รายงานการวิจัย

การพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของ
ปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม
กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์

The Development of Decision Support System of Time Series Forecasting
For Demand in Small and Medium Enterprises;
A Company Case Study in Packaging Industry

โดย

ลลิลธร มะระกานนท์
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ปีงบประมาณ 2559

หัวข้อวิจัย : การพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์
ชื่อผู้วิจัย : นางสาวลลิลธร มะระกานนท์
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ปีงบประมาณ : 2559

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าแบบอนุกรมเวลา สำหรับอุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์ ผลการวิจัยพบว่าสภาพปัญหาที่สำคัญคือ การตัดสินใจในการพยากรณ์การผลิตสินค้าในแต่ละเดือนของบริษัทตัวอย่างซึ่งมักอาศัยความรู้สึกหรืออาศัยการพยากรณ์จากประสบการณ์การทำงานของผู้ตัดสินใจเท่านั้น โดยไม่ได้นำข้อมูลการขายในอดีตมาใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านสถิติ เพื่อช่วยในการตัดสินใจร่วมด้วย งานวิจัยนี้จะศึกษาเทคนิควิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับรูปแบบข้อมูลต่างๆ เพื่อนำไปออกแบบระบบช่วยเหลือการตัดสินใจ โดยระบบช่วยเหลือการตัดสินใจสามารถวิเคราะห์ข้อมูลการขายในอดีตและเลือกตัวแบบทางสถิติที่มีความเหมาะสมในการตัดสินใจและทำให้เกิดค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งจากการทดลองใช้ผลการพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจพบว่า สามารถนำไปใช้งานได้จริงและช่วยประกอบการตัดสินใจได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถเห็นได้จากผลการประเมินระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้า ในภาพรวมทุกด้านอยู่ในระดับดี ซึ่งผลประเมินด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม มีคะแนนการประเมินสูงสุด รองลงมาได้แก่ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของโปรแกรม และด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม โดยทุกด้านมีผลประเมินอยู่ในระดับดีเช่นกัน

คำสำคัญ : การพยากรณ์, การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา, ปริมาณความต้องการสินค้า, อุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์

Research title : The Development of Decision Support System of Time Series Forecasting For Demand in Small and Medium Enterprises; A Company Case Study in Packaging Industry

Researcher : Ms. Lalinthorn Marakanon
Program in Industrial Management
Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

Year : 2016

Abstract

The objective of this research was to develop the decision support system of time series forecasting for demand in small and medium enterprises to predict the quantities demand for the packaging industry. The results showed that the most significant problem was the decision about the production quantities each month because only experienced decision maker was counted but no previous data was statistically analyzed for production. This research used the appropriate forecasting technique for the data to design a decision support system by computer program. Program can analyze the demand data and choose the appropriate forecasting techniques for decision. In assessment of the software performance, the results have shown that meets the requirements of user rated highest rating followed by program function, and easy-to-use, respectively. The analysis results show the user's satisfaction of software was satisfied by this decision support system with good-quality software.

Keywords : Forecasting, Time Series Forecasting, Demand, Packaging Industry

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่อนุมัติทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณสาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่อำนวยความสะดวกในสถานที่ทำงานวิจัย และเอื้อเฟื้อเครื่องมือ ในการวิเคราะห์ข้อมูล ขอขอบพระคุณกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้คำแนะนำและคณาจารย์คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณสถานประกอบการตัวอย่างและผู้ให้ข้อมูลทุกท่านที่ให้ข้อมูลและความร่วมมือมาโดยตลอดจนการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ลลิลธร มะระกานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ชื่อโครงการวิจัย	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 แนวคิดเกี่ยวกับการพยากรณ์การผลิต	5
2.2 แนวคิดของการวางแผนการผลิต	13
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
2.4 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	20
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	20
3.2 ระยะเวลาทำการวิจัยและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	25
บทที่ 4 ผลของการวิจัย	26
4.1 ผลการดำเนินงานวิจัย	26
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการวิจัย	37
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	37
5.3 ข้อเสนอแนะ	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก ก	42
ตัวอย่างหน้าต่างระบบระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้า	43
ประวัติผู้วิจัย	46

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าการนำความร้อนของวัสดุบางชนิดที่อุณหภูมิห้อง	12
2.2	ค่าโดยประมาณของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย	13
3.1	ระยะเวลาทำการวิจัยและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	27
4.1	ค่าพยากรณ์ของเทคนิคการพยากรณ์วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่	30
4.2	ค่าพยากรณ์แบบวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล โดยกำหนดค่าปรับเรียบที่ α= 0.1, 0.25 และ 0.5	31
4.3	ค่าพยากรณ์แบบวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง โดยกำหนดค่าปรับเรียบที่ α= 0.1, 0.25 และ 0.5	32
4.4	ผลการการพยากรณ์ที่เหมาะสมจากค่าความผิดพลาดตามเกณฑ์ MAD และ MSE	33
4.5	ผลการประเมินด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม	34
4.6	ผลการประเมินด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของโปรแกรม	34
4.7	ผลการประเมินด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม	35
4.8	สรุปผลการประเมินในแต่ละด้าน	35

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	19
3.1	การวิเคราะห์เลือกตัวแบบในการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุด	22
3.2	หน้าจอแสดงผลระบบสนับสนุนการตัดสินใจการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าแบบอนุกรมเวลาโดยสังเขป	23
3.3	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	24
4.1	การวิเคราะห์เลือกตัวแบบในการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุด	26
4.2	ตัวอย่างหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า	27
4.3	หน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า	28
4.4	การป้อนรายละเอียดวันเดือนปีและยอดขายของสินค้า	28
4.5	แสดงผลการเทคนิคการพยากรณ์ที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด	29
ก.1	ตัวอย่างหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้า	44
ก.2	ตัวอย่างหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาด้วยเทคนิคการประมวลผลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่	44
ก.3	ตัวอย่างหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาด้วยเทคนิคการประมวลผลแบบการปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียล	45
ก.4	ตัวอย่างหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาด้วยเทคนิคการประมวลผลแบบการปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง	45

