสุดท้ายในโครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยหน่วยแสดงผล (Output Nodes) ทำหน้าที่แสดงผลลัพธ์ (Output)

6.1.3 ชั้นซ่อน (Hidden Layer)

ชั้นซ่อนอยู่ระหว่างชั้นรับข้อมูลและชั้นแสดงผลประกอบด้วยหน่วยประสาทซ่อน (Hidden Nodes) ทำหน้าที่ในการรวม Input และ Weight เพื่อแปลงให้เป็นผลลัพธ์ และส่งผลลัพธ์ไปยังชั้นแสดงผล ซึ่งชั้นซ่อนมีได้หลายชั้นตามความเหมาะสมของปัญหาที่นำมาวิเคราะห์ แต่ถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทมากๆ จะทำให้ช้ามากในการคำนวณ และผลที่ได้ดีหรือไม่ดีไม่อาจทราบได้ (Overfitting) และถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทน้อยเกินไป จะทำให้ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนไม่ลู่เข้าจุดต่ำสุด (Convergent) และผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ถูกต้อง จึงต้องทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างเครือข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อนต่างๆ กัน และจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนนั้นๆ ว่ามีจำนวนเท่าไรจะทำให้การคำนวณได้ผลดีกว่ากัน

Patterson (1996) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการทำงานของเครือข่ายประสาทเทียมว่าเมื่อข้อมูลนำเข้า (Input Data) ถูกส่งผ่านเข้าไปในชั้นซ่อน ภายในชั้นนี้จะทำหน้าที่ประมวลผลโดยการรวมข้อมูลนำเข้า กับค่าน้ำหนัก (Weight) และส่งผ่านฟังก์ชันส่งผ่าน (Transfer Function) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมา



ภาพที่ 5 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม

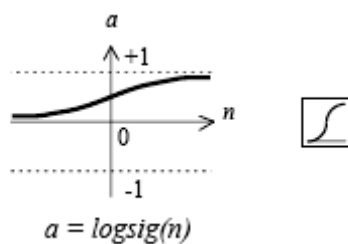
6.2 ฟังก์ชันส่งผ่าน (Transfer Function)

ฟังก์ชันการส่งผ่านจะนำผลรวมของค่าน้ำหนักและค่า Bias ของตัวแปรเข้าเข้าสู่ฟังก์ชันส่งผ่าน โดยหน่วยประสาทแต่ละหน่วยจะมีฟังก์ชันส่งผ่านที่แตกต่างกันเพื่อกำหนดค่าตัวแปรออก ฟังก์ชันส่งผ่านที่ใช้ในแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมแบบกระจายกลับ (Backpropagation Artificial Neural Network) มีอยู่ 3 ชนิด คือ (ปกรณ, 2545)

6.2.1 ล็อกซิกมอยด์ (Logistic Sigmoid, Log Sigmoid)

ล็อกซิกมอยด์ เป็นฟังก์ชันส่งผ่านที่ให้ผลลัพธ์มากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 1 มีสมการคือ

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



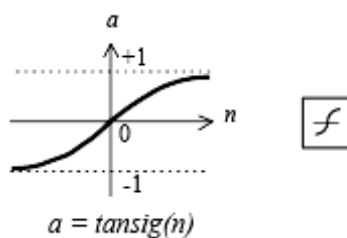
ภาพที่ 6 Log-Sigmoid Transfer Function

ที่มา: Demuth and Beale (2002)

6.2.2 แทนเจนต์ซิกมอยด์ (Hyperbolic Tangent Sigmoid, Tangent Sigmoid)

แทนเจนต์ซิกมอยด์ เป็นฟังก์ชันส่งผ่านที่ให้ผลลัพธ์มากกว่า -1 แต่น้อยกว่า 1 มีสมการคือ

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



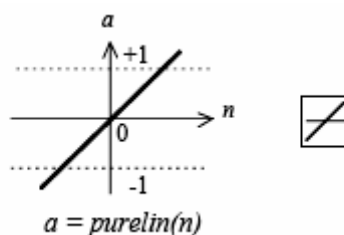
ภาพที่ 7 Tangent Sigmoid Transfer Function

ที่มา: Demuth and Beale (2002)

6.2.3 ฟังก์ชันสมการเส้นตรง (Linear)

ฟังก์ชันสมการเส้นตรง (Linear) เป็นฟังก์ชันส่งผ่านที่ให้ค่าตัวแปรออกจะมีค่าเป็นอะไรก็ได้ มีสมการ คือ

$$y = x \quad (3)$$



ภาพที่ 8 Linear Transfer Function

ที่มา: Demuth and Beale (2002)

6.3 วิธีการฝึกฝนแบบจำลอง (Training Algorithm)

วิธีการฝึกฝน (Training Algorithm) ใช้ฝึกฝนค่าถ่วงน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนของแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ให้รู้เข้าหาคำตอบได้อย่างถูกต้อง (ปกรณ, 2545)

6.3.1 กราเดียนเดสเซนต์ (Gradient Descent)

เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการปรับแบบจำลอง และเป็นวิธีการพื้นฐานที่ให้ผลดีโดยใช้ผลต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับผลลัพธ์จริง นั่นคือ ค่าความผิดพลาด

6.3.2 แบบกระจายกลับยืดหยุ่นได้ (Resilient Backpropagation)

จุดประสงค์ของวิธีนี้ คือ ป้องกันปัญหาความผิดพลาดเมื่อเรียนรู้ด้วยซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Harmful Effect) ซิกมอยด์ฟังก์ชันให้ผลลัพธ์ออกมาในช่วง 0 ถึง 1 แต่ข้อมูลที่ให้แบบจำลองเรียนรู้บางครั้งเป็นข้อมูลที่มีค่ามากกว่าช่วง 0 ถึง 1 มาก โดยใช้เพียงเครื่องหมายบวกลบของอนุพันธ์เพื่อกำหนดทิศทางของค่าถ่วงน้ำหนักเท่านั้น ไม่เอาขนาดของอนุพันธ์มาเกี่ยวข้อง

6.3.3 สเกลคอนจูเกต (Scale Conjugate)

วิธีการนี้เป็นวิธีหนึ่งของคอนจูเกตกราเดียน กลุ่มของการเรียนรู้แบบคอนจูเกตกราเดียนจะเข้าถึงคำตอบที่ต้องการได้ไวกว่าแบบกราเดียนเดสเซนต์ เพราะมีการค้นหาเส้นทาง

ก่อนด้วย แต่การค้นหาเส้นทางในแต่ละรอบมีการคำนวณที่ซับซ้อนมากมาย ใช้เวลาในการคำนวณมาก สเกลคอนจูเกตเป็นวิธีการเรียนรู้แบบคอนจูเกตที่ลดเวลาในการค้นหาเส้นทางลง และลดจำนวนทรัพยากรที่ใช้ในการคำนวณ

6.3.4 ลีเวนเบิร์ก-มาควอด (Levenberg-Marquardt)

วิธีการนี้ไม่มีการคำนวณเมตริกซ์เฮสเซียน แต่มีการคำนวณที่ซับซ้อนและใช้ทรัพยากรหน่วยความจำสูง

6.4 การทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม

การทำงานของเครือข่ายประสาทเทียมแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ (สมยศ, 2547)

6.4.1 ขั้นตอนการเรียนรู้

ขั้นตอนการเรียนรู้ เป็นการเรียนรู้จากข้อมูลนำเข้า และผลลัพธ์โดยใช้ทฤษฎีการกระจายกลับ (Backpropagation) แล้วทำการออกแบบเครือข่าย เพื่อหาความสัมพันธ์ภายในของข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์

6.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ จะนำเครือข่ายที่ได้ออกแบบและฝึกฝนแล้ว มาใช้งานต่อ โดยจะใช้ข้อมูลนำเข้าชุดใหม่ใส่เข้าไป (มีไม่มากกว่าร้อยละ 70 ของชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกฝน) เพื่อหาผลลัพธ์ที่เราต้องการ

6.5 กระบวนการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียม

กระบวนการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทเทียมจะมี 3 ลักษณะ คือ (สมยศ, 2547)

6.5.1 การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised learning)

การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised learning) เป็นการใช้รูปแบบของชุดข้อมูลคู่ (นำเข้าและผลลัพธ์) เพื่อให้เครือข่ายได้เรียนรู้หาความสัมพันธ์ภายในของข้อมูลนำเข้าต่างๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของเครือข่ายใกล้เคียง หรือตรงกับผลลัพธ์ที่กำหนดให้ ดังนั้นการเรียนรู้แบบนี้ ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ไม่ตรงกับค่าผลลัพธ์เป้าหมายเครือข่ายจะส่งข้อมูลความคลาดเคลื่อนกลับไปปรับแก้ค่าต่างๆ ที่เชื่อมโยงในโครงข่าย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์จริง (Target output)

6.5.2 การเรียนรู้แบบเสริม (Reinforcement)

การเรียนรู้แบบเสริม (Reinforcement) แม้ว่าเครือข่ายถูกฝึกอบรมแล้วก็ตาม แต่คำตอบที่ถูกต้องหรือผลลัพธ์เป้าหมายไม่ได้ถูกนำมาแสดงในเครือข่าย ดังนั้นผลการคำนวณจึงแสดงออกมาในรูปถูกหรือผิด เครือข่ายจึงต้องใช้ประโยชน์จากข้อมูลต่างๆ เพื่อนำไปปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้น

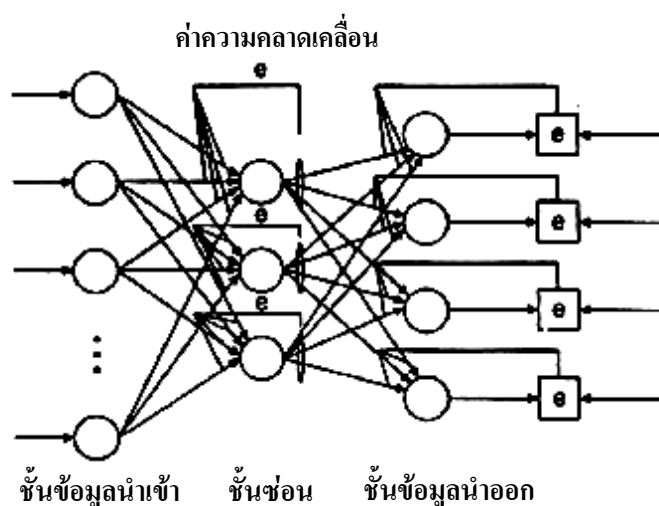
6.5.3 การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised learning)

การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised learning) ในเครือข่ายของการเรียนรู้แบบนี้จะปรับตัวเองหรือหาความสัมพันธ์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เองโดยไม่ต้องการความช่วยเหลือจากภายนอกและไม่รับรู้ความผิดพลาดที่เกิดจากข้อมูลเป้าหมาย การเรียนรู้แบบนี้จะใช้วิธีการสร้างความเข้มแข็งให้กับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมโยงกับข้อมูลนำเข้าที่ตอบสนองได้ดีกับค่าผลลัพธ์เป้าหมาย

6.6 เครือข่ายประสาทเทียมแบบกระจายกลับ (Backpropagation Artificial Neural Network)

Patterson (1996) ได้อธิบายว่า เครือข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation มีการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervisor) และมีขั้นตอนการทำงาน คือ เมื่อข้อมูลนำเข้าถูกส่งผ่านไป

ข้างหน้า (Forward) ตามลำดับชั้น ภายในชั้นซ่อน (Hidden Layer) จะทำหน้าที่รวมข้อมูลนำเข้ากับค่าน้ำหนักและส่งผ่านฟังก์ชันส่งผ่าน (Transfer Function) เพื่อประมวลผล โดยแสดงผลลัพธ์ไว้ในชั้นแสดงผล (Output Layer) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริง (Target Output) และทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดที่เกิดขึ้น (Total Error) หลังจากนั้นจึงดำเนินขั้นตอนการคำนวณย้อนกลับ (Backward) โดยเริ่มจากการปรับค่าน้ำหนักระหว่างชั้นแสดงผลกับชั้นซ่อนชั้นสุดท้ายและย้อนกลับไปยังชั้นรับข้อมูล จากนั้นจะเริ่มขั้นตอนของการคำนวณไปข้างหน้าและการคำนวณย้อนกลับอีกครั้ง จนกระทั่งค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดเข้าสู่หาค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดที่ยอมรับได้จึงหยุดการปรับค่าน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ลักษณะการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation

ที่มา: ดัดแปลงจาก Patterson (1996)

ฟังก์ชันที่นิยมใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมแบบกระจายกลับ ได้แก่ ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Theodoridis and Koutroumbas, 1999) วิธีการของการกระจายกลับ (Backpropagation Algorithm) ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

6.6.1 การคำนวณไปข้างหน้า (Forward Computation)

ขั้นตอนในการคำนวณไปข้างหน้า (Forward Computation) คือ การนำข้อมูลนำเข้าส่งผ่านไปข้างหน้าตามลำดับชั้น ซึ่งมีการรวมข้อมูลนำเข้ากับค่าน้ำหนักเข้าด้วยกันและส่งผ่านฟังก์ชันส่งผ่านเพื่อทำการแปลงให้เป็นผลลัพธ์ภายในชั้นซ่อน จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จาก

การคำนวณมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง และทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดที่เกิดขึ้น (Total Error)

6.6.2 การคำนวณย้อนกลับ (Backward Computation)

เมื่อผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อน จะเริ่มขั้นตอนในการคำนวณย้อนกลับซึ่งเริ่มจากการปรับค่าน้ำหนักระหว่างชั้นแสดงผลกับชั้นซ่อนชั้นสุดท้าย และย้อนกลับไปจนถึงชั้นรับข้อมูล วิธีที่ใช้ในการปรับค่าน้ำหนัก ได้แก่ วิธี Steepest Descent

6.7 การประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียม

เครือข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้ (Patterson, 1996; สุคาพิทย์, 2550)

6.7.1 การตอบสนองข้อจำกัด (Constraint Satisfaction)

ปัญหาที่ตัวแปรต่างๆ มีข้อจำกัด เช่น การทำงานชิ้นหนึ่ง ซึ่งงานนั้นเกิดจากการรวมกันของงานย่อยๆ หลายงาน เช่น การตัด การบด การล้าง การทำ เป็นต้น โดยแต่ละงานจะต้องใช้เครื่องมือเพียง 1 ครั้ง จึงทำให้เกิดข้อจำกัดขึ้น หรือปัญหาการจัดเส้นทางรถของพนักงานขาย ที่ต้องไปพบลูกค้าทุกคนคนละ 1 ครั้ง ก็จะมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาและระยะทางที่ใช้ในการเดินทางที่ต้องใช้น้อยที่สุด และมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดเช่นกัน

6.7.2 การจดจำรายละเอียด (Content Addressable Memories)

เครือข่ายประสาทเทียมบางชนิดสามารถเรียนรู้และจดจำรูปแบบ ซึ่งเมื่อมีการพบรูปแบบเดิมที่เคยเรียนรู้ก็จะมีการเชื่อมโยงกับรูปแบบเดิมที่เคยเรียนรู้ ในการนึกถึงรูปแบบที่เคยเจอมาจะมีทั้งการพบรูปแบบที่เคยเจอมาโดยตรง หรือการพบกับรูปแบบที่มีการบิดเบือน และแตกต่างออกไป ซึ่งเมื่อพบกับรูปแบบที่เคยเจอแล้วได้เรียนรู้ไว้แล้ว ระบบนี้จะถูกเรียกว่า การ

เชื่อมโยงอัตโนมัติ แต่ถ้าพบกับรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ระบบจะถูกเรียกว่า การเชื่อมโยงที่ต่างกัน

6.73 การควบคุม (Control)

เครือข่ายใยประสาทเทียมได้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการควบคุมเนื่องจากมีประสิทธิภาพ เช่น การควบคุมหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ การขับเคลื่อน โดยระบบเครือข่ายใยประสาทเทียมจะถูกฝึกฝนในเรื่องของการขับเคลื่อน โดยฝึกการควบคุมตำแหน่ง ซึ่งโรงงานที่มีการใช้เครือข่ายใยประสาทเทียมจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น และโรงงานเคมีก็มีการใช้เครือข่ายใยประสาทเทียม ซึ่งใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต การใช้วัตถุดิบ โดยบริษัทในประเทศญี่ปุ่นได้มีการนำเครือข่ายใยประสาทเทียมมาใช้ในการควบคุมเพื่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีขึ้น

6.7.4 การบีบอัดข้อมูลและการทำแผนภาพ (Data Compression and General Mapping)

เครือข่ายบางชนิดถูกฝึกให้เรียนรู้การคำนวณเพื่อใช้ลดรูปแบบของตัวแปรเข้า เช่น ตัวแปรเข้ามี n มิติ แต่เมื่อผ่านเครือข่ายใยประสาทเทียมจะทำให้เหลือ m มิติ ($m < n$) ซึ่งเป็นการแปลงให้อยู่ในรูปสัญลักษณ์ของกลุ่มที่เหมือนกัน การบีบอัดข้อมูลมักนำไปใช้ในการรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งนำไปใช้ในกรณีของการประมวลผลภาพ

6.7.5 การวินิจฉัย การวิเคราะห์ (Diagnostics)

เครือข่ายใยประสาทเทียมมีการนำไปใช้ในการวินิจฉัย หรือวิเคราะห์ เช่น ทางยา ทางวิศวกรรม หรือในโรงงาน ใช้ในการแก้ปัญหาการจำแนก ที่ต้องอาศัยการเชื่อมโยงที่ถูกต้องระหว่างรูปแบบของตัวแปรเข้า ที่อาจเป็นตัวแทนของโรค หรือพฤติกรรมที่ผิดปกติที่อาจเป็นผลมาจากความผิดปกติของอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือเป็นผลจากการขาดสารอาหาร

6.7.6 การคาดการณ์ พยากรณ์ (Forecasting)

การพยากรณ์ถูกนำไปใช้ในหลายสาขา เช่น บริษัทที่ผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภคที่ต้องการทราบอัตราการเติบโตของยอดขายของผลิตภัณฑ์ใหม่ที่จะนำออกสู่ตลาด นักอุตุนิยมวิทยาที่ต้องการพยากรณ์สภาพอากาศ ธนาคารที่ต้องการคาดการณ์ความน่าเชื่อถือของลูกค้าเพื่อใช้ตัดสินใจในการปล่อยกู้ หรือ บริษัทที่ต้องการทราบความต้องการของลูกค้าในอนาคต โดยเครือข่ายประสาทเทียมเป็นเครื่องมือที่ถูกนำไปใช้แล้วได้ผลสำเร็จเป็นอย่างดี โดยเครือข่ายประสาทเทียมใช้ทำนายการเกิดของเหตุการณ์ว่าเหตุการณ์นั้นจะเกิดหรือไม่เกิด การคาดการณ์เวลาที่จะเกิดเหตุการณ์นั้น การคาดการณ์ระดับของเหตุการณ์ที่จะเกิด โดยการคาดการณ์นั้นต้องอยู่ในระดับความถูกต้องที่ยอมรับได้ โดยเครือข่ายประสาทเทียมจะถูกฝึกฝนจากตัวอย่างรูปแบบผลลัพธ์ที่ผ่านมาในอดีต เครือข่ายประสาทเทียมจะทำการเชื่อมโยงเพื่อทำนายผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เครือข่ายประสาทเทียมถูกนำไปใช้มากในสถาบันทางการเงิน เพื่อดูแนวโน้มการซื้อขายแลกเปลี่ยนเงินตรา การซื้อขายหุ้น โดยมีงานวิจัยของ Henderson *et al.*, (2000) ที่ได้ศึกษาถึงการพยากรณ์ปริมาณการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงโดยการใช้เครือข่ายประสาทเทียมพบว่า การพยากรณ์ปริมาณการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงขึ้นกับข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการพยากรณ์ปริมาณการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงหลังการเก็บเกี่ยวโดยมีตัวแปรเข้า ได้แก่ อุณหภูมิดิน ระยะเวลาการตากแห้ง อายุที่เก็บเกี่ยว และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีเครือข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation และวิธีการแบบ Genetic Algorithm เป็นวิธีที่สามารถใช้พยากรณ์ปริมาณการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินได้ นอกจากนี้ Lertworasirikul and Tipsuwan (2008) ได้ศึกษาถึงการพยากรณ์คุณลักษณะของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในกระบวนการอบแห้งโดยการใช้เครือข่ายประสาทเทียมพบว่า โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์คุณลักษณะของข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูปในกระบวนการอบแห้ง คือ โครงสร้างที่มีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนเท่ากับ 9 หน่วย โดยมีฟังก์ชันส่งผ่านระหว่างชั้นรับข้อมูลกับชั้นซ่อน คือ ล็อกซิมอยด์

6.7.7 การรวบรวมคำสั่งของเครื่องส่งสัญญาณหลายเครื่อง (Multisensor Data Fusion)

เครือข่ายประสาทเทียมสามารถใช้ในการรวบรวมข้อมูลของเครื่องส่งสัญญาณหลายๆ แหล่งได้ โดยนำมาประมวลผลร่วมกัน กระบวนการรวม ได้แก่ การตรวจจับ การ

เชื่อมโยงการสัมพันธ์ การประมาณ และการรวมข้อมูล เช่น มนุษย์มีการรวมกันของข้อมูลที่ได้รับจากประสาทสัมผัสต่างๆ ได้แก่ การสัมผัส ได้ยิน ได้เห็น ได้กลิ่น ซึ่งมนุษย์จะรับทุกประสาทสัมผัสเข้าด้วยกันเพื่อประมวลผลรวมกันให้รับรู้ถึงสถานะแวดล้อม

6.7.8 การหาจุดที่เหมาะสม (Optimization)

เครือข่ายประสาทเทียมถูกนำไปใช้ในการหาวิธีการที่ดีที่สุด หรือจุดที่เหมาะสม เช่น การหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดของสายการบินที่จะให้เกิดระยะทางที่สั้นที่สุด แต่มีการบินผ่านเมืองต่างๆ มากที่สุด ซึ่งอาจจะมีข้อจำกัดเรื่องลำดับในการบินว่าต้องบินผ่านเมืองใดก่อนหลัง และต้องมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดด้วย การใช้เครือข่ายประสาทเทียมจะต้องเขียนข้อจำกัดและความต้องการเป้าหมายให้แก่เครือข่ายประสาทเทียมเพื่อให้ระบบเรียนรู้

6.7.9 การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition)

โดยทั่วไปเครือข่ายประสาทเทียมจะเป็นระบบที่มีการเรียนรู้ที่ดี จดจำเก่ง แม้จะเป็นรูปแบบที่ซับซ้อน เช่น ภาพที่เห็น ลักษณะตัวพิมพ์ลายมือ สำเนียงพูด เป็นต้น มีการนำเครือข่ายประสาทเทียมไปใช้งานวิจัยทางด้านการจดจำภาพ สำเนียงพูด ลายมือ หุ่นยนต์ การควบคุมกระบวนการ เป็นต้น

6.7.10 การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงเป็นรูปแบบหนึ่งของการจดจำรูปแบบและลักษณะทั่วไป โดยจะบอกออกมาในรูปความเสี่ยงน้อย-เสี่ยงมาก หรือความน่าเชื่อถือมาก-น้อย โดยเครือข่ายประสาทเทียมจะเรียนรู้จากตัวอย่างสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งจะทำให้เครือข่ายประสาทเทียมสามารถคาดการณ์สถานการณ์ใหม่ที่ไม่รู้จักได้ โดยอาศัยข้อมูลจากสถานการณ์ที่เคยได้เรียนรู้มา มีธุรกิจหลายประเภทที่นำเครือข่ายประสาทเทียมไปใช้ในการวิเคราะห์ เช่น ธนาคาร หรือบริษัทที่ผลิตผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภค นายหน้าหุ้น นักเศรษฐศาสตร์ ผู้ค้าเงินสกุลต่างๆ นักอุตุนิยมวิทยา วิศวกร เป็นต้น ซึ่งบุคคลเหล่านี้จะนำเครือข่ายประสาทเทียมไปใช้เพื่อให้มีโอกาสประสบความสำเร็จมากที่สุด

นอกจากการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมดังกล่าวข้างต้นแล้ว Ochoa-Martinez and Ayala-Aponte (2006) ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการเชื่อมแบบเปิดโดยใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม พบว่า สามารถใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าการสูญเสีย (Water loss, W_L) และการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (solid gain, S_G) ของแบบเปิดเชื่อมได้ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมสามารถได้สมการที่เหมาะสมกว่าการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์

- 1.1 รีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer)
- 1.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Lloyd Instrument รุ่น TA500)
- 1.3 เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter)
- 1.4 เครื่องวัดค่า water activity (Novasina รุ่น MLK)
- 1.5 ตู้อบลมร้อนสูญญากาศ (Binder รุ่น VD53)
- 1.6 ตู้อบลมร้อน
- 1.7 โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 1.8 กระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด
- 1.9 เครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- 1.10 อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 1.11 นาฬิกาจับเวลา

2. สารเคมีและวัตถุดิบ

- 2.1 กรดซิตริก
- 2.2 แคลเซียมคลอไรด์
- 2.3 โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์
- 2.4 มะกรูด (*Citrus hystrix* DC.)
- 2.5 น้ำตาลทรายขาว

3. เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผล

3.1 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

3.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 10.0 และ MATLAB เวอร์ชัน 6.5

วิธีการ

1. การสำรวจตลาดผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

สำรวจตลาดผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง โดยสำรวจในซูเปอร์มาร์เก็ตในเขต กรุงเทพมหานคร งานแสดงสินค้า และศูนย์จำหน่ายสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) โดยการสังเกตและจดบันทึกรายละเอียดของข้อมูล ได้แก่ ผู้ผลิต ราคาต่อหน่วย และชนิดของบรรจุภัณฑ์

2. การคัดเลือกผลิตภัณฑ์และการประเมินความชอบของผู้บริโภค

คัดเลือกผลิตภัณฑ์ในตลาดโดยใช้เกณฑ์ในการประเมิน ได้แก่ ผู้ผลิตมีการดำเนินการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในระหว่างการทำงานวิจัย และผู้ผลิตสามารถจัดส่งผลิตภัณฑ์มาให้ผู้วิจัยได้ จากนั้นทำการประเมินผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการคัดเลือกโดยการให้คะแนนความชอบจากผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน ทำการคัดเลือกผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์และชอบรับประทานมะกรูดเชื่อมอบแห้งเป็นเกณฑ์พิจารณาจำนวน 100 คน ซึ่งทำการประเมินความชอบโดยรวม (Overall Liking) โดยทำการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point Hedonic scale) ในคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี (ความสว่าง) กลิ่นรสมะกรูด ความหวาน และความแข็ง รวมทั้งวัดค่าความพอดี (Just About Right) ในคุณลักษณะลักษณะปรากฏ ซึ่งหมายถึง ขนาด นอกจากนี้ยังทำการวัดค่าความพอดีในคุณลักษณะทางด้านความสว่าง กลิ่นรสมะกรูด ความหวาน และความแข็งด้วย จากนั้นทำการคัดเลือกตัวอย่างที่ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด เพื่อกำหนดเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ แล้วนำไปวัดค่าคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพต่อไป

3. การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

ศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งที่ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด จากการประเมินในข้อที่ 2

3.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมี

3.1.2 การวิเคราะห์ความชื้น (A.O.A.C. 2000)

นำตัวอย่างมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก แล้วทำการชั่งตัวอย่างหนัก 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนในกระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้วนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนสูญญากาศยี่ห้อ Binder รุ่น VD53 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นานประมาณ 12 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นทำการอบซ้ำนานครึ่งละ 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักจนกว่าน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม คำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นในตัวอย่างจากสมการที่ 1 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{100 \times (W_1 - W_2)}{W_1 - W} \quad (4)$$

เมื่อ W = น้ำหนักกระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด (กรัม)

W_1 = น้ำหนักกระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักกระป๋องอลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

3.1.2 การวิเคราะห์ค่า Water Activity

นำตัวอย่างมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก แล้ววัดค่าด้วยเครื่องวัดค่า water activity ยี่ห้อ Novasina รุ่น MLK ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพ

3.2.1 วัดค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์

นำตัวอย่างมาตัดให้มีขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร แล้วทำการวัดค่าความสว่างที่ผิวด้านนอกของตัวอย่างในระบบ CIE L* ด้วยเครื่อง Minolta Chroma Meter โดยทำการวัดค่าทั้งหมด 3 ชิ้น ชิ้นละ 3 ซ้ำ

3.2.2 การวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Lloyd รุ่น TA 500

นำตัวอย่างมาตัดให้มีขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร แล้วทำการวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Lloyd TA 500) ใช้ load cell ขนาด 500 นิวตัน ใช้หัวทดสอบแบบกดเป็นทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และฐานรองรับรูปทรงกระบอกกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร กดลงบนตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ 20 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นระยะทางร้อยละ 50 ของความสูงของตัวอย่าง ด้วยวิธีการวัดค่าแบบ Single Hardness

นำข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าเป็นข้อกำหนดในการพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง

4. การเตรียมวัตถุดิบ

คัดเลือกมะกรูด สายพันธุ์ hystrix ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีผิวขรุขระ ที่มีขนาดผลเท่ากัน เอาผลที่เน่าเสียออกไป ล้างน้ำให้สะอาด ทำให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำมาปอกเปลือกด้วยมีดสแตนเลส ตัดเนื้อผลไม้ให้มีรูปทรงเดียวกันและมีขนาดใกล้เคียงกัน จากนั้นใช้มีดปลายแหลมปักลงในผลมะกรูดให้ทั่ว พยายามบีบให้เมล็ดออกมาให้หมด แล้วนำมะกรูดทั้งหมดแช่ลงในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3 แล้วบีบให้เมล็ดออกมาให้หมด ทำการเปลี่ยนน้ำเกลือทุกๆ 5 นาที 3 ครั้ง จากนั้นนำมะกรูดทั้งหมดมาต้มเป็นเวลา 5 นาทีให้คลายรสขมและเผ็ด รับประทานแช่น้ำเย็น แล้วทำการแช่ชิ้นผลไม้ในสารละลายของแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 15 นาที ล้างด้วยน้ำให้สะอาดและทำให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นทำการเตรียมน้ำเชื่อมโดยต้วน้ำเชื่อมในกระทะทองเหลือง และมีการเติมกรด

ซิริทริก 2 กรัมต่อสารละลายออสโมซิส 1 ลิตร และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 2 มิลลิกรัมต่อสารละลายออสโมซิส 1 ลิตร เทียน้ำเชื่อมต่อไปจนได้ความเข้มข้นร้อยละ 70 แล้วพักให้น้ำเชื่อมเย็น จากนั้นเทลงไปในภาชนะที่บรรจุจะกรดไว้ แช่ตามเวลาที่กำหนด

5. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดกับเวลา

วิเคราะห์ปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมด (%Total soluble solid) ในเนื้อมะกรูดระหว่างการแช่โดยการหาปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดที่เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง โดยนำตัวอย่างมะกรูดแช่มาชั่งน้ำหนักแล้วทำการอบด้วยตู้อบลมร้อนสูญญากาศเพื่อหาปริมาณร้อยละความชื้น แล้วคำนวณหาปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมด จากสมการ (5)

$$\text{ปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมด} = 100 - \text{ร้อยละความชื้น} \quad (5)$$

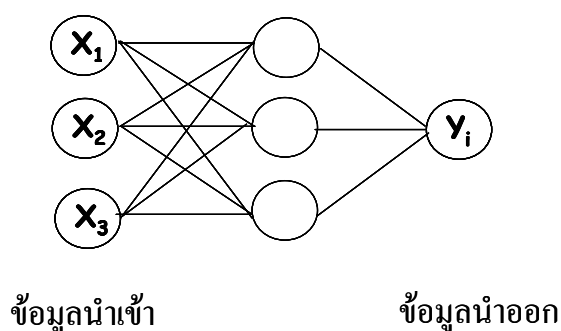
จากนั้นทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดกับเวลา ด้วยเทคนิคการสร้างแบบจำลองแบบ data fitting เพื่อหาสมการที่เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดกับเวลา โดยคัดเลือกสมการที่มีค่า r สูงที่สุด

6. การศึกษาแบบจำลองสำหรับทำนายอิทธิพลของการอบแห้งที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อบแห้ง

ศึกษาอิทธิพลของปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดแช่ อุนหภูมิในการอบแห้ง และเวลาในการอบแห้ง ที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในด้านปริมาณร้อยละความชื้น ค่า water activity (a_w) ความสว่าง และความแข็ง โดยทำการเก็บข้อมูลดังนี้ ข้อมูลนำเข้า (Input) ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 45, 50, 55 และ 60 อุนหภูมิในการอบแห้ง 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบแห้ง 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ส่วนข้อมูลนำออก (Output) ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า water activity (a_w) ความสว่าง และความแข็ง

6.1 การศึกษาโครงสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม

สร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมแบบทำนายทีละ 1 ข้อมูลออก (Output) ดังแสดงในภาพที่ 10 ด้วยโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 6.5



ภาพที่10 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อม

ข้อมูลนำเข้า (Input) ได้แก่ ปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดเชื่อม (X_1), อุณหภูมิในการอบแห้ง (X_2) และเวลาในการอบแห้ง (X_3) ส่วนข้อมูลออก (Output) ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Y_1), ค่า water activity (Y_2), ความสว่าง (Y_3) และความแข็ง (Y_4) โดยมีข้อกำหนดดังนี้

6.1.1 ฟังก์ชันส่งผ่านก่อนชั้นซ่อนและระหว่างชั้นซ่อนเป็น Log-Sigmoid Transfer Function และฟังก์ชันส่งผ่านหลังชั้นซ่อนเป็น Linear Transfer Function

6.1.2 วิธีการฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent (Traingd) เป็นการฝึกฝนที่ค่าน้ำหนักและค่า Bias จะถูกปรับจากผลต่างของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง

6.1.3 จำนวนรอบของการฝึกฝน (Epochs) ที่มากที่สุดในการฝึกฝนเท่ากับ 1000 รอบ

6.1.4 การหยุดการฝึกฝน (Stopping rule) ใช้เกณฑ์ คือ เมื่อถึงจำนวนรอบสูงสุดในการฝึกฝน (Maximum number of epochs to train) คือ 1000 รอบ หรือ เมื่อค่า Performance ลดลงถึง

เป้าหมาย (Goal) ที่กำหนด คือ 0 หรือเมื่อค่า Performance ของขั้นทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation) ไม่สามารถที่จะปรับปรุงให้ดีขึ้นหรือ มีค่าคงที่ที่ค่า Maximum validation failures (max_fail) กำหนดไว้ คือ 5 รอบ

ศึกษาโครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียม โดยศึกษาจำนวนชั้นซ่อน (Hidden layer) ได้แก่ จำนวน 1 และ 2 ชั้น และจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน (Hidden neuron) 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 นิวรอน

จำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 8 สิ่งทดลอง โดยแต่ละสิ่งทดลองทำการทดลอง 3 การทดลอง (cross validation) ซึ่งมีชุดข้อมูลในการฝึกฝน การทวนสอบและทดสอบต่างกัน และในแต่ละการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าน้ำหนักเริ่มต้นในแต่ละการทดลอง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สิ่งทดลองสำหรับการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียม

สิ่งทดลอง	จำนวนชั้นซ่อน	จำนวนหน่วยประสาท
1	1	5
2	1	10
3	1	15
4	1	20
5	2	5
6	2	10
7	2	15
8	2	20

ในการประมวลผลทำการแบ่งข้อมูลเป็น 3 ชุด ได้แก่ ข้อมูลชุดฝึกฝน : ข้อมูลชุดทวนสอบ : และข้อมูลชุดทดสอบเท่ากับ 80:10:10 โดยในการฝึกฝนใช้ข้อมูลชุดฝึกฝนและชุดทวนสอบ และประเมินประสิทธิภาพของเครือข่ายประสาทเทียมโครงสร้างต่างๆ ด้วยข้อมูลชุดทดสอบ โดยหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Mean squared error, MSE) และค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r) จากนั้นทำการเลือกจำนวนชั้นซ่อน (Hidden Layer) และจำนวนหน่วย

ประสาทในชั้นซ่อน (Hidden Neurons) ที่ทำให้แบบจำลองมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (MSE) น้อย แต่มีค่าสหสัมพันธ์สูง

6.2 การศึกษาแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) แบบเชิงเส้นตรง (linear regression) และไม่ใช่เชิงเส้นตรง (nonlinear regression) แบบสมการ Quadratic ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 10 โดยทำการแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งจำนวน 90% ซึ่งเป็นข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ฝึกฝนและทดสอบเครือข่ายประสาทเทียม เพื่อนำไปสร้างสมการ และส่วนที่สองจำนวน 10% เพื่อทดสอบความถูกต้องของสมการ ซึ่งเป็นข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ทดสอบความถูกต้องของเครือข่ายประสาทเทียม ตัวแปรต้นในการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย ได้แก่ ปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดแช่อิ่ม (X_1), อุณหภูมิในการอบแห้ง (X_2) และเวลาในการอบแห้ง (X_3) ส่วนตัวแปรตาม ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Y_1), ค่า water activity (Y_2), ความสว่าง (Y_3) และความแข็ง (Y_4) ทำการคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมโดยจะพิจารณาจากค่า significant ของสถิติทดสอบ