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ชื่อโครงการวิจัย

การพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันแนวคิดด้านการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพและศักยภาพการผลิต จัดเป็นประเด็นสำคัญที่มีการกล่าวถึงกันมากขึ้นเรื่อยๆ ดังที่แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ.2555-2559) ได้กล่าวไว้ ในส่วนของพันธกิจที่ว่า ต้องมีการพัฒนาฐานการผลิตและบริการให้เข้มแข็งและมีเสถียรภาพโดยใช้ความรู้และความคิดริเริ่มของคนไทย ขยายหลักประกันทางสังคมให้ครอบคลุมประชาชนทุกคน สร้างความมั่นคง พร้อมทั้งปรับโครงสร้างสาขาการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์ในการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจให้เติบโตอย่างมีคุณภาพ สังคมและการเมืองมีความมั่นคง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมีความอุดมสมบูรณ์ ประเทศมีการพัฒนาอย่างยั่งยืน (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2553) อีกทั้ง สภาวะการแข่งขันทางธุรกิจในปัจจุบัน ทำให้ผู้ผลิตมีการตื่นตัวและให้ความสำคัญเป็นอย่างมากในการเร่งพัฒนาความสามารถในการแข่งขัน โดยการสร้างสรรค์สินค้าเพื่อหาโอกาสทางธุรกิจ ทั้งด้านคุณภาพสินค้า ราคา ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น การผลิตเพียงอย่างเดียวจึงยังไม่เพียงพอ ยังต้องมีการหากลยุทธ์ต่างๆ เพื่อให้ธุรกิจสามารถอยู่รอด และแข่งขันกับคู่แข่งในตลาดธุรกิจเดียวกันได้ โดยมุ่งเป้าหมายให้ต้นทุนต่ำที่สุด อีกทั้งเวลา คุณภาพ รวมถึงการบริการที่ดีที่สุดด้วย การพัฒนาเศรษฐกิจสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในชุมชน จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยในการแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจ โดยช่วยในการเปลี่ยนระบบการผลิตสำหรับการขายให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น จากการลดการผลิตที่ไม่ตรงตามความต้องการของตลาด ให้เกิดการผลิตที่มีแบบแผน มีต้นทุนในการผลิตต่ำลง เพื่อให้ได้ผลกำไรเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เป็นส่วนหนึ่งในการยังชีพและชุมชนสามารถพึ่งตนเองได้อีกด้วย

หากกล่าวถึงการบริโภคของประชากรทั่วโลกมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในทุกประเภทของผลิตภัณฑ์ เมื่อผลิตภัณฑ์มากขึ้นการขายบรรจุภัณฑ์มีแนวโน้มมากขึ้นตาม บรรจุภัณฑ์เข้ามามีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้นเรื่อยๆ และมีอัตราการเติบโตควบคู่ไปกับการเติบโตของอุตสาหกรรมต่างๆ

ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ เป็นต้น เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เป็นตัวช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ รักษาสภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปกป้องผลิตภัณฑ์ ทั้งยังช่วยให้การขนส่งมีความสะดวกมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในการส่งเสริมการตลาด ในแง่การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย

บรรจุภัณฑ์ที่พบเห็นโดยส่วนใหญ่นั้นมีหลายชนิด ได้แก่ บรรจุภัณฑ์กระดาษ อาจอยู่ในรูปกล่อง หรือลัง ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีต้นทุนต่ำ สามารถทำการพิมพ์สอดสีได้ง่ายและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม บรรจุภัณฑ์แก้ว เช่น ขวด โหล เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้มากที่สุด บรรจุภัณฑ์โลหะ เช่น กระป๋อง มีความแข็งแรงทนทางต่อการขนส่ง สามารถเก็บรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้นาน และใช้มากในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน บรรจุภัณฑ์พลาสติก ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ประเภทคือ ประเภทคงรูป เช่น ขวด ถ้วย ลัง และประเภทอ่อนตัว (flexible packaging) เช่น ฟิลม์พลาสติก ถุง และซองพลาสติก เป็นต้น

กลยุทธ์สำคัญอย่างหนึ่งในการดำเนินธุรกิจให้ได้ผลกำไรและสร้างความเติบโตให้ธุรกิจ ก็คือกระบวนการวางแผนและควบคุมการผลิต ซึ่งเป็นหัวใจหลักของทุกกิจกรรม เพื่อเป็นการหาวิธีการเพื่อให้เกิดการวางแผนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด หนึ่งในวิธีที่ควรนำมาใช้เป็นขั้นตอนแรก เป็นการใช้หลักการพยากรณ์การผลิต ซึ่งเป็นการคาดการณ์ล่วงหน้าเพื่อให้ทราบถึงสิ่งต่างๆ ในการวางแผนการผลิต โดยจากการรวบรวมผลการศึกษาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ได้มีการนำหลักการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลามาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตเพื่อลดต้นทุนการผลิตสินค้าได้จริง ดังเช่น นิจรินทร์ (2554) ได้ใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาและการจัดการสินค้าคงคลังสำหรับผลิตภัณฑ์หน่อไม้บรรจุกระป๋อง ณรงค์เดช (2555) ได้เลือกใช้วิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ ฐิติมา (2552) ได้การพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าและการจัดตารางการผลิตหลักมาใช้ในการแก้ปัญหาสินค้าคงคลังในอุตสาหกรรมแปรรูปเมล็ดธัญพืช สุภาษิต (2552) ได้ทำการพยากรณ์ปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์และกำหนดปริมาณสินค้าคงคลังสำรองของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ มัลลวีร์ (2553) ได้ใช้การพยากรณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์และการจัดการสินค้าคงคลังของผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองสำเร็จรูปพร้อมดื่ม เป็นต้น

เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจปัจจุบันมีการแข่งขันอย่างสูง ส่งผลทำให้ผู้ประกอบการต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาความสามารถของธุรกิจตนตลอดเวลา โดยธุรกิจบรรจุภัณฑ์นั้นจัดว่ามีการแข่งขันกันมาก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์ถึงปริมาณความต้องการของลูกค้าเพื่อนำไปวางแผนการผลิต เพื่อใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการผลิตสินค้าให้ได้ใกล้เคียงกับความต้องการของลูกค้าโดยไม่จำเป็นต้องผลิตสินค้าเก็บไว้ในสต็อกเป็นจำนวนมาก เพราะเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในกรณีที่สินค้าเสื่อมคุณภาพ ส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ปัญหาที่พบมากในปัจจุบัน คือ ยังไม่มีแผนการ

ดำเนินงานด้านการผลิต การสั่งการผลิตสินค้าเป็นไปโดยอาศัยประสบการณ์หรือความคุ้นเคยที่ผ่านมาเพียงอย่างเดียว การผลิตสินค้าบางชนิดมากเกินความต้องการของลูกค้า ซึ่งส่งผลให้สินค้าเก็บไว้ในสต็อกเพื่อรอจำหน่ายมีในปริมาณที่มากกินไป ทำให้ต้องเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบปริมาณมากเก็บไว้ และค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าในช่วงระหว่างรอจำหน่ายสูงเกินจำเป็น ตลอดจนปริมาณการขายสินค้าที่อาจมีความไม่แน่นอน อันเนื่องมากจากปัจจัยด้านเศรษฐกิจโดยรวมภายในประเทศและต่างประเทศ ปัจจัยด้านการเมือง หรือการส่งเสริมโปรโมชั่นในบางช่วงเวลาที่อาจทำให้ยอดขายสินค้าสูงมากกว่ายอดขายสินค้าปกติ เป็นต้น จึงจำเป็นที่จะต้องใช้หลักการวิเคราะห์ทางสถิติเข้ามาช่วยในการตัดสินใจในการพยากรณ์ปริมาณการผลิตสินค้า เพื่อให้ค่าที่พยากรณ์ใกล้เคียงกับความต้องการจริงของลูกค้ามากที่สุด โดยอาศัยข้อมูลยอดการขายในอดีตมาวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์หาปริมาณการผลิตสินค้าในอนาคต และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการพยากรณ์การผลิตสินค้าของโรงงานตัวอย่าง จากเหตุผลและความสำคัญข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์ และผลการวิจัยที่ได้สามารถนำไปเป็นแนวทางหรือเป็นข้อมูลเพื่อเอื้อต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือการดำเนินงานด้านการผลิตสินค้าประเภทอื่นๆ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต ก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิต อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อการรักษากลุ่มผู้บริโภคของธุรกิจนั้นไว้ต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าแบบอนุกรมเวลา สำหรับอุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยด้านเนื้อหาและระยะเวลา ดังนี้

1.4.1 ศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการพยากรณ์โดยวิธีวิเคราะห์อนุกรมเวลาของกระบวนการวางแผนการผลิตสินค้าประเภทบรรจุภัณฑ์ในส่วนของการวางแผนการผลิต

1.4.2 ศึกษาสินค้าบรรจุภัณฑ์ประเภทที่มีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงเดี่ยว หมายถึง ปริมาณการผลิตสินค้าจะขึ้นตรงกับปัจจัยเดี่ยวกับปริมาณยอดขายสินค้าโดยตรง

1.4.3 ศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ได้แก่ ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย ค่ากลางของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง และค่ากลางของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เพื่อประเมินความแม่นยำของการพยากรณ์

1.4.4 ศึกษาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนและต้นทุนระหว่างปริมาณการขายสินค้าจริงและปริมาณจากค่าการพยากรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

15.1 เพื่อให้ผู้ประกอบการหรือผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตสำหรับการลดต้นทุน ซึ่งทำให้มีรายได้เพิ่มสูงขึ้น

15.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลและแนวทางที่อาจนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการดำเนินงานของอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ใกล้เคียงกับอุตสาหกรรมตัวอย่าง

15.3 เพื่อให้หน่วยงาน นักวิชาการ และผู้ที่สนใจในการนำผลการวิจัยในครั้งนี้ไปประกอบการวิจัย หรือเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นอื่นๆ ต่อไป

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์การผลิต การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา การวางแผนการผลิต ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจโดยอาศัยหลักการพยากรณ์และการนำหลักการพยากรณ์ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังนี้

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับการพยากรณ์การผลิต

2.2 แนวคิดของการวางแผนการผลิต

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับการพยากรณ์การผลิต

2.1.1 ความหมายของการพยากรณ์

การพยากรณ์ คือ การคาดการณ์ถึงสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งในอนาคต ค่าพยากรณ์ที่ได้นั้นจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ เพื่อการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ การพยากรณ์อย่างง่ายก็คือ การคาดเดา หรือการใช้ข้อมูลในอดีตแทนค่าในอนาคตนั่นเอง อย่างไรก็ตามไม่มีวิธีการใดที่จะสามารถพยากรณ์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ แต่วิธีการเหล่านี้สามารถนำมาใช้เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับช่วยในการตัดสินใจได้ การวัดความเที่ยงตรงของการพยากรณ์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละองค์กร รวมถึงการติดตามและควบคุมการพยากรณ์มีไว้เพื่อเป็นการยืนยันว่า วิธีการที่ใช้ในการพยากรณ์นั้นยังคงมีประสิทธิภาพที่ดีเพียงพอที่จะใช้ต่อไป

2.1.2 การแบ่งช่วงเวลาในการพยากรณ์

การแบ่งช่วงเวลาในการพยากรณ์ สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

1. การพยากรณ์ระยะสั้น (Short-range forecast) ได้แก่ การพยากรณ์ที่มีช่วงเวลาน้อยกว่า 3 เดือน เหมาะกับการพยากรณ์ เพื่อจัดการกับการจัดซื้อ การจัดตารางงาน แรงงาน การมอบหมายงาน รวมถึงปริมาณการผลิต

2. การพยากรณ์ระยะกลาง (Medium-range forecast) ได้แก่ การพยากรณ์ที่มีช่วงเวลาอยู่ระหว่าง 3 เดือน ถึง 3 ปี เหมาะกับการพยากรณ์ เพื่อจัดการกับการวางแผนการขายและการผลิต รวมถึงงบประมาณ

3. การพยากรณ์ระยะยาว (Long-range forecast) ได้แก่ การพยากรณ์ที่มีช่วงเวลามากกว่า 3 ปี เหมาะกับการพยากรณ์ เพื่อจัดการกับการวางแผนสำหรับสินค้าใหม่, สถานที่สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือสนับสนุน ตลอดจนการวิจัยและพัฒนา