6.3 การคัดเลือกแบบจำลอง

คัดเลือกแบบจำลองระหว่างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย ที่มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (MSE) น้อย แต่มีค่าสหสัมพันธ์สูง

7. การหาสถานะที่เหมาะสมในการอบแห้งมะกรูดแช่อิ่ม

นำแบบจำลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองเฉลี่ย (MSE) น้อยที่สุด แต่มีค่าสหสัมพันธ์มากที่สุดในแต่ละคุณลักษณะมาหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอบแห้งโดยการสร้างแผนภาพ Contour ซึ่งกำหนดให้ค่าปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดคงที่ในงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งที่มีความหวานน้อย จึงเริ่มต้นจากปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดเท่ากับ 45 ซึ่งเป็นระดับที่น้อยที่สุดก่อน แล้วทำการหาอุณหภูมิในการอบแห้ง และเวลาในการอบแห้ง ที่ทำให้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในด้าน

ปริมาณความชื้น ค่า water activity ความสว่าง และความแข็ง มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์มะกูดแช่อิ่มต้นแบบ หากไม่มีพื้นที่ซ้อนทับกันจะทำการเพิ่มปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกูดขึ้นตามลำดับ

8. การทดสอบผู้บริโภค

ทดสอบผลิตภัณฑ์มะกูดแช่อิ่มอบแห้งจากสถานะที่เหมาะสม โดยทดสอบกับผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 200 คน ใช้วิธีทดสอบแบบให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 คะแนน (9 - point hedonic scale) มีคุณลักษณะที่พิจารณา คือ ลักษณะปรากฏ ความสว่างของผลิตภัณฑ์ ความหวาน ความแข็งของผลิตภัณฑ์ และความชอบโดยรวม นอกจากนี้ยังทำการสำรวจการยอมรับและการตัดสินใจซื้อด้วย และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางประชากรศาสตร์กับการยอมรับและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคด้วยค่าไคสแควร์

ผลและวิจารณ์

1. การสำรวจตลาดผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

จากการสำรวจตลาดผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลการสำรวจตลาดผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

แหล่งผลิตมะกรูดเชื่อมอบแห้ง	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	บรรจุภัณฑ์
จังหวัดกาญจนบุรี	80	ถุงพลาสติกใส
จังหวัดอ่างทอง	100	ถุงพลาสติกใส/ถาดโฟม
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	100	กล่องพลาสติกใส/ถาดโฟม
จังหวัดนครราชสีมา	100	ถุงพลาสติกใส
จังหวัดอยุธยา	100	ถุงพลาสติกใส
จังหวัดชัยนาท	100	กล่องพลาสติกใส
จังหวัดนครนายก	200	กล่องพลาสติกใส

2. การคัดเลือกผลิตภัณฑ์และการประเมินความชอบของผู้บริโภค

จากผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งทั้งหมดที่ได้จากการสำรวจตลาด พบว่า ผลิตภัณฑ์จากจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และจากจังหวัดนครราชสีมา ไม่ได้ทำการผลิตในระหว่างการทำงานวิจัยนี้ จึงไม่ได้นำมาทำการประเมินความชอบ ส่วนผลิตภัณฑ์จากจังหวัดอุทัยธานี ชัยนาท อยุธยา และอ่างทองมีลักษณะภายนอกใกล้เคียงกัน แต่ผู้ผลิตจากจังหวัดอุทัยธานี ชัยนาท และอยุธยา ไม่สามารถจัดส่งผลิตภัณฑ์มาให้ได้ มีเพียงจังหวัดอ่างทองเท่านั้นที่สามารถจัดส่งมาได้ จึงนำผลิตภัณฑ์จากจังหวัดอ่างทองมาเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ในการประเมินความชอบ ส่วนผลิตภัณฑ์จากจังหวัดกาญจนบุรีและนครนายกมีการผลิตระหว่างการทำงานวิจัยและผู้ผลิตสามารถจัดส่งผลิตภัณฑ์มาให้ได้ จึงนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาประเมินความชอบ

ดังนั้น ผลผลิตพันธุ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งที่นำมาทำการประเมินความชอบ ได้แก่ ผลผลิตพันธุ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากจังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดอ่างทอง และจังหวัดนครนายก

เมื่อนำผลผลิตพันธุ์ดังกล่าวมาทำการประเมินความชอบในด้านลักษณะปรากฏ ความสว่าง กลิ่นรสมะกรูด ความหวาน และความแข็ง พบว่า ผลผลิตพันธุ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากจังหวัดอ่างทองมีคะแนนความชอบสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในคุณลักษณะกลิ่นรสมะกรูด รสหวาน และความแข็ง ส่วนคุณลักษณะทางด้านลักษณะปรากฏ และความสว่าง มีคะแนนความชอบน้อยกว่าผลผลิตพันธุ์จากจังหวัดกาญจนบุรี แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คะแนนความชอบของผลผลิตพันธุ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากแหล่งต่างๆ

แหล่งผลิต	ลักษณะปรากฏ	สี (ความสว่าง)	กลิ่นรสมะกรูด	รสหวาน	ความแข็ง	ความชอบรวม
อ่างทอง	6.45 ^a	6.53 ^a	6.54 ^a	6.69 ^a	6.89 ^a	6.94 ^a
กาญจนบุรี	6.79 ^a	6.72 ^a	5.76 ^b	5.92 ^b	5.88 ^b	6.28 ^b
นครนายก	5.65 ^b	5.84 ^b	6.00 ^b	5.79 ^b	5.79 ^b	5.96 ^b

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้น ผลผลิตพันธุ์ต้นแบบสำหรับงานวิจัยนี้ คือ ผลผลิตพันธุ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากจังหวัดอ่างทอง

เมื่อพิจารณาค่าความพอดี ดังตารางที่ 5 พบว่า ผลผลิตพันธุ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากจังหวัดอ่างทองมีคุณลักษณะทางด้านความแข็งอยู่ในระดับพอดี ส่วนกลิ่นรสมะกรูด พบว่า อยู่ในระดับค่อนข้างอ่อนเกินไป นอกจากนี้ค่าความสว่าง พบว่า มีความเข้มมากเกินไป และค่าความหวาน พบว่า ผลผลิตพันธุ์มีความหวานมากเกินไป สำหรับลักษณะปรากฏ ซึ่งหมายถึงขนาด พบว่า ผลผลิตพันธุ์ดังกล่าวมีขนาดค่อนข้างใหญ่เกินไป ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกมะกรูดขนาดเล็กที่มีขายในท้องตลาดมาทำงานวิจัย เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำกว่าและขนาดไม่ใหญ่เกินไป ส่วนมะกรูดเชื่อมอบแห้งจากจังหวัดกาญจนบุรี พบว่า คุณลักษณะทางด้าน ลักษณะปรากฏและความสว่างอยู่ใน

ระดับพอดี ส่วนคุณลักษณะกลิ่นรสมะกรุด ความหวาน และความแข็งอยู่ในระดับเกินความพอดี และค่าความพอดีของผลิตภัณฑ์มะกรุดแช่อิ่มอบแห้งจากจังหวัดนครนายก พบว่า มีลักษณะปรากฏ คือขนาดเล็กเกินไป สีอ่อนเกินไป และความแข็งน้อยเกินไป แต่ผลิตภัณฑ์มีความหวานมากเกินไป ส่วนกลิ่นรสมะกรุด พบว่า อยู่ในระดับพอดี

ตารางที่ 5 คะแนนค่าความพอดีของผลิตภัณฑ์มะกรุดแช่อิ่มอบแห้งจากแหล่งต่างๆ

แหล่งผลิต	คุณลักษณะ	ร้อยละความถี่		
		น้อยเกินไป	พอดี	มากเกินไป
อ่างทอง	ลักษณะปรากฏ	20	46	34
	สี (ความสว่าง)	16	40	44
	กลิ่นรสมะกรุด	37	48	15
	ความหวาน	14	42	44
	ความแข็ง	20	64	16
กาญจนบุรี	ลักษณะปรากฏ	36	61	3
	สี (ความสว่าง)	8	57	35
	กลิ่นรสมะกรุด	14	41	45
	ความหวาน	12	37	51
	ความแข็ง	9	45	46
นครนายก	ลักษณะปรากฏ	57	38	5
	สี (ความสว่าง)	45	38	17
	กลิ่นรสมะกรุด	16	50	34
	ความหวาน	9	37	54
	ความแข็ง	50	40	10

จากผลการวัดค่าความพืด พบว่า ผู้บริโภคมีการประเมินคุณลักษณะทางด้านความหวานของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมจากทั้ง 3 แหล่ง ว่ามีความหวานมากเกินไป ดังนั้นจึงทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งที่มีความหวานน้อย โดยไม่นำคุณลักษณะทางด้านความหวานของผลิตภัณฑ์ต้นแบบมาเป็นข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีความหวานมากเกินไป

3. การศึกษาคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

คุณลักษณะทางด้านปริมาณความชื้น ค่า water activity ค่าความสว่าง และค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากจังหวัดอ่างทอง ซึ่งได้รับการคัดเลือกเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

คุณลักษณะ	ค่าคุณลักษณะ
ปริมาณความชื้น	13.7%
Water activity	0.67
ความสว่าง (Lightness)	30
ความแข็ง (Hardness)	0.32 N

ดังนั้นจึงกำหนดให้ผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งที่ต้องการพัฒนามีคุณลักษณะแสดงดังตารางที่ 7 ซึ่งมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 12%-18% และค่า water activity อยู่ระหว่าง 0.60-0.75 เนื่องจากตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มพช. ๑๓๖/๒๕๔๖) กำหนดว่าผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งต้องมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก และมีค่า water activity ไม่เกิน 0.75 นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งที่ต้องการพัฒนาจะมีค่าความสว่าง (L) มากกว่า 30 เนื่องจากผู้บริโภคประเมินว่าผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากจังหวัดอ่างทองซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในงานวิจัยนี้มีสีที่เข้มเกินไป จึงต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีสีที่สว่างมากกว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวซึ่งมีค่าความสว่างเท่ากับ 30 ส่วนข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ทางด้านความแข็งจะอยู่ระหว่าง 0.2-0.4 นิวตัน เนื่องจากความแข็งของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากจังหวัดอ่างทองอยู่ในระดับที่พืด

ตารางที่ 7 ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งที่ต้องการพัฒนา

คุณลักษณะ	ค่าคุณลักษณะ
ปริมาณความชื้น	12-18%
Water activity	0.60-0.75
ความสว่าง (Lightness)	มากกว่า 30
ความแข็ง (Hardness)	0.2-0.4 N

4. การเตรียมวัตถุดิบ

ขนาดผลมะกรูดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 35-38 มิลลิเมตร เมื่อคัดเลือกมะกรูดได้ขนาดที่ต้องการแล้วจึงนำมาปอกเปลือกแล้วหั่นเป็นรูปครึ่งทรงกลมดังแสดงในภาพที่ 11 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 33-37 มิลลิเมตร



ภาพที่ 11 ผลมะกรูดก่อนตัดแต่ง และหลังตัดแต่ง

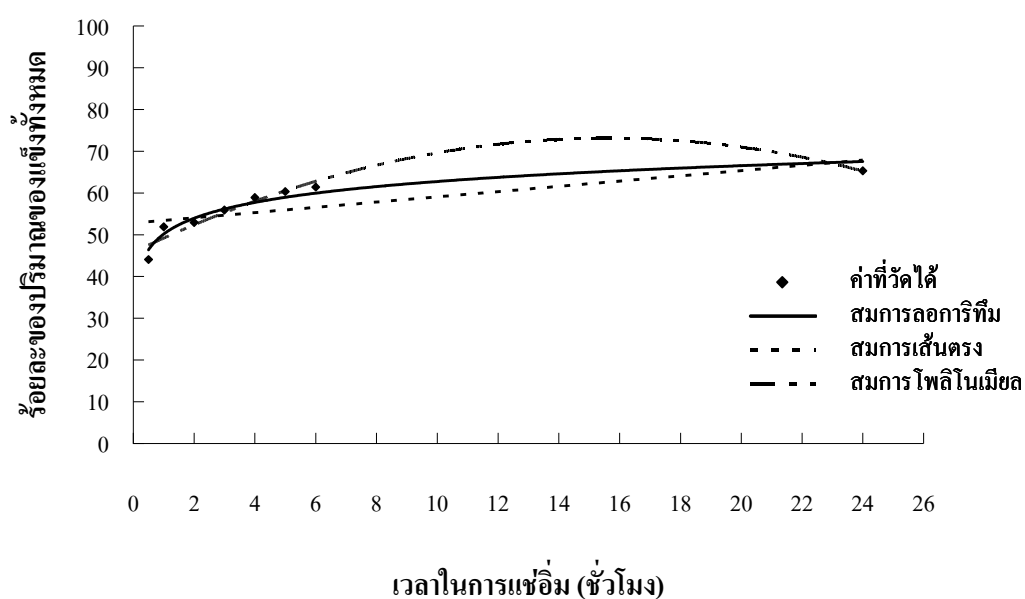
5. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดกับเวลา

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดกับเวลา (ชั่วโมง) ด้วยเทคนิคการสร้างแบบจำลองแบบ data fitting พบว่า สมการที่เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดกับเวลาซึ่งมีค่าเฉลี่ยของ

ความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (MSE) น้อยที่สุด และมีค่า r มากที่สุด คือ สมการลอการิทึม ดังแสดงตารางที่ 8 และภาพที่ 12

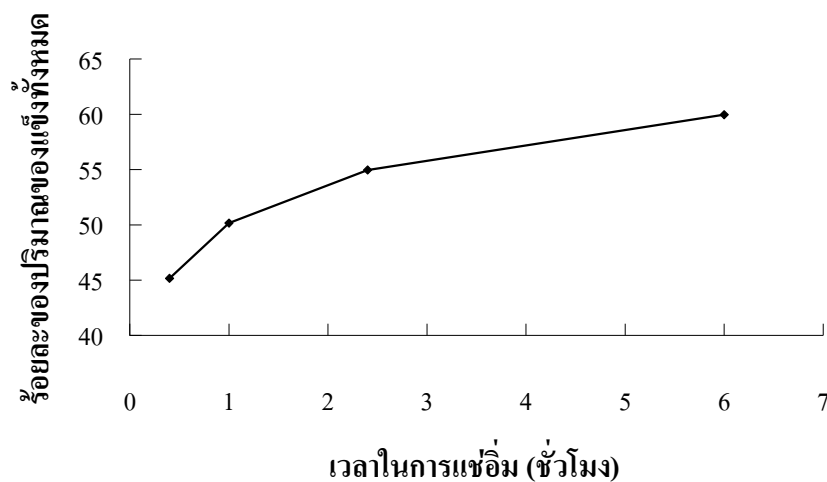
ตารางที่ 8 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูด (y) กับเวลา (x)(ชั่วโมง)

ชนิดสมการ	สมการ	r	MSE
เส้นตรง	$y = 0.6284x + 52.791$	0.7204	18.6203
พหุนาม	$y = -0.1122x^2 + 3.5046x + 45.791$	0.9625	2.8492
ลอการิทึม	$y = 5.4671\ln(x) + 50.17$	0.9677	2.4621



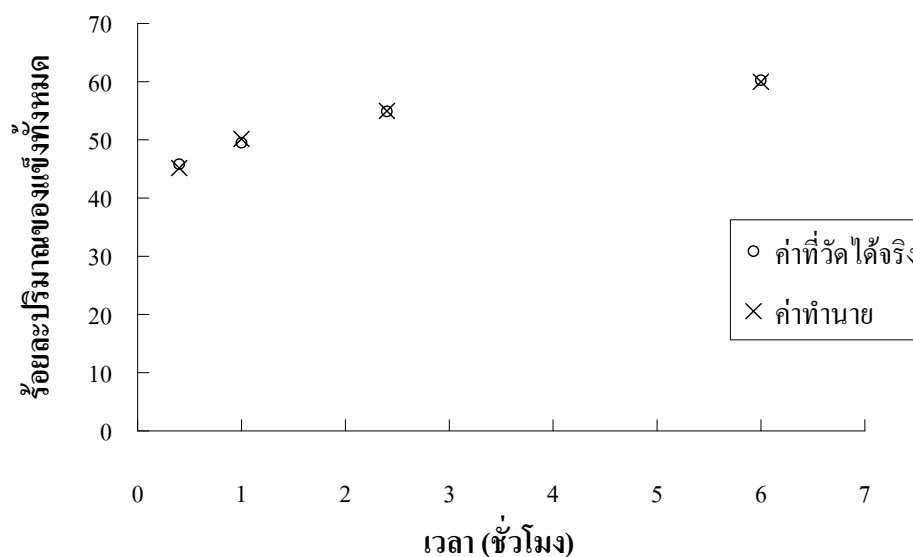
ภาพที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดกับเวลาในรูปแบบต่างๆ

ดังนั้นจึงสามารถหาเวลาในการแช่ได้จากสมการลอการิทึม โดยเวลาในการแช่ที่ทำให้ปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 45, 50, 55 และ 60 คือ ที่เวลา 0.4, 1, 2.4 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลในเนื้อมะกรูดกับเวลาจากสมการลอการิทึม

เมื่อทำการทดสอบความถูกต้องของสมการลอการิทึมที่ใช้ทำนายเวลาในการแช่ พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริงเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 14 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองของการทดสอบเท่ากับ 0.2448



ภาพที่ 14 กราฟเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายจากสมการลอการิทึม

6. การศึกษาแบบจำลองสำหรับทำนายอิทธิพลของการอบแห้งที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

จากการเก็บข้อมูล คือ ข้อมูลนำเข้า (Input) ได้แก่ ปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อผลิตภัณฑ์ร้อยละ 45, 50, 55 และ 60 อุณหภูมิในการอบแห้ง 45, 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบแห้ง 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ส่วนข้อมูลนำออก (Output) ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า water activity (a_w) ความสว่าง และความแข็ง