2.1.3 ประเภทของการพยากรณ์

วิธีการพื้นฐานที่ใช้ในการพยากรณ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ วิธีการเชิงคุณภาพ (Qualitative Method) และวิธีเชิงปริมาณ (Quantitative Method)

1. การพยากรณ์โดยวิธีเชิงคุณภาพ (Qualitative Method) เป็นวิธีที่อาศัยความชำนาญในการประมาณการและความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเป็นหลัก ส่วนมากจะใช้กับการตัดสินใจในระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่ปัจจัยภายนอกมีผลต่อการเกิดความต้องการสินค้า หรือกรณีที่ข้อมูลในอดีตมีจำนวนจำกัดหรือไม่ปรากฏอยู่ เช่น ในกรณีของสินค้าหรือบริการใหม่ที่จะนำเสนอให้กับลูกค้า

2. การพยากรณ์โดยวิธีเชิงปริมาณ (Quantitative Methods) วิธีนี้จะอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการพยากรณ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ก็คือ

- การพยากรณ์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ (Causal Methods) ได้แก่ วิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression)

- การพยากรณ์โดยวิธีอนุกรมเวลา (Time Series Methods) วิธีนี้ยึดหลักการที่ว่า ข้อมูลในอดีตสามารถนำมาใช้ในการทำนายความต้องการในอนาคตได้

2.1.4 การพยากรณ์โดยวิธีอนุกรมเวลา (Time Series Methods)

วิธีอนุกรมเวลาเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ข้อมูลในอดีต โดยมีสมมติฐานว่าข้อมูลในอดีต สามารถใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตได้ การพยากรณ์โดยวิธีนี้จะพิจารณาปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวคือเรื่องของเวลา โดยข้อมูลในอดีตสามารถจัดเป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นซ้ำๆ ได้ วิธีการที่จัดอยู่ในประเภทอนุกรมเวลา ได้แก่ วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล หรือวิธีแนวโน้มเชิงเส้น เป็นต้น วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการพยากรณ์ในระยะสั้นทั้งในอุตสาหกรรมและการบริการต่างๆ มากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายในการใช้งานและทำความเข้าใจ ในการเลือกว่าจะใช้วิธีการใดนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลว่ามีกระบวนการเกิดในลักษณะใด โดยเริ่มจากวิธีการที่ใช้กับกระบวนการแบบคงที่ และตามด้วยวิธีการที่ใช้กับกระบวนการแบบแนวโน้มและแบบฤดูกาล ดังนี้

2.1.4.1 กระบวนการแบบคงที่ (Constant Process)

วิธีการแก้ปัญหาการพยากรณ์ของกระบวนการแบบคงที่ประกอบไปด้วย

1. วิธีการอย่างง่าย (Simple Method)

วิธีการอย่างง่าย คือ วิธีการใช้จุดข้อมูลสุดท้าย (Last Data Point; LDP หรือวิธี Naive) เพื่อกำหนดค่าข้อมูลในอนาคต จากวิธี LDP การพยากรณ์สินค้าสำหรับช่วงเวลาถัดไป คือ ความต้องการของสินค้าในช่วงเวลาปัจจุบัน

$$F_{T+1} = d_t \qquad (1)$$

และการพยากรณ์สำหรับช่วงเวลา k ข้างหน้าก็คือ

$$F_{T+k} = d_t \qquad (2)$$

โดยกำหนดให้ T แทน เวลาในปัจจุบัน

t แทน เวลาใดๆ

d_t แทน ข้อมูลความต้องการสินค้าที่เวลา t

F_{T+k} แทน ค่าพยากรณ์ที่ทำนายขึ้น ณ เวลา T สำหรับ k เวลาข้างหน้า

2. วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Method)

ในการพยากรณ์ แทนที่จะทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทุกค่า เราอาจเลือกข้อมูลที่มีความทันสมัยบางส่วนมาหาค่าเฉลี่ยก็ได้ ซึ่งถือว่าเป็นการผสมผสาน วิธีการ LDP และวิธีการหาค่าเฉลี่ยไว้ด้วยกัน วิธีการนี้เรียกว่า วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ การกำหนดระยะเวลาในการพยากรณ์อาจเป็น 3 เดือน หรือ 5 เดือน ขึ้นอยู่กับนักพยากรณ์ว่าต้องการให้ข้อมูลราบเรียบมากน้อยเพียงใด โดยถ้าใช้ข้อมูลปริมาณมาก ก็จะทำให้มีความราบเรียบมากขึ้น

ให้ N เป็นจำนวนช่วงเวลาที่เราจะพิจารณาในวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ และ M_T เป็นค่าถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ ถ้า ณ ปัจจุบันเราอยู่ที่เวลา T ค่าถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่คำนวณหาได้จากผลรวมของข้อมูล N ข้อมูลสุดท้าย

$$M_T = \frac{1}{N}(d_{T-N+1} + d_{T+N+2} + \ldots + d_T) \qquad (3)$$

เมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามา เราจะต้องทำการคำนวณหาค่าถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ใหม่ ซึ่งสามารถเขียนเป็นรูปแบบไปได้คือ

$$M_{T+1} = \frac{1}{N}(d_{T-N+2} + d_{T-N+3} + \ldots + d_{T+1)} \qquad (4)$$

จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$M_{T+1} = M_T + \frac{d_{T+1} - d_{T-N+1}}{N} \quad (5)$$

3. วิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average Method)

ในวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่นั้นจะให้น้ำหนักความสำคัญกับข้อมูลที่นำมาพิจารณาเท่าๆ กัน แต่วิธีนี้จะให้น้ำหนักความสำคัญกับข้อมูลที่นำมาพิจารณาไม่เท่ากัน โดยมากแล้วน้ำหนักความสำคัญจะถูกเพิ่มให้กับข้อมูลที่มีความทันสมัยที่สุด

$$WM_T = \sum_{t=T-N+1}^{T} w_t d_t = w_{T-N+1} d_{T-N+1} + w_{T-N+2} d_{T-N+2} + \ldots + w_T d_T \quad (6)$$

เมื่อ w_t แทน ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับช่วงเวลา t มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 100 เปอร์เซ็นต์

$\sum w_t$ เท่ากับ 1.00

การพิจารณาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมนั้น จะต้องใช้การลองผิดลองถูกเช่นเดียวกับการเลือกจำนวนช่วงเวลา ที่ใช้ในการพิจารณา ถ้ามีการถ่วงน้ำหนักมากให้แก่ข้อมูลใหม่ ก็จะมีการแกว่งตัวมากตามข้อมูล แต่ถ้ามีการถ่วงน้ำหนักให้กับข้อมูลใหม่น้อย ก็จะมีการแกว่งตัวน้อย

4. วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Simple Exponential Smoothing Method)

วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่ายเป็นวิธีการหาค่าเฉลี่ยวิธีหนึ่ง โดยให้น้ำหนักความสำคัญกับข้อมูลใหม่มาก ค่าพยากรณ์จะตอบสนองตามข้อมูลใหม่เป็นหลัก ซึ่งเหมาะสมหากข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นมีผลและคาดเดาได้ยาก วิธีนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากอีกวิธีหนึ่ง เนื่องจากใช้ข้อมูลจำนวนน้อย คือ ใช้เพียงข้อมูลค่าการพยากรณ์ก่อนหน้า ค่าความต้องการในปัจจุบัน และค่าปัจจัยที่เรียกว่า ค่าถ่วงน้ำหนักปรับเรียบ การคำนวณโดยใช้วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่ายนี้ คำนวณได้จาก

$$F_{T+1} = \alpha d_T + (1 - \alpha) F_T \quad (7)$$

เมื่อ F_{T+1} = ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลาต่อไป

d_T = ค่าความต้องการจริงในช่วงเวลาปัจจุบัน

F_T = ค่าพยากรณ์ของช่วงเวลาปัจจุบัน

α = ค่าถ่วงน้ำหนักปรับเรียบ

ค่าถ่วงน้ำหนักปรับเรียบจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 ซึ่งหมายถึงน้ำหนักความสำคัญที่จะให้กับข้อมูลล่าสุด ถ้ากำหนดให้ α= 0 ก็จะหมายความว่ายึดข้อมูลพยากรณ์ในอดีตเป็นหลัก โดยไม่คำนึงถึงข้อมูลปัจจุบันแต่ถ้า α= 1 ก็จะหมายความว่าใช้ข้อมูลปัจจุบันเป็นค่าพยากรณ์ ดังนั้น เมื่อ α มีค่าสูง นั่นก็หมายความว่าค่าพยากรณ์จะแกว่งตามข้อมูลในปัจจุบัน แต่ถ้า α มีค่าน้อย การแกว่งตัวของค่าพยากรณ์ก็จะน้อย ค่าของ α ที่นิยมใช้จะอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.5 แต่อย่างไรก็ตาม ค่าที่เหมาะสมนั้นจะต้องมีการลองผิดลองถูก หรือขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของนักพยากรณ์ โดยความเที่ยงตรงจะขึ้นอยู่กับการประมาณค่า α

2.1.4.2 กระบวนการแบบแนวโน้ม (Trend Process)

จากข้อมูลในตัวอย่างที่ผ่านมา จะพบว่าข้อมูลไม่ใช่กระบวนการแบบคงที่ ลักษณะข้อมูลจะเพิ่มขึ้นทีละน้อย ซึ่งมีลักษณะเป็นกระบวนการแบบแนวโน้ม สามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์ ได้คือ

$$d_T = a + b_t + \varepsilon_t \qquad (7)$$

เมื่อ b เป็นความชันที่มีแนวโน้ม ถ้า b มีค่าเป็นบวก กระบวนการจะเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลา t แต่ถ้ามีค่าเป็นลบ ก็จะลดลงตามช่วงเวลา t วิธีการที่จะใช้ในการคำนวณประกอบไปด้วย

1. วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลโดยพิจารณาองค์ประกอบแนวโน้ม (Adjusted Exponential Smoothing Method)

การพยากรณ์ในกรณีที่มีแนวโน้มจะต้องมีการปรับปรุงวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลใหม่ด้วยปัจจัยเกี่ยวกับแนวโน้มเข้าไปด้วยดังสมการ

$$AF_{t+1} = F_{t+1} + T_{t+1} \qquad (8)$$

$$T_{t+1} = \beta(F_{t+1} - F_t) + (1 - \beta)T_t \qquad (9)$$

เมื่อ T_t = ค่าแนวโน้มที่ช่วงเวลา t

β = ค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม

β มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 ซึ่งแทนน้ำหนักความสำคัญของข้อมูลล่าสุด โดยมากแล้วการพิจารณาค่า β จะพิจารณาโดยนักพิจารณา ค่า β ที่สูงแสดงให้เห็นว่ามีปัจจัยเนื่องจากแนวโน้มมาก

2. วิธีแนวโน้มเชิงเส้น (Linear *trend* analysis)

จากสมการถดถอยเชิงเส้นเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่มีการพิจารณาปัจจัยมูลเหตุกับความต้องการสินค้า แต่เมื่อปัจจัยมูลเหตุคือระยะเวลาวิธีแนวโน้มเชิงเส้น ก็สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าความต้องการสินค้าได้เช่นกัน

สมการเชิงเส้นถดถอยที่มีเวลาเป็นตัวแปรอิสระสามารถนำมาใช้ในการพิจารณา โดยให้ d_tเป็นความต้องการในช่วงเวลา t, t = 1, 2, ..., T เนื่องจากเวลาเป็นตัวแปรอิสระ โดยเขียนอยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น

$$y = a + bx \tag{10}$$

เมื่อ a = ค่าตัดแกนที่ช่วงเวลา 0

b = ค่าความชันของเส้น

x = ตัวแปรอิสระ

y = ค่าพยากรณ์สำหรับช่วงเวลา t

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้สามารถคำนวณได้จาก

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} \tag{11}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{12}$$

เมื่อ n = จำนวนช่วงเวลา

$\bar{x}$ = $\frac{\Sigma x}{n}$ = ค่ากลางของค่าx

$\bar{y}$ = $\frac{\Sigma y}{n}$ = ค่ากลางของค่าy

3. กระบวนการแบบฤดูกาล (Seasonal Process)