6.1 การศึกษาโครงสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม

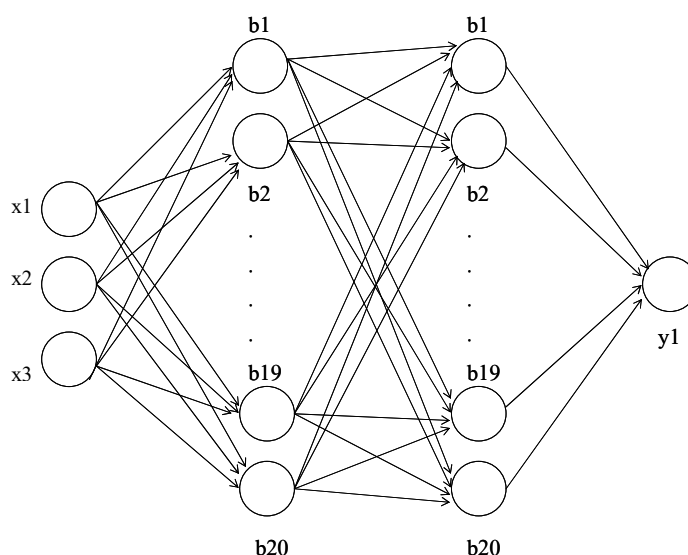
6.1.1 แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมแบบที่ใช้ปริมาณร้อยละความชื้นเป็นข้อมูลออก

จากการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง พบว่า เมื่อทำการเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนจะทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าลดลง แต่ค่าสหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการฝึกฝนและการทดสอบเครือข่ายประสาทเทียมแบบที่ใช้ปริมาณร้อยละความชื้นเป็นข้อมูลออก

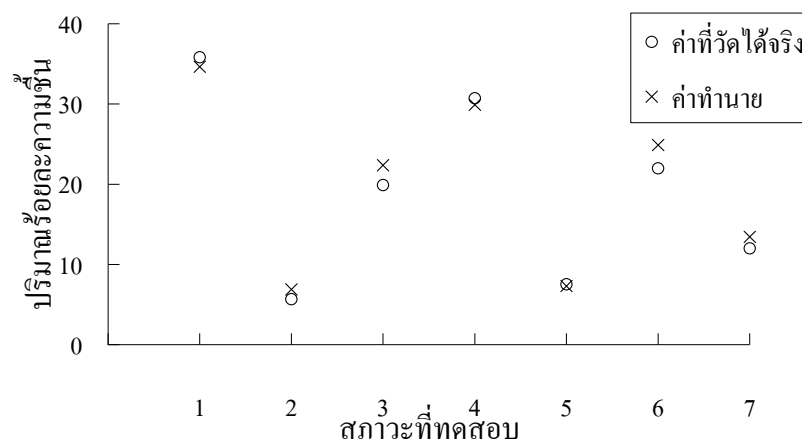
จำนวนชั้นซ่อน	จำนวนหน่วยประสาท	MSE	r
1	5	1.0252	0.9925
1	10	0.6964	0.9949
1	15	0.5916	0.9957
1	20	0.3969	0.9972
2	5	0.8296	0.9938
2	10	0.1989	0.9986
2	15	0.2792	0.9980
2	20	0.1040	0.9988

ดังนั้น โครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายค่าปริมาณร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง คือ โครงสร้างที่มีจำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 2 ชั้น และมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน เท่ากับ 20 นิวรอน ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับทำนายปริมาณร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

จากโครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่ได้ ซึ่งมีจำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 2 ชั้น และมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน เท่ากับ 20 นิวรอน เมื่อนำมาใช้ในการทำนายปริมาณร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งของข้อมูลชุดทดสอบที่มีสถานะการทดสอบดังตารางผนวก ค1 พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริงดังแสดงในภาพที่ 16 โดยค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการทดสอบเครือข่ายประสาทเทียม มีค่าเท่ากับ 2.8913 และ 0.9909 ตามลำดับ



ภาพที่ 16 กราฟเปรียบเทียบค่าปริมาณร้อยละความชื้นที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายจากเครือข่ายประสาทเทียม

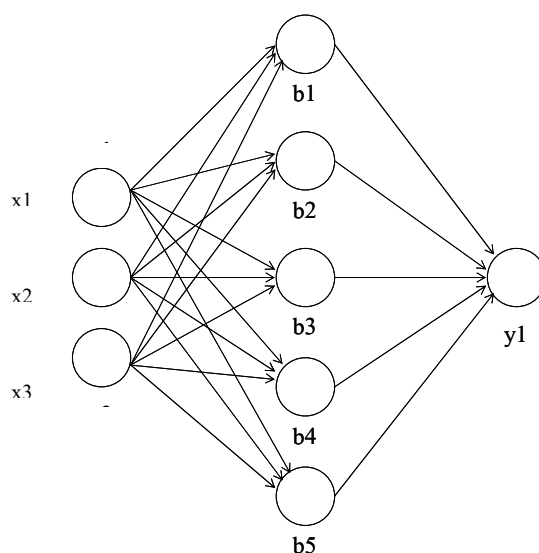
6.1.2 แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมแบบที่ใช้ water activity เป็นข้อมูลออก

จากการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายค่า water activity ของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง พบว่า โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุดเมื่อมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนเท่ากับ 5 นิวรอน และเมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนจะทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนโครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น เมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนจะทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองลดลง และจะลดลงมากที่สุดเมื่อจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนเท่ากับ 15 นิวรอน จากนั้นเมื่อทำการเพิ่มหน่วยประสาทในชั้นซ่อนจะทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 10 ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายประสาทเทียมได้แต่เมื่อมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนมากเพียงพอแล้ว การเพิ่มอีกก็ไม่มีผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายประสาทเทียมเพิ่มขึ้น (Thaksinpattanaphong, 2005) ส่วนค่าสหสัมพันธ์ พบว่า เมื่อทำการเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนจะทำให้ค่าสหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการฝึกฝนและการทดสอบเครือข่ายประสาทเทียม แบบที่ใช้ water activity เป็นข้อมูลออก

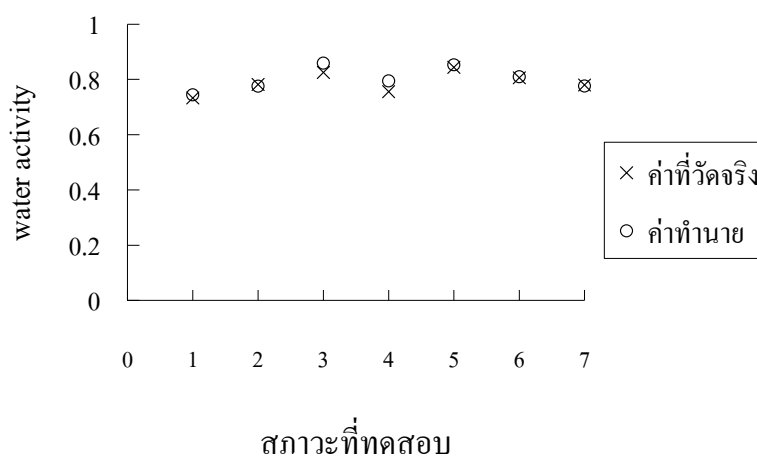
จำนวนชั้นซ่อน	จำนวนหน่วยประสาท	MSE	r
1	5	1.67×10^{-3}	0.8278
1	10	1.97×10^{-3}	0.8082
1	15	2.68×10^{-3}	0.7340
1	20	3.61×10^{-3}	0.7235
2	5	2.63×10^{-3}	0.7048
2	10	2.58×10^{-3}	0.7499
2	15	2.11×10^{-3}	0.5634
2	20	2.95×10^{-3}	0.7317

ดังนั้น โครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายค่า water activity ของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง คือ โครงสร้างที่มีจำนวนชั้นซ่อน เท่ากับ 1 ชั้น และมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน เท่ากับ 5 นิวรอน ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับทำนาย water activity ของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง

จากโครงสร้างเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมที่ได้ ซึ่งมีจำนวนชั้นซ่อน เท่ากับ 1 ชั้น และมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน เท่ากับ 5 นิวรอน เมื่อนำมาใช้นำค่า water activity ของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งของข้อมูลชุดทดสอบที่มีสภาวะการทดสอบดังตาราง ผวนก ค2 พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริงดังแสดงในภาพที่ 18 โดยค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการทดสอบเครือข่าย ใยประสาทเทียม มีค่าเท่ากับ 4.24×10^{-4} และ 0.9075 ตามลำดับ



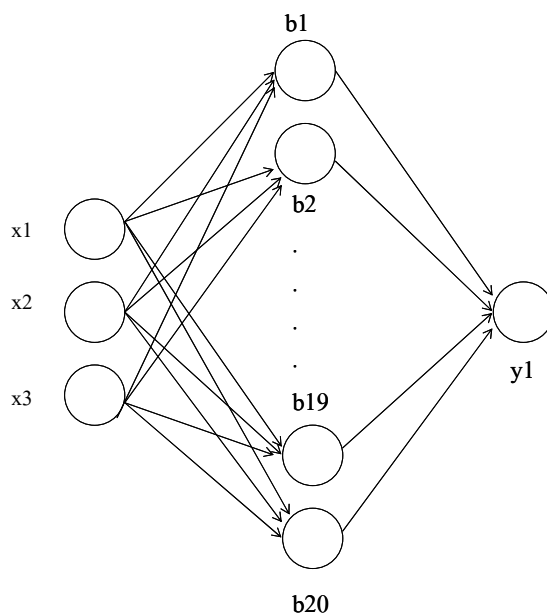
ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบค่า water activity ที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายจากเครือข่าย ใยประสาทเทียม

6.1.3 แบบจำลองเครือข่ายใยประสาทเทียมแบบที่ใช้ความสว่างเป็นข้อมูลออก

จากการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายใยประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง พบว่า โครงสร้างเครือข่ายใยประสาท เทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น เมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนจะทำให้ค่าเฉลี่ยของความ คลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าลดลง โดยจะลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน จาก 5 นิวรอน เป็น 15 นิวรอน และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองจะน้อยที่สุดเมื่อมี จำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน เท่ากับ 20 นิวรอน ส่วนโครงสร้างเครือข่ายใยประสาทเทียมที่มี จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น เมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนจาก 5 นิวรอน เป็น 10 นิวรอน จะ ทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นเมื่อทำการเพิ่มหน่วยประสาท ในชั้นซ่อนจะทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าลดลง ส่วนค่าสหสัมพันธ์ พบว่า เมื่อทำการเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทจะมีผลทำให้มีค่าสหสัมพันธ์เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการฝึกฝนและการทดสอบเครือข่ายประสาทเทียม แบบที่ใช้ความสว่างเป็นข้อมูลออก

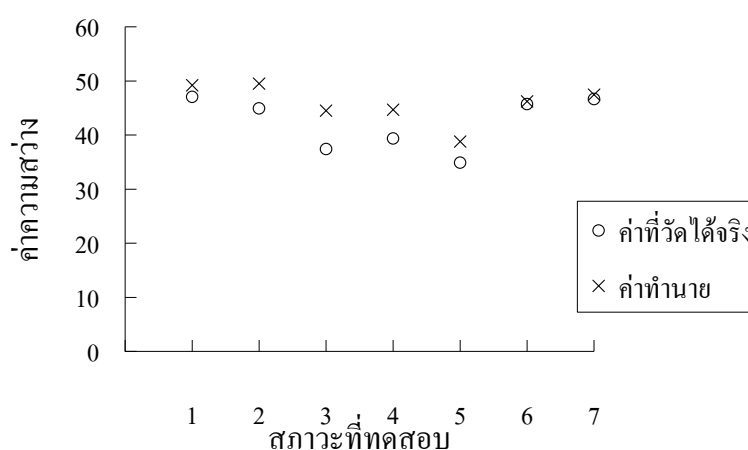
จำนวนชั้นซ่อน	จำนวนหน่วยประสาท	MSE	r
1	5	14.2601	0.6636
1	10	6.4232	0.8656
1	15	3.3580	0.9318
1	20	2.9855	0.9389
2	5	9.4780	0.7690
2	10	10.5057	0.7794
2	15	7.5781	0.8577
2	20	6.7486	0.8662



ภาพที่ 19 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มมอบแห้ง

ดังนั้น โครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง คือ โครงสร้างที่มีจำนวนชั้นซ่อน เท่ากับ 1 ชั้น และมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน เท่ากับ 20 นิวรอน ดังแสดงในภาพที่ 19

จากโครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่ได้ ซึ่งมีจำนวนชั้นซ่อน เท่ากับ 1 ชั้น และมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน เท่ากับ 20 นิวรอนหน่วย เมื่อนำมาใช้ทำนายค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งของข้อมูลชุดทดสอบที่มีสภาวะการทดสอบดังตารางผนวก ค3 พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริงดังแสดงในภาพที่ 20 โดยค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการทดสอบเครือข่ายประสาทเทียม มีค่าเท่ากับ 17.2090 และ 0.8834 ตามลำดับ



ภาพที่ 20 กราฟเปรียบเทียบค่าความสว่างที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายจากเครือข่ายประสาทเทียม

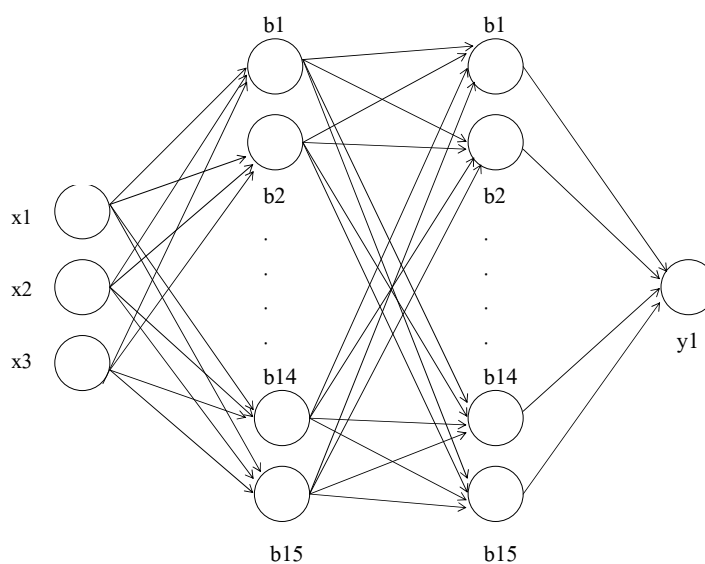
6.1.4 แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมแบบที่ใช้ความแข็งแรงเป็นข้อมูลออก

จากการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง พบว่า โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 และ 2 ชั้น เมื่อเพิ่มจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนจะทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าลดลง และจะลดลงมากที่สุดเมื่อมีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น โดยแต่ละชั้นมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนเท่ากับ 15 นิวรอน จากนั้นเมื่อทำการเพิ่มหน่วยประสาท

ในชั้นซ่อนจะทำให้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อทำการเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนจะมีผลทำให้ค่าสหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 12

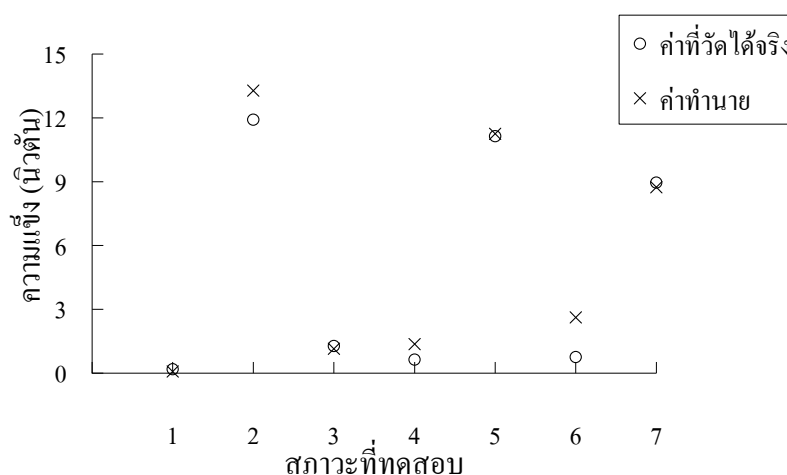
ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการฝึกฝนและการทดสอบเครือข่ายประสาทเทียม แบบที่ใช้ความแข็งแกร่งเป็นข้อมูลออก

จำนวนชั้นซ่อน	จำนวนหน่วยประสาท	MSE	r
1	5	0.6840	0.9830
1	10	0.4434	0.9886
1	15	0.4338	0.9889
1	20	0.3281	0.9919
2	5	0.3607	0.9907
2	10	0.3005	0.9928
2	15	0.1214	0.9969
2	20	0.1288	0.9968



ภาพที่ 21 โครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความแข็งแกร่งของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

ดังนั้น โครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง คือ โครงสร้างที่มีจำนวนชั้นซ่อน เท่ากับ 2 ชั้น และมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน เท่ากับ 15 นิวรอน ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 22 กราฟเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายจากเครือข่ายประสาทเทียม

จากโครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมที่ได้ ซึ่งมีจำนวนชั้นซ่อน เท่ากับ 2 ชั้น และมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน เท่ากับ 15 นิวรอน เมื่อนำมาใช้ทำนายค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งของข้อมูลชุดทดสอบที่มีสภาวะการทดสอบดังตารางผนวก ก4 พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริง ดังแสดงในภาพที่ 22 โดยค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการทดสอบเครือข่ายประสาทเทียม มีค่าเท่ากับ 0.8530 และ 0.9884 ตามลำดับ

6.2 การศึกษาแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

จากการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) แบบเชิงเส้นตรง (linear regression) และไม่ใช่เชิงเส้นตรง (nonlinear regression) แบบสมการ Quadratic ของแต่ละคุณลักษณะ พบว่า ในคุณลักษณะปริมาณร้อยละความชื้น water activity และความแข็งแรง สมการไม่ใช่เชิงเส้นตรง มีความเหมาะสมมากกว่าสมการแบบเชิงเส้นตรงเนื่องจากสมการไม่ใช่เชิงเส้นตรง มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองน้อยกว่า แต่มีค่าสหสัมพันธ์สูงกว่าสมการ

แบบเชิงเส้นตรง ส่วนคุณลักษณะความสว่าง พบว่า การวิเคราะห์การถดถอยไม่เหมาะสมสำหรับการทำนายคุณภาพทางด้านความสว่าง เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองที่มาก และมีค่าสหสัมพันธ์น้อย ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยในแต่ละคุณลักษณะ

คุณลักษณะ	ชนิดสมการ Regression	MSE	r
ปริมาณร้อยละความชื้น	แบบเชิงเส้นตรง	14.9840	0.8944
	แบบสมการ Quadratic	5.6865	0.9667
Water activity	แบบเชิงเส้นตรง	2.63×10^{-3}	0.7505
	แบบสมการ Quadratic	2.14×10^{-3}	0.8172
ความสว่าง	แบบเชิงเส้นตรง	27.3471	0.3166
	แบบสมการ Quadratic	27.5702	0.4654
ความแข็ง	แบบเชิงเส้นตรง	7.0318	0.8691
	แบบสมการ Quadratic	1.1337	0.9828