กระบวนการแบบฤดูกาลพิจารณาปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยมีสมการทั่วไปของตัวแบบ คือ

$$d_t = (a + b_t)c_t + \varepsilon_t \tag{13}$$

เมื่อ a = ค่าคงที่

b = ค่าความชันของส่วนที่เกี่ยวกับแนวโน้ม

c_t = ปัจจัยเกี่ยวกับฤดูกาลที่เวลา t

ε_t = สิ่งรบกวนอย่างสุ่ม

กระบวนการแบบฤดูกาลจะมีลักษณะความต้องการที่ขึ้นๆ ลงๆ ซ้ำๆ กัน สินค้าหลายประเภทมีลักษณะของความต้องการสินค้าในลักษณะนี้ ยกตัวอย่างเช่น เสื้อผ้าหน้าร้อน ก็จะขายดีในฤดูร้อนของทุกๆ ปีส่วนในฤดูกาลอื่นก็มียอดขายที่ต่ำลง เครื่องปรับอากาศก็มักจะขายดีในฤดูร้อนเช่นกัน ยอดขายผลิตภัณฑ์ก็จะสูง ส่วนในฤดูกาลอื่น ยอดขายก็จะลดลง ร้านอาหารจะขายดีในช่วงวันหยุดหรือในช่วงเย็น เป็นต้น

วิธีการแก้ปัญหาการพยากรณ์ทำได้หลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดวิธีหนึ่งคือการใช้ปัจจัยฤดูกาล ปัจจัยฤดูกาลคือ ค่าที่จะนำมาคูณกับค่าพยากรณ์ที่ได้พยากรณ์ขึ้น เพื่อปรับค่าพยากรณ์ให้มีลักษณะเป็นแบบฤดูกาล วิธีการหนึ่งในการคำนวณก็คือ การหาค่าความต้องการสินค้าด้วยค่าความต้องการสินค้าในแต่ละฤดูกาลด้วยความต้องการสินค้าทั้งหมด ดังแสดงในสมการ

$$S_i = \frac{d_i}{\sum d_i} \qquad (14)$$

เมื่อ S_i = ค่าปัจจัยฤดูกาลสำหรับฤดูกาล i

d_i = ความต้องการในฤดูกาล i

ค่าปัจจัยฤดูกาลจะอยู่ในช่วง 0.0 ถึง 1.0 ซึ่งเป็นสัดส่วนของความต้องการสินค้าตลอดทั้งปีที่จัดสรรไว้สำหรับแต่ละฤดูกาล ค่าปัจจัยฤดูกาลนี้ เมื่อนำไปคูณกับความต้องการสินค้าตลอดทั้งปี ก็จะได้ความต้องการสำหรับฤดูกาลนั้นๆ

$$SF_i = S_i x F_t \qquad (15)$$

เมื่อ SF_i = ค่าพยากรณ์ที่ทำการปรับค่าเนื่องจากปัจจัยฤดูกาลแล้วสำหรับในฤดูกาล i

F_t = ค่าพยากรณ์ความต้องการของช่วงเวลา t ที่ครอบคลุมฤดูกาลทั้งหมด

นอกจากการคำนวณตามที่ได้แสดงไว้แล้ว ยังมีวิธีการคำนวณแบบอื่นๆ อีก เช่น การคำนวณด้วยวิธีของ Winter หรือคำนวณด้วยวิธีอัตราส่วนค่าแนวโน้ม (ชุมพล ศฤงคารศิริ, 2545; พิภพ ลลิตาภรณ์, 2545)

2.1.5 การควบคุมการพยากรณ์ (Forecast Control)

ในการพยากรณ์ค่าที่คำนวณได้มักไม่เท่ากับความจริง นั่นก็คือเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบค่าพยากรณ์ที่ได้ทำการพยากรณ์ขึ้น เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงให้มากที่สุด โดยจะต้องอยู่ในช่วงของความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้ หากค่าพยากรณ์มีค่า

คลาดเคลื่อนมาก อาจหมายความว่าวิธีการที่ใช้ในการพยากรณ์อยู่ไม่เหมาะสม หรืออาจจำเป็นต้องเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์บางค่าให้เหมาะสม ในการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์มีด้วยกันหลายวิธีดังต่อไปนี้

1. ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Forecast Error)

ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์คือความแตกต่างระหว่างความต้องการสินค้าจริงและค่าที่ได้จากการพยากรณ์ ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่เวลา t สามารถคำนวณได้จาก

$$e_t = d_t - F_t \tag{16}$$

ผลรวมของความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ E คำนวณได้จาก

$$E = \sum_{t=j}^{T} e_t \tag{17}$$

เมื่อ j คือช่วงเวลาที่เริ่มคำนวณความคลาดเคลื่อน

หากค่าที่ได้จากการคำนวณพบว่าผลรวมของความคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นบวก แสดงว่าค่าพยากรณ์ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าค่าข้อมูลจริง แต่ถ้าหากมีค่าเป็นลบ แสดงว่าค่าพยากรณ์ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าข้อมูลจริง ส่วนความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในแต่ละช่วงเวลานั้น หากค่าที่คำนวณได้เป็นบวก แสดงว่าค่าพยากรณ์มีค่าน้อยกว่าค่าข้อมูลจริง และถ้ามีค่าเป็นลบ แสดงว่าค่าพยากรณ์มีค่ามากกว่าค่าข้อมูลจริง ณ ช่วงเวลานั้น

อีกวิธีหนึ่งที่คล้ายกับวิธีผลรวมความคลาดเคลื่อน ก็คือ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน ($\bar{e}$) คำนวณได้จากการหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนรวมดังสมการ

$$\bar{e} = \frac{\sum_{t=j}^{T} e_t}{n} \tag{18}$$

เมื่อ n คือ จำนวนช่วงเวลาทั้งหมดที่มีการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน หรือเท่ากับ T – j

2. ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation; MAD)

ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงบนสัมบูรณ์ คือ MAD เป็นวิธีที่ง่ายและนิยมที่สุดวิธีหนึ่งในการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ซึ่ง MAD เป็นค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์และข้อมูลจริง โดยค่า MAD ที่มีค่าน้อย แสดงว่าการพยากรณ์มีความเที่ยงตรงสูง คือให้ค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริง MAD สามารถคำนวณได้จาก

$$MAD=\frac{1}{n}\sum_{t=j}^{T}|e_t|=\frac{1}{n}\sum_{t=j}^{T}|d_t-F_t| \quad (19)$$

3. ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Squared Error; MSE)

ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ทั่วไป โดยค่า MSE ที่มีค่าน้อย แสดงว่าการพยากรณ์มีความเที่ยงตรง คือให้ค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริง MSE สามารถคำนวณได้จาก

$$MSE=\frac{1}{n}\sum_{t=j}^{T}|e_t^2|=\frac{1}{n}(d_t-F_t)^2 \quad (20)$$

4. ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error; MAPE)

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์หรือ MAPE เป็นวิธีการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์อีกวิธีหนึ่งที่เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับข้อมูลจริง สามารถคำนวณได้จาก

$$MAPE=\frac{1}{n}\left(\sum_{t=j}^{T}\frac{|e_2|}{d_t}x100\right) \quad (21)$$

2.2 แนวคิดของการวางแผนการผลิต

แนวคิดด้านการวางแผนการผลิต สามารถแบ่งออกตามระยะเวลาในการวางแผนการผลิต ดังนี้

1. การวางแผนการผลิตระยะยาว (Long-term Production Planning) การวางแผนการผลิตระยะยาว หมายถึง การวางแผนการผลิตในช่วงเวลามากกว่า 1 ปีขึ้นไป โดยทั่วไปแล้วจะอยู่ระหว่าง 3-5 ปี ซึ่งเป็นการวางแผนระดับกลยุทธ์ (Strategic Level) โดยมีจุดประสงค์เพื่อการตัดสินใจในการเตรียมความพร้อมด้านการลงทุนการผลิต สำหรับการดำเนินการในอนาคต เช่น อาคาร สถานที่ เครื่องจักรหลัก หรือสาธารณูปโภคของโรงงาน เป็นต้น

2. การวางแผนการผลิตระยะกลาง (Mid-term Production Planning) การวางแผนการผลิตระยะกลาง หมายถึง การวางแผนการผลิตในช่วงเวลาระหว่าง 1-12 เดือนข้างหน้า ซึ่งเป็นการวางแผนระดับการจัดการ (Managerial Level) มีจุดประสงค์เพื่อจัดสรรการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้สามารถเกิดอย่างเต็มที่ในกระบวนการผลิต การวางแผนการผลิตระยะกลางนี้จะมีหัวข้อที่เป็นองค์ประกอบสำคัญดังนี้

2.1 การวางแผนการผลิตรวม (Aggregate Planning)

2.2 การจัดตารางการผลิตหลัก (Master Production Scheduling : MPS)

2.3 การวางแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirement Planning : MRP)

2.4 การวางแผนความต้องการกำลังการผลิต (Capacity Requirement Planning : CRP)

3. การวางแผนการผลิตระยะสั้น (Short-Term Production Planning)

การวางแผนการผลิตระยะสั้น หมายถึง การวางแผนการผลิตที่มีช่วงเวลาเป็นรายสัปดาห์หรือรายวัน ขึ้นอยู่กับปริมาณงานและความซับซ้อนของกระบวนการผลิต เป็นการวางแผนระดับปฏิบัติการที่มีจุดประสงค์เพื่อจัดเตรียมกำหนดเวลาในการทำงานให้กับทรัพยากรการผลิตที่เกี่ยวข้อง เช่น แรงงานเครื่องจักร เครื่องมือ รวมทั้งช่วงเวลาในการปฏิบัติงานของแต่ละสถานีงานด้วย การวางแผนการผลิตระยะสั้นนี้จะมุ่งเน้นเรื่องการจัดตารางการผลิต (Production Scheduling) เป็นหลัก ซึ่งถือเป็นลำดับขั้นสุดท้ายของระบบการวางแผนการผลิต โดยจะต้องมีความยืดหยุ่นตัวได้ค่อนข้างสูง เพื่อให้สอดคล้องกับสถานภาพของกระบวนการผลิต

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณรงค์เดช (2555) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ด้วยวิธีการพยากรณ์ความต้องการ โดยเลือกใช้วิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา เทคนิคที่ใช้ในการพยากรณ์ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลซ้ำสองครั้ง และวิธีการของวินเตอร์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเลือกใช้เทคนิคต่างๆ ในการพยากรณ์จะให้ผลที่แตกต่างกัน โดยจากงานวิจัย ได้เลือกวิธีการพยากรณ์ความต้องการด้วยเทคนิควิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย สำหรับสินค้าตู้ข้างล้อเลื่อน 2 ลิ้นชัก และวิธีการของวินเตอร์สำหรับสินค้าตู้เตี้ยตั้งพื้น2 บานเปิด และตู้สูงตั้งพื้น 4 บานเปิด โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) ที่น้อยสุดไปใช้ ผลจากการประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดตารางการผลิตหลัก พบว่า ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 51.57 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 90.73 เปอร์เซ็นต์ หรือเพิ่มขึ้น 39.16 เปอร์เซ็นต์

อรรถกร และธิดารัตน์ (2557) ได้ดำเนินการพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดของเสียในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) เพื่อคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบคลาสสิก (Classical Time Series Analysis) วิธีการบ๊อกซ์และเจนกินส์ (Box-Jenkins) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ทำการพยากรณ์ของเสียจาก ชิ้นส่วนที่ใช้ในการผลิตจากอาการเสีย 3 ลักษณะ คือ การปนเปื้อน รอยถุงมือ และรอยขีดข่วน จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์

พบว่าการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบวิธีคลาสสิก มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลของภาวะที่มีสิ่งเจือปน และรอยถุงมือ และวิธีบ๊อกซ์และเจนกินส์ เหมาะกับรอยขีดข่วน

กำพล เอกลักษณ์โพธิ์ (2551) ได้ศึกษาการออกแบบระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้ากระดาษคราฟท์ กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ เนื่องจากปัญหาในการสั่งผลิตสินค้าจะใช้เพียงประสบการณ์ทำงาน ไม่มีการนำเอาข้อมูลการขายในอดีตมาใช้วิเคราะห์ด้านสถิติ ส่งผลให้โรงงานต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ค่าจ้างแรงงานและการเสื่อมราคาของสินค้า ผลการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างการพยากรณ์โดยการใช้ระบบช่วยเหลือการตัดสินใจกับการตัดสิใจการผลิตโดยใช้ประสบการณ์แสดงให้เห็นว่าการพยากรณ์โดยการใช้ระบบที่ออกแบบขึ้นมีค่าเสียโอกาสต่ำกว่า และต้นทุนที่เกิดจากการผลิตสินค้าเกินความต้องการจริงต่ำกว่า