เมื่อทำการทดสอบสมการการวิเคราะห์การถดถอยที่เหมาะสม พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองจากการทดสอบสมการจะมีค่าสูงกว่าค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองจากการสร้างสมการ และค่าสหสัมพันธ์จากการทดสอบสมการมีค่าต่ำกว่าจากการสร้างสมการ ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าสหสัมพันธ์ของการทดสอบสมการการวิเคราะห์การถดถอยในแต่ละคุณลักษณะ

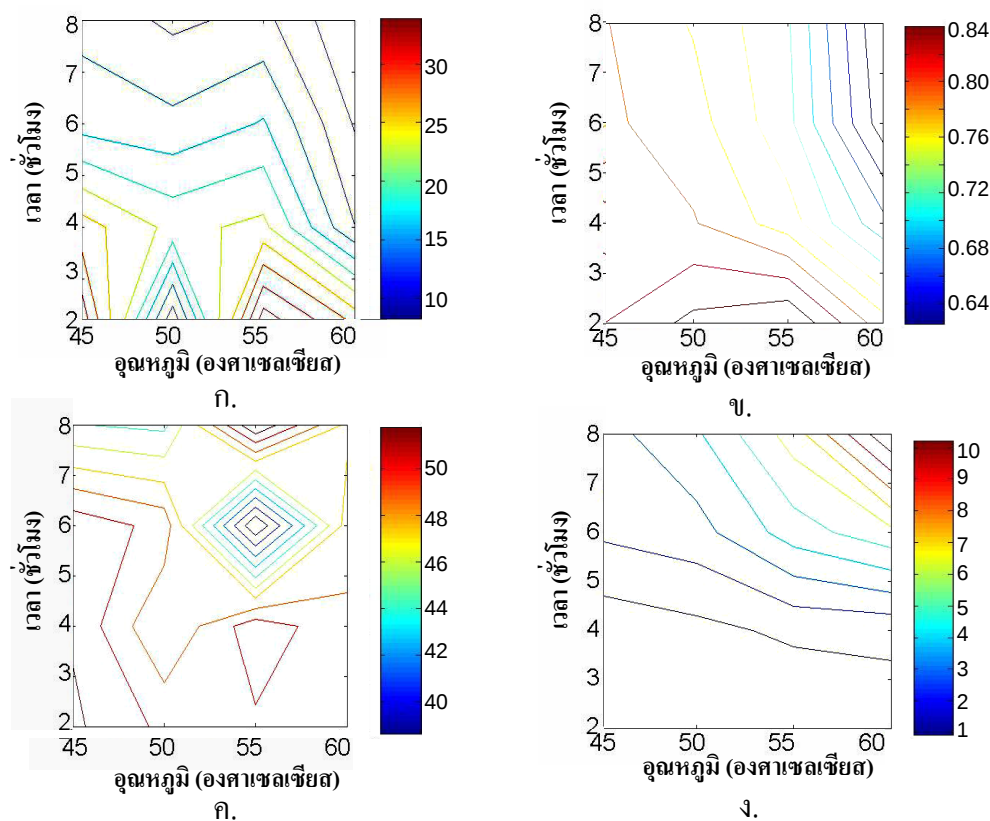
คุณลักษณะ	MSE	r
ปริมาณร้อยละความชื้น	12.5524	0.9491
Water activity	3.72×10^{-3}	0.8060
ความสว่าง	11.8550	0.6525
ความแข็ง	4.8040	0.8968

6.3 การคัดเลือกแบบจำลอง

เมื่อทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมกับแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย พบว่า แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมมีความเหมาะสมมากกว่าแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยในทุกคุณลักษณะ เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองน้อยกว่า แต่มีค่าสหสัมพันธ์สูงกว่า ดังนั้นจึงทำการหาสถานะที่เหมาะสมในการอบแห้งมะกรูดแช่อิ่มของแต่ละคุณลักษณะจากแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม

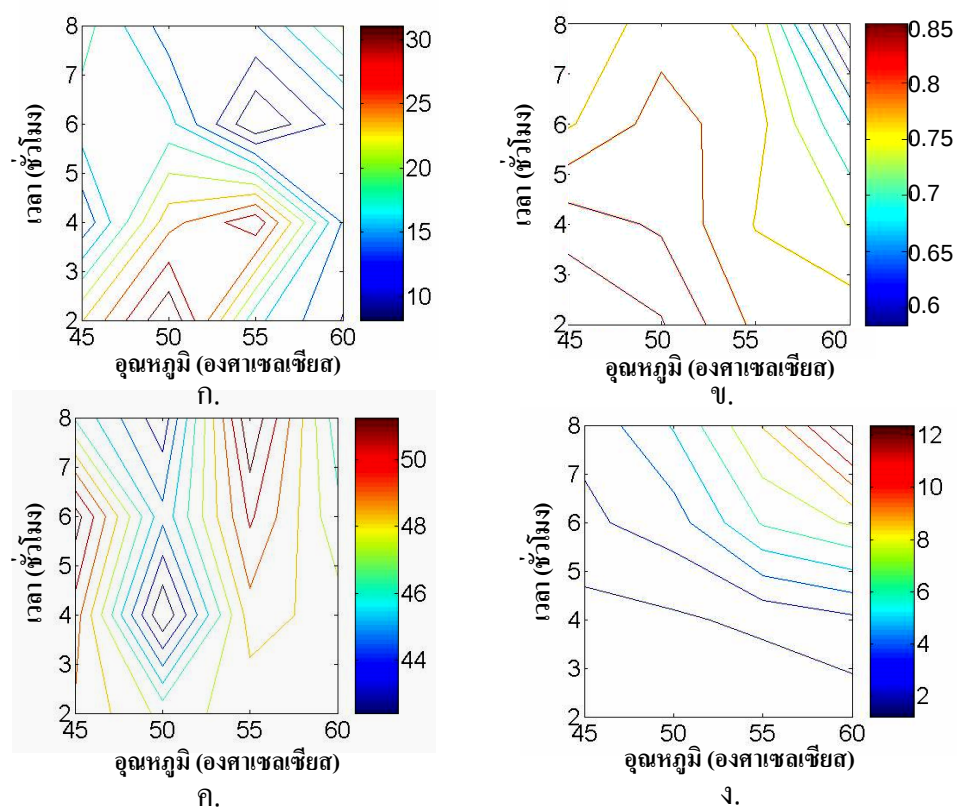
7 การหาสถานะที่เหมาะสมในการอบแห้งมะกรูดแช่อิ่ม

จากแบบจำลองที่เหมาะสมของแต่ละคุณลักษณะ นำมาสร้างแผนภาพ contour ด้วยโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 6.5 โดยนำผลลัพธ์ (Output) ที่ได้จากแบบจำลองที่เหมาะสมของแต่ละคุณลักษณะในการทดลอง (cross validation) ครั้งที่ 1 มาทำการสร้างแผนภาพ contour ของแต่ละคุณลักษณะ โดยกำหนดให้ปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดก่อนการอบแห้งมีค่าคงที่ที่ร้อยละ 45 เนื่องจากต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีความหวานน้อย พบว่า แผนภาพ contour ของคุณลักษณะต่างๆ แสดงดังภาพที่ 23 เมื่อนำแผนภาพ contour ดังกล่าวมาทำการซ้อนทับกันเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตมะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง พบว่า ไม่มีพื้นที่ซ้อนทับกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากสถานะดังกล่าวไม่ใช่สถานะที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งต้นแบบ

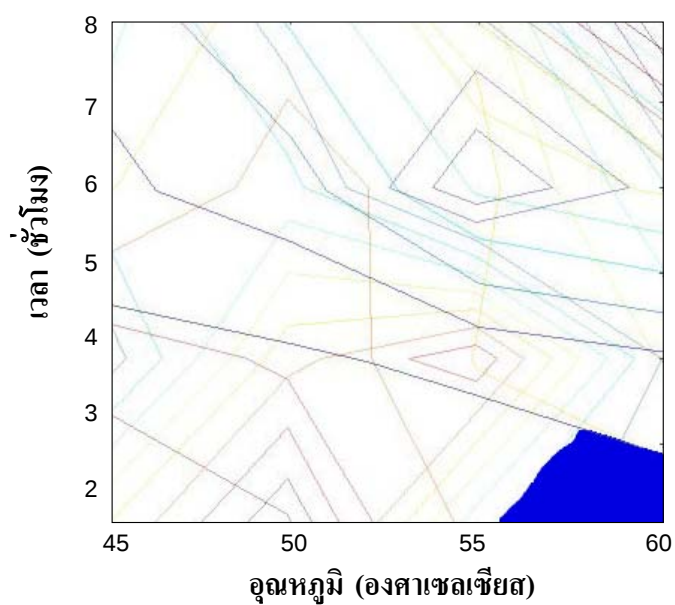


ภาพที่ 23 แผนภาพ contour ของคุณลักษณะต่างๆที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 45
 ก. ปริมาณร้อยละความชื้น ข. water activity ค. ความสว่าง ง. ความแข็ง

จากนั้นจึงทำการเพิ่มปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดจากร้อยละ 45 เป็น 50 จะได้แผนภาพ contour ของคุณลักษณะต่างๆ แสดงดังภาพที่ 24 เมื่อนำมาซ้อนทับกันในแต่ละคุณลักษณะ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งมีคุณลักษณะต่างๆใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ คือ ที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 58-60 องศาเซลเซียส เวลา 2-3 ชั่วโมง ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 24 แผนภาพ contour ของคุณลักษณะต่างๆที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 50
 ก. ปริมาณร้อยละความชื้น ข. water activity ค. ความสว่าง ง. ความแข็ง



ภาพที่ 25 สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมะกรูดเชื่อมที่มีปริมาณร้อยละของแข็งเท่ากับ 50

จากนั้นนำสภาวะที่เกิดจากพื้นที่ที่ซ้อนทับกันซึ่งได้แก่ ที่อุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากับ 58 และ 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 2 และ 3 ชั่วโมง มาทำการผลิตมะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง แล้วทำการทดสอบผู้บริโภคนจำนวน 50 คน โดยการให้คะแนนความชอบรวม 9 ระดับ (9-point Hedonic scale) พบว่า ที่อุณหภูมิการอบแห้งเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 2 และ 3 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิการอบแห้งเท่ากับ 58 องศาเซลเซียส เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 3 ชั่วโมง ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีคะแนนความชอบรวมสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) กับจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิการอบแห้งเท่ากับ 58 องศาเซลเซียส เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่า ที่อุณหภูมิการอบแห้งเท่ากับ 58 และ 60 องศาเซลเซียส แต่มีเวลาการอบแห้งเท่ากัน คือ 2 ชั่วโมง มีคะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 15

ดังนั้นจึงทำการเลือกสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิการอบแห้งเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 2 ชั่วโมง มาทำการผลิตผลิตภัณฑ์และทำการทดสอบผู้บริโภคต่อไป เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและต้นทุนในการผลิต เนื่องจากผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมไม่แตกต่างจากการอบแห้งที่เวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 15 คะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งที่มีสภาวะการอบแห้งต่างๆ

สภาวะการอบแห้ง		คะแนนความชอบรวม
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	
58	2	5.75±1.26 ^b
58	3	6.60 ±1.55 ^a
60	2	6.28 ±1.81 ^{ab}
60	3	6.80 ±1.07 ^a

หมายเหตุ a-b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

เมื่อทำการวัดค่าคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง ที่มีสภาวะการอบแห้งเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 2 ชั่วโมง มีค่าดังแสดงในตารางที่ 16 ซึ่งพบว่า ปริมาณความชื้น ค่า water activity ค่าความสว่าง และค่าความแข็ง มีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 16 ค่าคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

คุณลักษณะ	ค่าคุณลักษณะ
ปริมาณความชื้น	15.2%
Water activity	0.70
ความสว่าง (Lightness)	40
ความแข็ง (Hardness)	0.36 N

8 การทดสอบผู้บริโภค

จากการทดสอบผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง ด้วยวิธี 9 Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 200 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมีลักษณะเชิงประชากรศาสตร์ ดังตารางที่ 17 ได้คะแนนความยอมรับผลิตภัณฑ์ด้านคุณลักษณะด้านต่างๆ ซึ่งได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความสว่างของผลิตภัณฑ์ ความหวาน ความแข็งของผลิตภัณฑ์ และความชอบโดยรวม ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 17 ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์

ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์		จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ	ชาย	86	43.0
	หญิง	114	57.0
อายุ	20-30 ปี	84	42.0
	31-40 ปี	36	18.0
	41-50 ปี	52	26.0
	มากกว่า 50 ปี	28	14.0

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์		จำนวน (คน)	ร้อยละ
การศึกษา	ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	7	3.5
	มัธยมศึกษา	27	13.5
	อนุปริญญา	20	10.0
	ปริญญาตรี	122	61.0
	สูงกว่าปริญญาตรี	24	12.0
อาชีพ	นิสิต/นักศึกษา	78	39.0
	รับราชการ	52	26.0
	รัฐวิสาหกิจ	4	2.0
	พนักงานบริษัทเอกชน	43	21.5
	ธุรกิจส่วนตัว	12	6.0
	แม่บ้าน	9	4.5
	อื่น	2	1.0
รายได้ต่อเดือน	ต่ำกว่า 5,000 บาท	41	20.5
	5,001 - 10,000 บาท	53	26.5
	10,001 – 15,000 บาท	39	19.5
	15,001 – 20,000 บาท	30	15.0
	20,001 – 25,000 บาท	21	10.5
	มากกว่า 25,000 บาท	16	8.0

ตารางที่ 18 คะแนนความยอมรับผลิตภัณฑ์คุณลักษณะด้านต่างๆ

คุณลักษณะ	คะแนน
ลักษณะปรากฏ	6.88±1.06
สี (ความสว่าง)	7.09±1.06
ความหวาน	6.63±1.35
ความแข็ง	6.95±1.15
ความชอบรวม	7.05±1.04

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการสำรวจการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค พบว่า มีผู้บริโภคยอมรับในผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง ร้อยละ 88 ไม่ยอมรับร้อยละ 12 และจากการสอบถามว่าถ้าผลิตภัณฑ์มีสรรพคุณแก้ลมหน้ามืด แก้ลมวิงเวียน บำรุงหัวใจ ขับลมในลำไส้ ขับระดู ขับผายลม พบว่า ผู้บริโภคจะให้การยอมรับเพิ่มขึ้นร้อยละ 98.5 ยังไม่ยอมรับร้อยละ 1 และไม่ตอบร้อยละ 0.5 ส่วนการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค พบว่า มีผู้บริโภคสนใจซื้อร้อยละ 59.5 ยังไม่แน่ใจร้อยละ 37 และไม่ซื้อร้อยละ 3.5 ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 การยอมรับและความสนใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

การยอมรับและการตัดสินใจซื้อ		จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
การยอมรับ	ยอมรับ	176	88.0
	ไม่ยอมรับ	24	12.0
การยอมรับถ้าผลิตภัณฑ์มีสรรพคุณทางยา	ยอมรับ	197	98.5
	ไม่ยอมรับ	2	1.0
	ไม่ตอบ	1	0.5
การตัดสินใจ	ซื้อ	119	59.5
	ไม่แน่ใจ	74	37
	ไม่ซื้อ	7	3.5

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั่วไปหรือลักษณะทางประชากรศาสตร์ ซึ่งได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ และรายได้ กับการยอมรับและความสนใจซื้อมะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง โดยศึกษาจากการวิเคราะห์หาค่าไคสแควร์ (chi-square) ดังตารางผนวก ข1 พบว่า เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ และรายได้ ไม่มีอิทธิพลต่อการยอมรับและความสนใจซื้อมะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง อย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ผลผลิตพันธุ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งจากจังหวัดอ่างทองมีคะแนนความชอบสูงสุดในทุกคุณลักษณะ โดยมีคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 6.94 มีปริมาณร้อยละความชื้นเท่ากับ 13.7 ค่า water activity เท่ากับ 0.674 ค่าความสว่างเท่ากับ 29.582 และค่าความแข็งเท่ากับ 0.319 นิวตัน

2. สมการที่เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดกับเวลาคือ สมการลอการิทึม $y = 5.4671\ln(x) + 50.17$ โดย y คือ ปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมด และ x คือเวลาในการเชื่อม (ชั่วโมง) สมการดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองเท่ากับ 2.4621 และมีค่า r เท่ากับ 0.9677 และเมื่อทำการทดสอบสมการพบว่า มีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองเท่ากับ 0.2448 จากสมการดังกล่าวสามารถทราบถึงเวลาที่ใช้ในการเชื่อมที่ทำให้ได้ปริมาณละของของแข็งทั้งหมดในตัวผลิตภัณฑ์ตามต้องการเพื่อใช้เป็นตัวแปรนำเข้าในการศึกษาอิทธิพลของปริมาณละของของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะกรูดเชื่อมอุณหภูมิในการอบแห้ง และเวลาในการอบแห้ง ที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในด้านปริมาณความชื้น ค่า water activity (a_w) ความสว่าง และความแข็ง ด้วยแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย

3. เครือข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับทำนายค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งมากกว่าแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย เนื่องจากมีค่า MSE ต่ำกว่า แต่มีค่าสหสัมพันธ์สูงกว่าแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย โดยเครือข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าปริมาณความชื้น คือ เครือข่ายที่มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น โดยมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน 20 นิวรอนในแต่ละชั้น สำหรับการทำนายค่า water activity คือ เครือข่ายที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น โดยมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน 5 นิวรอน สำหรับการทำนายค่าความสว่าง คือ เครือข่ายที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น โดยมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน 20 นิวรอน สำหรับการทำนายค่าความแข็ง คือ เครือข่ายที่มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น โดยมีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน 15 นิวรอนในแต่ละชั้น ซึ่งเครือข่ายประสาทเทียมนี้เป็นแบบจำลองที่

มีความเหมาะสมสำหรับทำนายค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งมากกว่าแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย เนื่องจากแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองที่ได้จากการทำนายค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย แต่มีค่าสหสัมพันธ์สูงกว่าแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอย

4. สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้งมีคุณลักษณะต่างๆ ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ คือ ที่ปริมาณร้อยละของของแข็งทั้งหมดก่อนการอบแห้งเท่ากับ 50 อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าปริมาณร้อยละความชื้นเท่ากับ 15.2 ค่า water activity เท่ากับ 0.7 ค่าความสว่างเท่ากับ 40 และค่าความแข็งเท่ากับ 0.36 นิวตัน

5. จากการทดสอบผู้บริโภครพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ ความสว่างของผลิตภัณฑ์ ความหวาน ความแข็งของผลิตภัณฑ์ และความชอบโดยรวม ในระดับชอบปานกลาง และผู้บริโภคให้การยอมรับในมะกรูดแช่อิ่มอบแห้งร้อยละ 88.0 มีความสนใจซื้อร้อยละ 59.5 และยังไม่แน่ใจร้อยละ 37 แต่ไม่พบความสัมพันธ์ของข้อมูลทางประชากรศาสตร์ที่มีต่อการยอมรับและความสนใจซื้อของผลิตภัณฑ์

ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ควรนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดจากแหล่งอื่นๆ มาทำการทดสอบผู้บริโภครด้วย

2. สำหรับการสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม ควรทำการพัฒนาขั้นตอนในการปรับค่าน้ำหนัก และค่า Bias โดยศึกษาจากวิธีอื่นๆ เช่น วิธีของ Levenberg Marquardt Algorithm เป็นต้น เพื่อให้โปรแกรมมีการลู่เข้าคำตอบเร็วขึ้น และมีความคลาดเคลื่อนทั้งหมดน้อยลง

3. ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมแบบที่ทำนายข้อมูลออก (Output) รวมทั้งหมด

4. ควรทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้งที่ผ่านการพัฒนากระบวนการผลิตแล้ว

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

เชาวน์ กลีพันธุ์. 2522. ตำราเภสัชศึกษา. สมาคมแพทย์เภสัชกรรมไทยโบราณ, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ นิยมวิทย์, จุฑามาศ เอกวิภาต, อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ และสิริพันธุ์ จุลกรังกะ. 2524. ตำราแซ่
อิม. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เทพพนม เมืองแมน, ภรณ์ หวังธำรงวงศ์, อรษา สุดเชิยรกุล, วรรณญา แสงเพชรส่อง และร่มไทร กล้า
สุนทร. 2533. คู่มือสมุนไพรรักษาโรคตามกลุ่มอาการ. คณะสาธารณสุข
มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

นันทวัน เทอดไทย. 2548. เอกสารการสอนวิชาการสร้างแบบจำลองเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์.
ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปกรณ์ อินทะเทพ. 2545. โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์ฝนตกในเขต
กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพบุลย์ ธรรมรัตน์वासिक. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. โอ.เอส.พรีนซ์ดีง เฮาส์, กรุงเทพฯ.

รศกร ด้านสกุล. 2546. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation ในการพยากรณ์อัตรา
การไหลรายวัน: กรณีศึกษาแม่น้ำปราชินบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรุณ พุกศิริวงศ์. 2547. การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการควบคุมการผลิตเอทานอลจากกากมัน
สำปะหลังด้วยการหมักแบบครึ่งคราว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชัย หลุทัยธนาสันต์. 2521. หลักการถนอมและการแปรรูปผักและผลไม้เบื้องต้น.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมยศ ตั้งเจริญจิตกุล. 2547. การประยุกต์ให้โครงข่ายใยประสาทเทียมในการทำนายระดับน้ำแม่น้ำ
ปิง ณ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2549. ผลไม้แช่อิ่ม. สถาบันวิจัย
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร.

สถาบันอาหาร. 2544. รายงาน Food Insight ผลไม้และผลิตภัณฑ์แปรรูป. ปีที่ 1 ฉบับที่ 7 เดือน
เมษายน 2544.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2546. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลไม้แช่อิ่ม. มผช.
161/2546.

สุกัญญา พัวพันธ์. 2549. บทความส่งเสริมการเกษตร เรื่อง “มะกรูด” สรรพคุณยาไทย. ฝ่าย
ประชาสัมพันธ์ กองเกษตรสัมพันธ์ กรมส่งเสริมการเกษตร.

สุดาทิพย์ แซ่ตัน. 2550. การลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบด้วย
วิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงและโครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวิษ ศรีวัฒนาโยธิน. 2530. การศึกษาการถ่ายเทมวลในกระบวนการผลิตมะละกอแช่อิ่ม.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจดุนบุรี.

สุประภาพร พัฒน์สิงห์เสนีย์. 2547. การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาท
เทียมและแบบจำลองทางอุทกศาสตร์ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิงตอนบน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อ่อนรวี รัตนพันธุ์. 2533. หลักการทำแห้งด้วยวิธี osmotic. อาหาร 20(4) : 220 - 245.

อารีย์ เทียนไชย. 2532. การศึกษาพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์การอบแห้งสับประรดแช่
ิ่ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Beristain, G. R., E. Azuara, R. Cortes, and H. S. Garcia. 1990. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple ring. **Int. J. Food Sci.** 25: 576-582.
- Bolin, H.R., C. C. Huxsol, R. Jackson and K. C NG. 1983. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. **J. Food Sci.** 48: 202 – 205.
- Bongirwar, D. R. and A. Screenivasan. 1977. Studies on osmotic dehydration of banana. **J. Food Sci. Technol.** 14: 104 -112.
- Clarke, M. A. and P. Reiser. 1995. Technological value of sucrose in food products, pp. 223 – 247, *In* M. Mathlouthi. (ed.). **Sucrose: Properties and Applications**. Blackie Academic and Professional An Imprint of Chapman & Hall, England.
- Contreras, J. E. and T. G. Smyrl. 1981. An evaluation of osmotic concentration of apple ring using corn syrup solid solution. **Can. Inst. Food Sci. Technol. J.** 16: 25 – 29.
- Conway, J. E. and T. G. Smyrl. 1981. An evaluation of osmotic concentration of apple ring using corn syrup solid solution. **Can. Int. Food Sci. Technol. J.** 14: 310 – 314.
- Demuth, H. and M. Beale. 2002. **Neural Network Toolbox for Use with MATLAB for User's Guide**. The Math Works, Inc, The United States. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
- Dixon, G. M., J. J. Jen, and V.A. Paynter. 1976. Tasty apple slices result from combined osmotic-dehydration and vacuum-drying process. **Food Prod. Devel.** 10(7): 60, 62, 64.
- Farkas, D. F. and E. Lazar. 1969. Osmotic dehydration of apple pieces : Effect of temperature and syrup concentration of rates. **Food Technol.** 23: 90 – 92.
- Fausett, L. 1994. **Fundamentals of Neural Networks**. Prentice Hall, Inc, New jersey. 461 pages.

- Godshall, M. A. 1995. Role of sucrose in retention of aroma and enhancing the flavor of food, pp. 248 – 263, *In* M. Mathlouthi. (ed.). **Sucrose: Properties and Applications**. Blackie Academic and Professional An Imprint of Chapman & Hall, England.
- Hawkes, J. and J. M. Flink. 1978. Osmotic dehydration of fruit slices prior to freeze dehydration. **J. Food Proc. and Pres.** 2: 265 – 284.
- Henderson, C.E., W.D. Potter, R.W. McClendon and G. Hoogenboom. 2000. Predicting Aflatoxin Contamination in Peanuts: **A Genetic Algorithm/Neural Network Approach**. *Applied Intelligence*. 12: 183-192.
- Islam, C. N. and J. N. Flink. 1982. Dehydration of potato: Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. **J. Food. Technol.** 11: 181 – 185.
- Jena, S. and H. Das. 2005. Modelling for moisture variation during osmo-concentration in Apple and Pineapple. **J. Food. Engineering**. 66: 425-432.
- Junqueira, R.M., I.A. Castro, J.A.G. Areas, A.C.C. Silva, M.B.S. Scholz, S. Mendes and K.C. Oliveir. 2007. Application of response surface methodology for the optimization of oxidants in wheat flour. **Food Chem.** 101: 131–139.
- Lazarides, H. N. 1995. Osmotic preconcentration as a tool in freeze preservation of fruits and vegetables, *In*: Lenart, A. and Lewicki, P. P. (Eds). **Proceedings of the Second International Seminar on Osmotic Dehydration of fruit and vegetables**. Warsaw, April 18-19, 1994, 88-98.
- Lazarides, H. N. 2001. Reason and Possibilities to Control Solid Uptake during Osmotic Treatment of Fruit and Vegetables, *In*: Barbosa-Canovas, V. G. (Eds). **Food Preservation Technology Series, Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation**. Technomic Publishing Company, Inc. USA.

- Lenart, A. 1991. Effect of saccharose on water sorption and rehydration of dried carrot, In: Mujumdar, A. S. and Filkova, I. (Eds). **Drying '91**. Amsterdam: Elsevier Science, 489 pages.
- Lenart, A. and J. M. Flink 1984. Osmotic concentration of potato : I. Criteria for the end point of the osmosis process. **J. Food Technol.** 19: 45 – 63.
- Lenart, A. and P.P.Lewicki. 1988. **Energy consumption during osmotic and convective drying of plant tissue**. Acta Alimentaria Polonica. XIV(1): 65.
- Lerici, C. R., G. Pinnavaia, M. D. Rosa and Bartolucci. 1985. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **J. Food Sci.** 50: 1217-1226.
- Lertworasirikul, S. and Y. Tipsuwan. 2008. Moisture content and water activity prediction of semi-finished cassava crackers from drying process with artificial neural network. **J. Food. Engineering.** 84: 65-74.
- Monsalve-Gonzalez, A., G. V. Barbosa-Canovas and R. P. Cavalieri. 1993. Mass transfer and textural changes during process of apple by combined method. **J. Food Sci.** 58: 1118-1124.
- Moy, J.H., N. B. H. Lau and A. M. Dollar. 1978. Effect of sucrose and acid on osmotic dehydration of tropical fruit. **J. Food Proc and Pres.** 2: 131-135.
- Nicol, W. M. 1971. Sweetener in foods. **Process Biochem.** 12 : 17.
- O' Mahony, J. S., M. L. Kahn and S. N. Adana. 1986. **Fruit infusion using a syrup which has been subjected to enzyme treatment and concentrated**. US. Patent No. 4 626 434. 9 pages.

- Ochoa-Matinez, C. I. and A. A. Ayala-Aponte. 2006. Prediction of transfer kinetics during osmotic dehydration of apples using neural networks. **J. Food Sci.** xxx.
- Page, G.F., J.B. Gomm and D. William. 1993. **Application of neural networks to modeling and control.** Chapman & Hall, London.
- Patterson, D.W. 1996. **Artificial Neural Networks: Theory and Application.** Prentice Hall, Inc., Singapore.
- Ponting, J. D., G. G. Watters, R. R. Forrey, R. Jackson and W. L. Stanley. 1966. Osmotic dehydration of fruit. **Food Technol.** 20: 125-128.
- Ponting, J.D. 1973. Osmotic dehydration of fruits: Recent modifications and applications. **Process Biochem.** 12: 8 -20.
- Rahman, M. S. and J. Lamb. 1990. Osmotic dehydration of pineapple. **J. Food Sci. Technol.** 27: 150-152.
- Raoult-Wack, A. L. 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of food. **Trends in Food Science and Technol.** 5: 225 – 260.
- Raoult, A. L., F. Lafont, G. Rios and S. Guilbert. 1989. Osmotic dehydration : Study of mass transfer in terms of engineering properties, pp. 487 – 495, *In* A. S. Mujumdar and M. A. Roques (eds.). **Drying' 89.** Montpellier, France.
- Ravindran, G. 1989. Osmotic dehydration of pineapple, pp. 109 – 112, *In* L. W. Sze and F. C. Woo (eds.). **Trends in food Science.** Conference Singapore.
- Shi, X. O. and P. F. Maupoey. 1993. Vacuum osmotic dehydration of fruits. **Drying Technol.** 11: 1429 -1442.

- Thaksinpattanaphong, P. 2005. **Temperature Prediction of Canned Food During Sterilization Process by Artificial Neural Networks**. The Degree of Master Engineering (Food Engineering) thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Theodoridis, S. and K. Koutroumbas. 1999. **Pattern Recognition Systems**. Academic Press, Inc., Sandiego. 625 pages.
- Varanyanond, W. and K. Wongkrajang. 1993. Dehydration techniques of some Thai fruits, pp. 61-72, *In* M. Manabe and S. Subhadrabandhu (Eds). **Studies on the cultivation and processing of tropical fruits in Thailand**. Kagawa University and Kasetsart University.
- Videv, K., S. Tanchev., R. C. Sharma and V. K. Joshi. 1990. Effect of sugar syrup concentration and temperature on the rate of osmotic dehydration of apple. **J. Food Sci. Technol.** 27: 307 – 308.
- Yamashita, F. and M. Hashida. 2003. **Mechanistic and empirical modeling of skin permeation of drugs**. *Advanced Drug Delivery Reviews* 55: 1185–1199.
- Yang, D. and M. L. Maguer. 1992. Mass Transfer Kinetics of Osmotic Dehydration of Mushroom. **J. Food Proc and Press.** 16: 215 – 231.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใบรายงานผลการทดสอบ Hedonic Scaling test

ตัวอย่าง มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

ชื่อผู้ทดสอบ _____

วันที่ _____

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบและบอกความรู้สึกที่มีต่อตัวอย่างตามคุณลักษณะที่กำหนด ตามคำอธิบายคะแนนความชอบและความรู้สึกที่กำหนด

สเกลความชอบ

- 1 = ไม่ชอบมากที่สุด
- 2 = ไม่ชอบมาก
- 3 = ไม่ชอบปานกลาง
- 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
- 5 = บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ
- 6 = ชอบเล็กน้อย
- 7 = ชอบปานกลาง
- 8 = ชอบมาก
- 9 = ชอบมากที่สุด

สเกลความรู้สึก

- 1 = อ่อนเกินไป
- 2 = พอดี
- 3 = เข้มมากเกินไป

รหัสตัวอย่าง	743		526		398	
คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ	ความรู้สึก	คะแนนความชอบ	ความรู้สึก	คะแนนความชอบ	ความรู้สึก
ลักษณะปรากฏ						
สี (ความสว่าง)						
กลิ่นรสมะกรูด						
รสหวาน						
ความแข็ง						
ความชอบรวม		XXXXX		XXXXX		XXXXX

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามสำหรับการทดสอบผู้บริโภครู้จักและค่าไคสแควร์จากการทดสอบผู้บริโภค

แบบสอบถาม
การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

เรียน ท่านผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มะกรูดแช่อิ่มอบแห้ง

คำชี้แจง : แบบสอบถามชุดนี้เป็นงานวิจัยเพื่อประกอบวิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตมะกรูดแช่อิ่มอบแห้งด้วยเทคนิคเครือข่ายใยประสาทเทียม ของ นางสาว รพีพร ตลับใหม่ นิสิตปริญญาโท สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านทำแบบทดสอบผลิตภัณฑ์และตอบแบบสอบถาม และขอรับรองว่าผลิตภัณฑ์ที่ท่านทดสอบได้ผ่านกรรมวิธีผลิตที่ถูกสุขลักษณะและมีความปลอดภัยในการบริโภค ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ โดยข้อมูลทั้งหมดจะไม่มีผลกระทบใดๆต่อท่านทั้งสิ้น ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมืออย่างดีมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ

ผู้วิจัย

คำแนะนำ : กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน () หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสมและตรงตาม
ความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. เพศ

() ชาย

() หญิง

2. อายุ

() 20-30 ปี

() 31-40 ปี

() 41-50 ปี

() 50 ปีขึ้นไป

3. ระดับการศึกษาสูงสุดที่ได้รับ

() ต่ำกว่าระดับมัธยมศึกษา

() มัธยมศึกษา

() อนุปริญญา (ปวช./ปวส.)

() ปริญญาตรี

() สูงกว่าปริญญาตรี

() อื่นๆ โปรดระบุ_____

4. อาชีพ

() นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา

() ข้าราชการ

() รัฐวิสาหกิจ

() พนักงานบริษัทเอกชน

() ธุรกิจส่วนตัว

() แม่บ้าน

() อื่นๆ โปรดระบุ_____

5. รายได้ต่อเดือน

() ต่ำกว่า 5,000 บาท

() 5,001-10,000 บาท

() 10,001-15,000 บาท

() 15,001-20,000 บาท

() 20,001-25,000 บาท

() มากกว่า 25,000 บาท

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง

1. กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

คุณลักษณะ	ชอบมากที่สุด	ชอบมาก	ชอบปานกลาง	ชอบเล็กน้อย	บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ	ไม่ชอบเล็กน้อย	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบมากที่สุด
ลักษณะปรากฏ									
สี (ความสว่าง)									
ความหวาน									
ความแข็ง									
ความชอบรวม									

2. ท่านยอมรับผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่

() ยอมรับ เพราะ.....

() ไม่ยอมรับ เพราะ.....

3. หากผลิตภัณฑ์มะกรูดเชื่อมอบแห้ง มีสรรพคุณแก้ลมหน้ามืด แก้ลมวิงเวียน บำรุงหัวใจ ขับลมในลำไส้ ขับระดู ขับผายลม ท่านจะยอมรับผลิตภัณฑ์นี้หรือไม่

() ยอมรับ เพราะ.....

() ไม่ยอมรับ เพราะ.....

4. หากมีผลิตภัณฑ์นี้ ท่านคิดว่าจะซื้อมาบริโภคหรือไม่

() ซื้อ เพราะ.....

() ไม่แน่ใจ เพราะ.....

() ไม่ซื้อ เพราะ.....

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าไคสแควร์ของการให้ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์
มะกรูดเชื่อมอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

	ค่าไคสแควร์	ค่านัยสำคัญ
การยอมรับ*เพศ	0.089	0.765
การยอมรับ*อายุ	1.495	0.683
การยอมรับ*การศึกษา	3.604	0.462
การยอมรับ*อาชีพ	6.824	0.337
การยอมรับ*รายได้	7.563	0.182

ภาคผนวก ค

สภาวะสำหรับการทดสอบเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสม

ตารางผนวกที่ ค1 สภาวะการทดสอบเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายแบบ
ที่ใช้ความชื้นเป็นข้อมูลนำออก

สภาวะที่ทดสอบ	ปริมาณน้ำตาลในเนื้อ มะกรูด (°บrix)	อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)
1	50	50	2
2	50	60	8
3	60	45	4
4	50	45	2
5	60	60	8
6	55	60	2
7	60	60	4

ตารางผนวกที่ ค2 สภาวะการทดสอบเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายแบบ
ที่ใช้ค่า water activity เป็นข้อมูลนำออก

สภาวะที่ทดสอบ	ปริมาณน้ำตาลในเนื้อ มะกรูด (°บrix)	อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)
1	60	50	2
2	50	60	8
3	50	50	2
4	45	45	8
5	50	55	2
6	45	50	2
7	45	45	2

ตารางผนวกที่ ค3 สภาวะการทดสอบเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความสว่างเป็นข้อมูลนำออก

สภาวะที่ทดสอบ	ปริมาณน้ำตาลในเนื้อ มะกรูด (°บริกซ์)	อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)
1	45	60	2
2	55	55	4
3	45	45	8
4	50	50	6
5	55	50	8
6	55	60	8
7	55	45	4

ตารางผนวกที่ ค4 สภาวะการทดสอบเครือข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความแข็งเป็นข้อมูลนำออก

สภาวะที่ทดสอบ	ปริมาณน้ำตาลในเนื้อ มะกรูด (°บริกซ์)	อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)
1	55	50	2
2	60	60	6
3	45	55	4
4	55	45	4
5	45	60	8
6	60	45	4
7	60	55	8

ภาคผนวก ง

ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายประสาทเทียม

ตารางผนวกที่ ง1 ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายใยประสาทเทียมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความชันเป็นข้อมูลออก

ค่าน้ำหนักของข้อมูลนำเข้า (a_{ij})			ค่าน้ำหนักของข้อมูลออก ($b_{k,l}$)
$a_{1,1} = -1.8369$	$a_{2,1} = 4.1579$	$a_{3,1} = -6.0913$	$b_{1,1} = 7.6004$
$a_{1,2} = -7.1186$	$a_{2,2} = 2.2608$	$a_{3,2} = -1.4070$	$b_{2,1} = 6.8003$
$a_{1,3} = -3.4506$	$a_{2,3} = 5.8871$	$a_{3,3} = 3.3468$	$b_{3,1} = 6.0003$
$a_{1,4} = -3.8676$	$a_{2,4} = -6.4707$	$a_{3,4} = -0.9685$	$b_{4,1} = 5.2003$
$a_{1,5} = 1.5398$	$a_{2,5} = -3.1325$	$a_{3,5} = -6.7514$	$b_{5,1} = -4.4002$
$a_{1,6} = 5.0501$	$a_{2,6} = -5.5426$	$a_{3,6} = 1.2416$	$b_{6,1} = -3.6002$
$a_{1,7} = -4.1528$	$a_{2,7} = -2.8026$	$a_{3,7} = 5.7154$	$b_{7,1} = 2.8001$
$a_{1,8} = 1.1007$	$a_{2,8} = -5.9064$	$a_{3,8} = 4.6550$	$b_{8,1} = -2.0001$
$a_{1,9} = 0.3458$	$a_{2,9} = 4.8082$	$a_{3,9} = 5.8760$	$b_{9,1} = -1.2001$
$a_{1,10} = -3.7093$	$a_{2,10} = -4.7508$	$a_{3,10} = 4.6300$	$b_{10,1} = 0.4000$
$a_{1,11} = -6.6188$	$a_{2,11} = -1.0110$	$a_{3,11} = 3.5965$	$b_{11,1} = -0.4000$
$a_{1,12} = -2.5711$	$a_{2,12} = -6.8815$	$a_{3,12} = -1.9493$	$b_{12,1} = -1.2001$
$a_{1,13} = -2.1732$	$a_{2,13} = 2.7580$	$a_{3,13} = -6.7406$	$b_{13,1} = -2.0001$
$a_{1,14} = 5.7487$	$a_{2,14} = -2.0019$	$a_{3,14} = -4.5509$	$b_{14,1} = 2.8001$
$a_{1,15} = 5.3684$	$a_{2,15} = 0.7329$	$a_{3,15} = 5.3300$	$b_{15,1} = 3.6002$
$a_{1,16} = -4.9775$	$a_{2,16} = -5.6826$	$a_{3,16} = 0.8355$	$b_{16,1} = -4.4002$
$a_{1,17} = 5.2636$	$a_{2,17} = -4.2289$	$a_{3,17} = -3.4895$	$b_{17,1} = 5.2003$
$a_{1,18} = -0.0544$	$a_{2,18} = -7.4785$	$a_{3,18} = -1.3544$	$b_{18,1} = -6.0003$
$a_{1,19} = 6.1038$	$a_{2,19} = 1.5088$	$a_{3,19} = 4.2699$	$b_{19,1} = 6.8003$
$a_{1,20} = 5.8469$	$a_{2,20} = 1.6481$	$a_{3,20} = -4.5676$	$b_{20,1} = 7.6004$

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ค่านำหนักจากหน่วยซ้อนของชั้นที่ 1 ไปยังหน่วยซ้อนของชั้นซ้อนที่ 2 ($c_{m,n}$)				
$c_{1,1}=0.7857$	$c_{2,1}=-1.7009$	$c_{3,1}= 0.5112$	$c_{4,1}=0.8199$	$c_{5,1}=1.5306$
$c_{1,2}=-1.1306$	$c_{2,2}=-0.4133$	$c_{3,2}= -1.4685$	$c_{4,2}=0.0900$	$c_{5,2}=-1.0187$
$c_{1,3}=1.8825$	$c_{2,3}=0.1065$	$c_{3,3}= -2.3812$	$c_{4,3}=0.0904$	$c_{5,3}=1.9965$
$c_{1,4}=2.4115$	$c_{2,4}=1.2619$	$c_{3,4}= -1.4050$	$c_{4,4}=1.5212$	$c_{5,4}=-1.0233$
$c_{1,5}=2.4534$	$c_{2,5}=-2.7598$	$c_{3,5}= -0.8241$	$c_{4,5}=-1.2787$	$c_{5,5}=-0.4912$
$c_{1,6}=2.7301$	$c_{2,6}=-1.0520$	$c_{3,6}= 2.3081$	$c_{4,6}=1.1690$	$c_{5,6}=2.2993$
$c_{1,7}=0.1276$	$c_{2,7}=0.5985$	$c_{3,7}= 0.5970$	$c_{4,7}=2.4515$	$c_{5,7}=-1.3469$
$c_{1,8}=0.5703$	$c_{2,8}=0.8330$	$c_{3,8}= -1.0364$	$c_{4,8}=-2.4578$	$c_{5,8}=-1.3616$
$c_{1,9}=-0.6860$	$c_{2,9}=2.1696$	$c_{3,9}= 0.1194$	$c_{4,9}=-0.3582$	$c_{5,9}=2.2125$
$c_{1,10}=-1.2065$	$c_{2,10}=1.7846$	$c_{3,10}= -0.9682$	$c_{4,10}=1.4081$	$c_{5,10}=0.6170$
$c_{1,11}=-0.2373$	$c_{2,11}=1.3315$	$c_{3,11}= -0.4138$	$c_{4,11}=-0.5204$	$c_{5,11}=0.8623$
$c_{1,12}=-0.6078$	$c_{2,12}=-2.2110$	$c_{3,12}= 2.1194$	$c_{4,12}=-1.9524$	$c_{5,12}=-2.2577$
$c_{1,13}=2.9983$	$c_{2,13}=0.3546$	$c_{3,13}= -1.6993$	$c_{4,13}=-1.0038$	$c_{5,13}=0.5449$
$c_{1,14}=-2.6360$	$c_{2,14}=-1.3711$	$c_{3,14}= 1.1342$	$c_{4,14}=2.6321$	$c_{5,14}=1.7924$
$c_{1,15}=-0.5379$	$c_{2,15}=2.2658$	$c_{3,15}= -1.2915$	$c_{4,15}=1.0075$	$c_{5,15}=2.0914$
$c_{1,16}=-0.9879$	$c_{2,16}=-0.6208$	$c_{3,16}= -0.0726$	$c_{4,16}=-2.4272$	$c_{5,16}=2.0236$
$c_{1,17}=1.6447$	$c_{2,17}=0.8205$	$c_{3,17}= 1.5496$	$c_{4,17}=-1.4573$	$c_{5,17}=-1.5652$
$c_{1,18}=-0.4674$	$c_{2,18}=2.5311$	$c_{3,18}= 1.0312$	$c_{4,18}=-0.2160$	$c_{5,18}=2.8782$
$c_{1,19}=2.5903$	$c_{2,19}=-1.7214$	$c_{3,19}= 1.2535$	$c_{4,19}=0.3791$	$c_{5,19}=-1.0790$
$c_{1,20}=-2.6601$	$c_{2,20}=1.4122$	$c_{3,20}= 0.4150$	$c_{4,20}=2.0692$	$c_{5,20}=0.7423$

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ค่านำหนักจากหน่วยซ้อนของชั้นที่ 1 ไปยังหน่วยซ้อนของชั้นซ้อนที่ 2 ($c_{m,n}$)				
$c_{6,1}=-2.1092$	$c_{7,1}=-0.6048$	$c_{8,1}=0.2233$	$c_{9,1}=0.8199$	$c_{10,1}=-0.3073$
$c_{6,2}=1.4340$	$c_{7,2}=2.4219$	$c_{8,2}=-1.1512$	$c_{9,2}=0.0900$	$c_{10,2}=0.4203$
$c_{6,3}=1.7961$	$c_{7,3}=0.5137$	$c_{8,3}=-1.0322$	$c_{9,3}=0.0904$	$c_{10,3}=0.0369$
$c_{6,4}=-2.2945$	$c_{7,4}=-1.4594$	$c_{8,4}=2.0027$	$c_{9,4}=1.5212$	$c_{10,4}=-1.3198$
$c_{6,5}=-1.8021$	$c_{7,5}=-0.2556$	$c_{8,5}=2.3888$	$c_{9,5}=-0.6833$	$c_{10,5}=2.4076$
$c_{6,6}=0.6847$	$c_{7,6}=-0.1862$	$c_{8,6}=-2.4583$	$c_{9,6}=-0.5507$	$c_{10,6}=2.0951$
$c_{6,7}=2.8231$	$c_{7,7}=2.1253$	$c_{8,7}=1.0527$	$c_{9,7}=2.0911$	$c_{10,7}=0.5461$
$c_{6,8}=-1.1195$	$c_{7,8}=-1.4854$	$c_{8,8}=1.7701$	$c_{9,8}=1.3999$	$c_{10,8}=-0.5880$
$c_{6,9}=-1.7674$	$c_{7,9}=1.0853$	$c_{8,9}=-2.6868$	$c_{9,9}=2.3504$	$c_{10,9}=0.3058$
$c_{6,10}=-2.7452$	$c_{7,10}=0.9932$	$c_{8,10}=1.8079$	$c_{9,10}=-1.0036$	$c_{10,10}=-0.8908$
$c_{6,11}=0.4782$	$c_{7,11}=2.7175$	$c_{8,11}=0.9937$	$c_{9,11}=-1.7892$	$c_{10,11}=-1.7967$
$c_{6,12}=-0.1769$	$c_{7,12}=1.2243$	$c_{8,12}=-1.2786$	$c_{9,12}=-0.9669$	$c_{10,12}=0.2561$
$c_{6,13}=-1.1091$	$c_{7,13}=1.1791$	$c_{8,13}=-1.9488$	$c_{9,13}=2.0660$	$c_{10,13}=1.2855$
$c_{6,14}=-0.5107$	$c_{7,14}=1.1237$	$c_{8,14}=-0.3085$	$c_{9,14}=0.9893$	$c_{10,14}=0.5364$
$c_{6,15}=0.0695$	$c_{7,15}=-0.6398$	$c_{8,15}=-1.9124$	$c_{9,15}=-1.1237$	$c_{10,15}=0.4128$
$c_{6,16}=-0.9138$	$c_{7,16}=-1.3587$	$c_{8,16}=1.3332$	$c_{9,16}=-2.0054$	$c_{10,16}=-1.1606$
$c_{6,17}=1.6350$	$c_{7,17}=0.1829$	$c_{8,17}=0.0175$	$c_{9,17}=-1.7311$	$c_{10,17}=-2.3655$
$c_{6,18}=2.4485$	$c_{7,18}=-0.2225$	$c_{8,18}=-0.6641$	$c_{9,18}=1.1869$	$c_{10,18}=1.3508$
$c_{6,19}=1.9943$	$c_{7,19}=-2.0825$	$c_{8,19}=-1.7000$	$c_{9,19}=1.6253$	$c_{10,19}=-0.8101$
$c_{6,20}=0.4460$	$c_{7,20}=1.4457$	$c_{8,20}=-2.3394$	$c_{9,20}=0.1539$	$c_{10,20}=-1.8369$

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ค่านำหนักจากหน่วยซ้อนของชั้นที่ 1 ไปยังหน่วยซ้อนของชั้นซ้อนที่ 2 ($c_{m,n}$)				
$c_{11,1} = 1.5721$	$c_{12,1} = 0.5384$	$c_{13,1} = 1.0543$	$c_{14,1} = -1.5436$	$c_{15,1} = 2.4934$
$c_{11,2} = 0.6977$	$c_{12,2} = -0.5930$	$c_{13,2} = 2.4966$	$c_{14,2} = 1.3513$	$c_{15,2} = 0.9752$
$c_{11,3} = -0.9436$	$c_{12,3} = 1.5641$	$c_{13,3} = 1.3320$	$c_{14,3} = 2.1207$	$c_{15,3} = 0.5914$
$c_{11,4} = 0.7246$	$c_{12,4} = -1.4190$	$c_{13,4} = -2.3186$	$c_{14,4} = -0.3066$	$c_{15,4} = 1.9140$
$c_{11,5} = -1.1496$	$c_{12,5} = 0.7043$	$c_{13,5} = -0.2277$	$c_{14,5} = 0.7761$	$c_{15,5} = -1.9663$
$c_{11,6} = 1.0683$	$c_{12,6} = -1.3302$	$c_{13,6} = -0.4786$	$c_{14,6} = -0.0849$	$c_{15,6} = 0.9811$
$c_{11,7} = 0.0662$	$c_{12,7} = 0.8565$	$c_{13,7} = -2.0363$	$c_{14,7} = -1.9615$	$c_{15,7} = 2.0704$
$c_{11,8} = -1.2957$	$c_{12,8} = 2.3408$	$c_{13,8} = -1.8166$	$c_{14,8} = 0.7906$	$c_{15,8} = -0.5326$
$c_{11,9} = -0.0720$	$c_{12,9} = -0.0105$	$c_{13,9} = 0.9067$	$c_{14,9} = 1.3755$	$c_{15,9} = 1.3740$
$c_{11,10} = 0.1887$	$c_{12,10} = 2.7221$	$c_{13,10} = -1.7699$	$c_{14,10} = 0.3596$	$c_{15,10} = 0.5924$
$c_{11,11} = -0.9740$	$c_{12,11} = 1.2131$	$c_{13,11} = 3.3039$	$c_{14,11} = 2.4070$	$c_{15,11} = -0.4871$
$c_{11,12} = -0.5414$	$c_{12,12} = -1.7086$	$c_{13,12} = -1.5340$	$c_{14,12} = -0.8772$	$c_{15,12} = 0.8279$
$c_{11,13} = -1.6702$	$c_{12,13} = -1.7939$	$c_{13,13} = 1.9057$	$c_{14,13} = 2.5160$	$c_{15,13} = -0.6759$
$c_{11,14} = 2.0421$	$c_{12,14} = 0.8588$	$c_{13,14} = -2.4585$	$c_{14,14} = -0.6589$	$c_{15,14} = -0.3599$
$c_{11,15} = -2.2711$	$c_{12,15} = 1.0668$	$c_{13,15} = -2.3546$	$c_{14,15} = 0.4811$	$c_{15,15} = -1.9299$
$c_{11,16} = 0.6829$	$c_{12,16} = 1.6652$	$c_{13,16} = 0.6496$	$c_{14,16} = 0.4789$	$c_{15,16} = 2.4720$
$c_{11,17} = 0.1108$	$c_{12,17} = -1.5418$	$c_{13,17} = 0.9990$	$c_{14,17} = -0.6836$	$c_{15,17} = 0.3312$
$c_{11,18} = -0.7957$	$c_{12,18} = -2.7313$	$c_{13,18} = 1.5194$	$c_{14,18} = 2.1371$	$c_{15,18} = 0.9654$
$c_{11,19} = -0.9570$	$c_{12,19} = 1.7640$	$c_{13,19} = 1.3937$	$c_{14,19} = 1.8120$	$c_{15,19} = -0.6460$
$c_{11,20} = -0.3003$	$c_{12,20} = 0.3546$	$c_{13,20} = 2.2229$	$c_{14,20} = -0.9008$	$c_{15,20} = 1.9949$

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ค่านำหนักจากหน่วยซ้อนของชั้นที่ 1 ไปยังหน่วยซ้อนของชั้นซ้อนที่ 2 ($c_{m,n}$)				
$c_{16,1} = -1.6453$	$c_{17,1} = 2.3730$	$c_{18,1} = 1.3994$	$c_{19,1} = -1.5452$	$c_{20,1} = -2.3932$
$c_{16,2} = -0.6712$	$c_{17,2} = 1.1956$	$c_{18,2} = -2.2905$	$c_{19,2} = -2.5043$	$c_{20,2} = -1.8512$
$c_{16,3} = -0.1562$	$c_{17,3} = -1.8729$	$c_{18,3} = -2.1127$	$c_{19,3} = -0.6251$	$c_{20,3} = 1.1880$
$c_{16,4} = -1.6701$	$c_{17,4} = 1.6952$	$c_{18,4} = -2.4547$	$c_{19,4} = -1.9982$	$c_{20,4} = 1.3099$
$c_{16,5} = -1.9024$	$c_{17,5} = 3.2093$	$c_{18,5} = -1.6005$	$c_{19,5} = -0.8898$	$c_{20,5} = -0.5210$
$c_{16,6} = 0.0317$	$c_{17,6} = -1.3014$	$c_{18,6} = 1.1511$	$c_{19,6} = -1.4877$	$c_{20,6} = 0.3731$
$c_{16,7} = 1.0665$	$c_{17,7} = 0.1056$	$c_{18,7} = 0.3899$	$c_{19,7} = 0.9393$	$c_{20,7} = -1.0309$
$c_{16,8} = -2.2242$	$c_{17,8} = 1.9511$	$c_{18,8} = -0.5944$	$c_{19,8} = 1.7677$	$c_{20,8} = 0.8095$
$c_{16,9} = 1.0036$	$c_{17,9} = -1.3708$	$c_{18,9} = -1.7588$	$c_{19,9} = -0.5586$	$c_{20,9} = -2.4218$
$c_{16,10} = -0.1382$	$c_{17,10} = 1.8578$	$c_{18,10} = -3.2571$	$c_{19,10} = 0.8238$	$c_{20,10} = 1.0100$
$c_{16,11} = 1.7800$	$c_{17,11} = 0.5546$	$c_{18,11} = -0.5303$	$c_{19,11} = -0.5642$	$c_{20,11} = 3.2037$
$c_{16,12} = -1.2297$	$c_{17,12} = 1.0989$	$c_{18,12} = -3.0057$	$c_{19,12} = -2.5432$	$c_{20,12} = 0.8466$
$c_{16,13} = 0.7143$	$c_{17,13} = 2.5155$	$c_{18,13} = 0.7572$	$c_{19,13} = -0.8175$	$c_{20,13} = 0.5227$
$c_{16,14} = 0.5205$	$c_{17,14} = 1.7569$	$c_{18,14} = -0.7762$	$c_{19,14} = 1.4364$	$c_{20,14} = -1.0796$
$c_{16,15} = -0.3637$	$c_{17,15} = -1.8538$	$c_{18,15} = 1.1972$	$c_{19,15} = 1.4735$	$c_{20,15} = -0.1205$
$c_{16,16} = 1.2876$	$c_{17,16} = 0.7824$	$c_{18,16} = 1.9053$	$c_{19,16} = 1.5371$	$c_{20,16} = -2.5238$
$c_{16,17} = -0.0061$	$c_{17,17} = 2.6629$	$c_{18,17} = 1.3503$	$c_{19,17} = -1.7005$	$c_{20,17} = 0.2356$
$c_{16,18} = -0.4396$	$c_{17,18} = -1.8578$	$c_{18,18} = 0.6852$	$c_{19,18} = 1.2456$	$c_{20,18} = 2.0285$
$c_{16,19} = -1.1828$	$c_{17,19} = -1.1842$	$c_{18,19} = 0.3318$	$c_{19,19} = 0.1134$	$c_{20,19} = -1.4277$
$c_{16,20} = 0.4735$	$c_{17,20} = 1.5262$	$c_{18,20} = 0.1863$	$c_{19,20} = -0.8839$	$c_{20,20} = -1.1742$

หมายเหตุ เมื่อกำหนดให้ $m = 1, 2, \dots, 20$

$n = 1, 2, \dots, 20$

ตารางผนวกที่ ๖2 ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายใยประสาทเทียมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ water activity เป็นข้อมูลออก

ค่าน้ำหนักของข้อมูลนำเข้า (a_{ij})			ค่าน้ำหนักของข้อมูลออก ($b_{k,l}$)
$a_{1,1} = -1.6006$	$a_{2,1} = 3.3333$	$a_{3,1} = 3.0416$	$b_{1,1} = 4.7879$
$a_{1,2} = 0.9414$	$a_{2,2} = 1.6630$	$a_{3,2} = 4.3900$	$b_{2,1} = -2.3940$
$a_{1,3} = -3.4628$	$a_{2,3} = 0.5046$	$a_{3,3} = -3.2679$	$b_{3,1} = 0.0000$
$a_{1,4} = 3.3088$	$a_{2,4} = 1.3356$	$a_{3,4} = 3.1926$	$b_{4,1} = 2.3940$
$a_{1,5} = 2.3732$	$a_{2,5} = 2.6335$	$a_{3,5} = 3.2182$	$b_{5,1} = 4.7879$
หมายเหตุ เมื่อกำหนดให้ $i = 1, 2$ และ 3			$k = 1$
$j = 1, 2, \dots, 5$			$l = 1, 2, \dots, 5$

ตารางผนวกที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายใยประสาทเทียมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความสว่างเป็นข้อมูลออก

ค่าน้ำหนักของข้อมูลนำเข้า (a_{ij})			ค่าน้ำหนักของข้อมูลออก ($b_{k,l}$)
$a_{1,1} = -2.5300$	$a_{2,1} = 5.5545$	$a_{3,1} = 4.5291$	$b_{1,1} = 7.6004$
$a_{1,2} = -5.8271$	$a_{2,2} = -2.6981$	$a_{3,2} = 4.0659$	$b_{2,1} = 6.8003$
$a_{1,3} = 6.7597$	$a_{2,3} = 3.2543$	$a_{3,3} = -1.2174$	$b_{3,1} = -6.0003$
$a_{1,4} = 4.8775$	$a_{2,4} = -2.4936$	$a_{3,4} = 5.2686$	$b_{4,1} = -5.2003$
$a_{1,5} = 6.7486$	$a_{2,5} = -2.3734$	$a_{3,5} = 2.5669$	$b_{5,1} = -4.4002$
$a_{1,6} = 0.5741$	$a_{2,6} = 6.4261$	$a_{3,6} = 4.0176$	$b_{6,1} = -3.6002$
$a_{1,7} = 4.1075$	$a_{2,7} = 4.4454$	$a_{3,7} = -4.5970$	$b_{7,1} = -2.8001$
$a_{1,8} = -0.5600$	$a_{2,8} = -5.8044$	$a_{3,8} = 4.8745$	$b_{8,1} = 2.0001$
$a_{1,9} = 2.9509$	$a_{2,9} = 5.0732$	$a_{3,9} = 4.8291$	$b_{9,1} = -1.2001$
$a_{1,10} = -2.8045$	$a_{2,10} = 2.7032$	$a_{3,10} = -6.5263$	$b_{10,1} = 0.4000$
$a_{1,11} = -5.0715$	$a_{2,11} = 3.8799$	$a_{3,11} = 4.1222$	$b_{11,1} = -0.4000$
$a_{1,12} = -3.1201$	$a_{2,12} = 6.9303$	$a_{3,12} = 0.0481$	$b_{12,1} = -1.2001$
$a_{1,13} = 5.8504$	$a_{2,13} = -4.1405$	$a_{3,13} = 2.5288$	$b_{13,1} = 2.0001$
$a_{1,14} = -5.8290$	$a_{2,14} = 3.9507$	$a_{3,14} = -2.8602$	$b_{14,1} = -2.8001$
$a_{1,15} = 5.7079$	$a_{2,15} = -3.1291$	$a_{3,15} = -3.9236$	$b_{15,1} = 3.6002$
$a_{1,16} = -2.6631$	$a_{2,16} = 5.1421$	$a_{3,16} = -4.9227$	$b_{16,1} = -4.4002$
$a_{1,17} = 4.8566$	$a_{2,17} = -4.1550$	$a_{3,17} = -4.1127$	$b_{17,1} = 5.2003$
$a_{1,18} = -0.7827$	$a_{2,18} = 3.0162$	$a_{3,18} = 6.9322$	$b_{18,1} = -6.0003$
$a_{1,19} = 2.2048$	$a_{2,19} = -4.5702$	$a_{3,19} = 5.6584$	$b_{19,1} = 6.8003$
$a_{1,20} = -4.4016$	$a_{2,20} = -1.8859$	$a_{3,20} = 5.9021$	$b_{20,1} = -7.6004$
หมายเหตุ เมื่อกำหนดให้ $i = 1, 2$ และ 3			$k = 1$
$j = 1, 2, \dots, 15$			$l = 1, 2, \dots, 15$

ตารางผนวกที่ ๔4 ค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างที่เหมาะสมของเครือข่ายใยประสาทเทียมสำหรับการทำนายแบบที่ใช้ความแข็งแกร่งเป็นข้อมูลออก

ค่าน้ำหนักของข้อมูลนำเข้า (a_{ij})			ค่าน้ำหนักของข้อมูลออก ($b_{k,l}$)
$a_{1,1} = -0.1180$	$a_{2,1} = 4.7823$	$a_{3,1} = -4.9800$	$b_{1,1} = 6.9054$
$a_{1,2} = 5.8201$	$a_{2,2} = -3.6544$	$a_{3,2} = -0.6759$	$b_{2,1} = -5.9189$
$a_{1,3} = 5.0718$	$a_{2,3} = -3.7344$	$a_{3,3} = -2.8312$	$b_{3,1} = -4.9324$
$a_{1,4} = 4.4676$	$a_{2,4} = 1.9744$	$a_{3,4} = -4.8813$	$b_{4,1} = -3.9459$
$a_{1,5} = 4.4515$	$a_{2,5} = -4.3821$	$a_{3,5} = -2.9438$	$b_{5,1} = -2.9595$
$a_{1,6} = -3.6968$	$a_{2,6} = -1.6910$	$a_{3,6} = 5.5820$	$b_{6,1} = 1.9730$
$a_{1,7} = 3.4047$	$a_{2,7} = 2.3018$	$a_{3,7} = -5.5492$	$b_{7,1} = -0.9865$
$a_{1,8} = 5.2737$	$a_{2,8} = 2.0622$	$a_{3,8} = -3.9522$	$b_{8,1} = 0.0000$
$a_{1,9} = -2.6882$	$a_{2,9} = 0.4980$	$a_{3,9} = 6.3411$	$b_{9,1} = -0.9865$
$a_{1,10} = -4.0970$	$a_{2,10} = -2.3225$	$a_{3,10} = -5.0503$	$b_{10,1} = -1.9730$
$a_{1,11} = 4.9413$	$a_{2,11} = -4.7989$	$a_{3,11} = 0.4876$	$b_{11,1} = 2.9595$
$a_{1,12} = 3.8294$	$a_{2,12} = 4.2636$	$a_{3,12} = -3.8525$	$b_{12,1} = 3.9459$
$a_{1,13} = -1.7996$	$a_{2,13} = -3.9733$	$a_{3,13} = -5.3534$	$b_{13,1} = -4.9324$
$a_{1,14} = 3.8634$	$a_{2,14} = -1.1365$	$a_{3,14} = -5.6096$	$b_{14,1} = 5.9189$
$a_{1,15} = -2.8158$	$a_{2,15} = 4.9539$	$a_{3,15} = 3.9006$	$b_{15,1} = -6.9054$

ตารางผนวกที่ ง4 (ต่อ)

ค่านำหนักจากหน่วยซ้อนของชั้นที่ 1 ไปยังหน่วยซ้อนของชั้นซ้อนที่ 2 ($c_{m,n}$)				
$c_{1,1}=0.1699$	$c_{2,1}= -2.5483$	$c_{3,1}= 2.4218$	$c_{4,1}= 2.3382$	$c_{5,1}= 1.0894$
$c_{1,2}=-2.1253$	$c_{2,2}= -2.6275$	$c_{3,2}= 1.0722$	$c_{4,2}= 1.4637$	$c_{5,2}= 1.1093$
$c_{1,3}=-1.7894$	$c_{2,3}= 0.4540$	$c_{3,3}= -2.4560$	$c_{4,3}= -2.0767$	$c_{5,3}= 2.5191$
$c_{1,4}=-1.7473$	$c_{2,4}= 0.8025$	$c_{3,4}= -1.0495$	$c_{4,4}= 1.2201$	$c_{5,4}= 2.5619$
$c_{1,5}=2.1127$	$c_{2,5}= 2.4081$	$c_{3,5}= -3.0070$	$c_{4,5}= 1.8843$	$c_{5,5}= -1.8998$
$c_{1,6}=-1.5973$	$c_{2,6}= -1.8867$	$c_{3,6}= -1.4185$	$c_{4,6}= 0.7789$	$c_{5,6}= -2.0719$
$c_{1,7}=-0.6757$	$c_{2,7}= 1.6082$	$c_{3,7}= 2.2068$	$c_{4,7}= 2.2562$	$c_{5,7}= 0.9192$
$c_{1,8}=-2.2786$	$c_{2,8}= -1.0512$	$c_{3,8}= -0.2981$	$c_{4,8}= 0.5205$	$c_{5,8}= 1.9182$
$c_{1,9}=-2.4449$	$c_{2,9}= -1.3009$	$c_{3,9}= 0.0734$	$c_{4,9}= -0.6003$	$c_{5,9}= -0.6322$
$c_{1,10}=-3.1082$	$c_{2,10}= 0.8474$	$c_{3,10}= -1.1168$	$c_{4,10}= -2.8314$	$c_{5,10}= -1.3463$
$c_{1,11}=0.3429$	$c_{2,11}= 1.2460$	$c_{3,11}= -1.8660$	$c_{4,11}= 2.1050$	$c_{5,11}= 2.0638$
$c_{1,12}=1.9147$	$c_{2,12}= -1.7744$	$c_{3,12}= 1.0703$	$c_{4,12}= 1.4821$	$c_{5,12}= 1.9669$
$c_{1,13}=0.2529$	$c_{2,13}= -1.4011$	$c_{3,13}= 0.9307$	$c_{4,13}= 3.4325$	$c_{5,13}= 2.7280$
$c_{1,14}=0.0808$	$c_{2,14}= 2.0964$	$c_{3,14}= 1.0086$	$c_{4,14}= 0.7606$	$c_{5,14}= -2.2983$
$c_{1,15}=2.6543$	$c_{2,15}= -1.0875$	$c_{3,15}= -1.4656$	$c_{4,15}= -3.0996$	$c_{5,15}= 2.1282$

ตารางผนวกที่ ง4 (ต่อ)

ค่านำหนักจากหน่วยซ้อนของชั้นที่ 1 ไปยังหน่วยซ้อนของชั้นซ้อนที่ 2 ($c_{m,n}$)				
$c_{6,1}=1.9076$	$c_{7,1}=0.7204$	$c_{8,1}= 1.4544$	$c_{9,1}= 0.9995$	$c_{10,1}= 2.2177$
$c_{6,2}=-1.5008$	$c_{7,2}=-1.4477$	$c_{8,2}= 1.6848$	$c_{9,2}= -2.4712$	$c_{10,2}= -1.9192$
$c_{6,3}=-1.6418$	$c_{7,3}=2.1700$	$c_{8,3}= -1.1995$	$c_{9,3}= 0.1800$	$c_{10,3}= -0.6609$
$c_{6,4}=-1.6590$	$c_{7,4}=-2.3099$	$c_{8,4}= 1.9640$	$c_{9,4}= -0.1898$	$c_{10,4}= -1.3682$
$c_{6,5}=-1.2566$	$c_{7,5}=-1.3148$	$c_{8,5}= 0.6065$	$c_{9,5}= 1.5335$	$c_{10,5}= 1.4565$
$c_{6,6}=2.1155$	$c_{7,6}=-1.0423$	$c_{8,6}= -3.2453$	$c_{9,6}= -1.7684$	$c_{10,6}= -0.6676$
$c_{6,7}=2.0951$	$c_{7,7}=1.0304$	$c_{8,7}= -2.5052$	$c_{9,7}= -0.4618$	$c_{10,7}= 0.5639$
$c_{6,8}=2.8317$	$c_{7,8}=-0.6597$	$c_{8,8}= -2.5118$	$c_{9,8}= -2.2023$	$c_{10,8}= 2.1461$
$c_{6,9}=2.6535$	$c_{7,9}=2.1128$	$c_{8,9}= -2.9110$	$c_{9,9}= -1.6785$	$c_{10,9}= 2.2339$
$c_{6,10}=-3.7977$	$c_{7,10}=-1.2208$	$c_{8,10}= 1.1185$	$c_{9,10}= 2.2188$	$c_{10,10}= -1.0103$
$c_{6,11}=-0.8666$	$c_{7,11}=-0.7054$	$c_{8,11}= 2.1761$	$c_{9,11}= -0.9194$	$c_{10,11}= -2.9360$
$c_{6,12}=0.0789$	$c_{7,12}=2.5739$	$c_{8,12}= -1.0808$	$c_{9,12}= -1.5701$	$c_{10,12}= -0.8679$
$c_{6,13}=-1.8444$	$c_{7,13}=2.3525$	$c_{8,13}= -0.5818$	$c_{9,13}= 0.5749$	$c_{10,13}= 0.9074$
$c_{6,14}=0.9857$	$c_{7,14}=-2.1149$	$c_{8,14}= -0.5747$	$c_{9,14}= 0.3907$	$c_{10,14}= -2.8249$
$c_{6,15}=-0.8778$	$c_{7,15}=2.6889$	$c_{8,15}= 1.5280$	$c_{9,15}= -1.5555$	$c_{10,15}= 2.2954$

ตารางผนวกที่ ๓4 (ต่อ)

ค่านำหนักจากหน่วยซ้อนของชั้นที่ 1 ไปยังหน่วยซ้อนของชั้นซ้อนที่ 2 ($c_{m,n}$)				
$c_{11,1} = 1.6719$	$c_{12,1} = -2.6371$	$c_{13,1} = 1.9200$	$c_{14,1} = 1.7307$	$c_{15,1} = 2.4239$
$c_{11,2} = -0.4909$	$c_{12,2} = 0.1462$	$c_{13,2} = -1.8234$	$c_{14,2} = -2.9508$	$c_{15,2} = -2.9094$
$c_{11,3} = 2.5539$	$c_{12,3} = -1.3867$	$c_{13,3} = 0.3936$	$c_{14,3} = -0.4231$	$c_{15,3} = 2.3638$
$c_{11,4} = -1.1974$	$c_{12,4} = -2.9934$	$c_{13,4} = 2.0407$	$c_{14,4} = 0.9747$	$c_{15,4} = -0.8185$
$c_{11,5} = 2.3395$	$c_{12,5} = 1.6782$	$c_{13,5} = 2.0285$	$c_{14,5} = 1.4301$	$c_{15,5} = 2.8397$
$c_{11,6} = -1.3796$	$c_{12,6} = -1.6638$	$c_{13,6} = 0.3872$	$c_{14,6} = -0.3432$	$c_{15,6} = -2.9392$
$c_{11,7} = 2.1486$	$c_{12,7} = 2.7128$	$c_{13,7} = -1.9212$	$c_{14,7} = 2.4742$	$c_{15,7} = 2.7649$
$c_{11,8} = 2.9813$	$c_{12,8} = 2.5237$	$c_{13,8} = -0.5107$	$c_{14,8} = 0.0544$	$c_{15,8} = 0.9088$
$c_{11,9} = 0.0288$	$c_{12,9} = -2.8632$	$c_{13,9} = 0.4152$	$c_{14,9} = 0.0069$	$c_{15,9} = 1.7822$
$c_{11,10} = -3.4124$	$c_{12,10} = 0.0147$	$c_{13,10} = 2.4159$	$c_{14,10} = -1.0739$	$c_{15,10} = -0.4094$
$c_{11,11} = 2.2175$	$c_{12,11} = -2.4121$	$c_{13,11} = -1.2317$	$c_{14,11} = -1.5790$	$c_{15,11} = -1.7804$
$c_{11,12} = 0.6179$	$c_{12,12} = -2.4026$	$c_{13,12} = 1.7525$	$c_{14,12} = -0.4942$	$c_{15,12} = 3.1458$
$c_{11,13} = -2.3471$	$c_{12,13} = -1.6899$	$c_{13,13} = 2.1183$	$c_{14,13} = -2.0471$	$c_{15,13} = 0.8313$
$c_{11,14} = -2.5286$	$c_{12,14} = -0.2341$	$c_{13,14} = 2.2166$	$c_{14,14} = 0.8022$	$c_{15,14} = -2.5235$
$c_{11,15} = 2.0376$	$c_{12,15} = 0.2407$	$c_{13,15} = 1.7778$	$c_{14,15} = -0.5494$	$c_{15,15} = -0.8925$

หมายเหตุ เมื่อกำหนดให้ $m = 1, 2, \dots, 20$

$n = 1, 2, \dots, 20$

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาว รพีพร ตลับใหม่
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 7 สิงหาคม พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดสมุทรสาคร
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2546
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-