สิริรัตน์ (2556) ได้ศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสม สำหรับความต้องการสินค้าท่อเหล็กในโรงงานผลิตท่อเหล็กสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งวิธีการในปัจจุบัน คือ เจ้าหน้าที่ใช้ประสบการณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลเทียบกับยอดขายในอดีตที่ผ่านมา และแนวโน้มของยอดการผลิตของอุตสาหกรรมยานยนต์ จากการศึกษาเทคนิคการพยากรณ์โดยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก 3 ช่วง การปรับเรียบด้วยเอกซ์โพเนนเชียล และการใช้เทคนิควิเคราะห์แนวโน้มเชิงเส้น ผลการศึกษา พบว่า ค่าความผิดพลาด MAD ลดลง รวมทั้งมูลค่าสินค้าคงคลังสะสมลดลงร้อยละ 33.6

นิจรินทร์ (2554) ได้ดำเนินการวิจัยโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาและการจัดการสินค้าคงคลังสำหรับผลิตภัณฑ์หน่อไม้บรรจุกระป๋องที่มีวัตถุดิบมีลักษณะเป็นฤดูกาล เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดซื้อผลิตภัณฑ์ต่อไป ผลการศึกษาพบว่าการพยากรณ์โดยรวมทุกผลิตภัณฑ์รายไตรมาสจะให้เปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ต่ำที่สุด วิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดคือวิธีการปรับเรียบฤดูกาลเชิงบวก (Seasonal Additive Smoothing Method) การพยากรณ์ความต้องการแบบรวมผลิตภัณฑ์ให้ค่าคลาดเคลื่อนต่ำกว่าการพยากรณ์แยกผลิตภัณฑ์ และการพยากรณ์แยกตามผลิตภัณฑ์ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าการพยากรณ์แยกตามขนาดบรรจุ ซึ่งอาจเป็นเพราะผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเดียวกันจะมีปริมาณขายเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน (2554) ได้ศึกษาตัวแบบและการพยากรณ์ความต้องการที่แม่นยำของชิ้นส่วนยานยนต์สำหรับตลาดต่างประเทศที่มีต่อประเทศไทย กระบวนการดำเนินงานคือเลือกและวิเคราะห์สมรรถนะของตัวแบบอนุกรมเวลา และตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม ในการพยากรณ์การส่งออกล้อและส่วนประกอบและอุปกรณ์ประกอบของล้อจากประเทศไทย เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ใช้วัดความแม่นยำในการพยากรณ์ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมดีกว่าตัวแบบอื่นๆ สำหรับประเทศญี่ปุ่น เยอรมนี

และอินโดนีเซีย ขณะที่ตัวแบบเอกซ์โพเนนเชียลแบบมีแนวโน้มให้ค่าพยากรณ์ได้ใกล้เคียงค่าที่แท้จริงมากที่สุดสำหรับประเทศจีน อย่างไรก็ตามไม่มีตัวแบบใด ๆ ที่ให้ค่าแม่นยำสำหรับประเทศเกาหลีใต้ เนื่องจากให้ค่าคลาดเคลื่อนมากกว่า 50% หลังจากนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์นำไปใช้หาปริมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการส่งออก โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น เพื่อให้ได้กำไรสูงสุด ผลลัพธ์ของการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้สำหรับการวางแผนการผลิตหรือการลงทุนโดยให้ข้อมูลกับผู้ผลิต

จุฑามาศ (2554) ได้ศึกษาวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลายอดขายรายเดือนของชิ้นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์แบริ่ง เพื่อลดขนาดของความคลาดเคลื่อนในการวางแผนการผลิตของโรงงาน โดยวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลา สร้างสมการพยากรณ์ และใช้ข้อมูล 6 เดือนสุดท้ายสำหรับการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ วิธีพยากรณ์ที่นำมาใช้เปรียบเทียบมี 3 วิธี คือ วิธีการปรับเรียบด้วยเอ็กซ์โปเนนเชียลสองชั้น วิธีการปรับเรียบด้วยเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบเส้นตรง และวิธีการบอกซ์และเจนกินส์ การเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ใช้เกณฑ์ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์เดิมพบว่า ขนาดของความคลาดเคลื่อนในการวางแผนการผลิตของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง

หทัยชนก (2553) ได้ทำการศึกษารูปแบบการพยากรณ์ความต้องการสินค้าที่เหมาะสม และวิเคราะห์แนวโน้มยอดขายในอนาคตเพื่อวางแผนการผลิตให้ดีขึ้น จากการเปรียบเทียบด้วยการพยากรณ์ 5 วิธี คือ วิธีการพยากรณ์การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีเทคนิควินเตอร์ วิธีปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลชั้นเดียว วิธีปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลสองชั้น และวิธีวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเส้น พบว่า วิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ วิธีวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเส้น จากนั้นได้นำวิธีการพยากรณ์ทดลองใช้กับปริมาณยอดขายจริงและจำลองต้นทุนรวม พบว่า ต้นทุนมูลค่าของสินค้าคงคลังประหยัดได้ประมาณ 2,448 บาทในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา ผลการพยากรณ์ปริมาณยอดขายสินค้าแบบใหม่มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณยอดขายจริงมากกว่าแบบเดิม

แววดาว (2550) ได้ศึกษาการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาเพื่อการวางแผนการผลิตสินค้าประเภทเฟอร์นิเจอร์บริษัท เอส บี อุตสาหกรรมเครื่องเรือน ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตสินค้าแบบเก็บสต็อกเพื่อรอจำหน่ายและผลิตตามคำสั่งซื้อ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะปรับปรุงข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการผลิตให้ดีขึ้น ผลการทดสอบพบว่า วิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ วิธีปรับเรียบแบบเอ็กโพเนนเชียลซ้ำสองครั้ง จากนั้นได้นำวิธีการพยากรณ์ที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจสั่งผลิต การพยากรณ์การผลิตด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอ็กโปแนนเชียลซ้ำสองครั้ง พยากรณ์การผลิตได้ใกล้ความเป็นจริงมากกว่าวิธีการพยากรณ์แบบเก่า คิดเป็นต้นทุนมูลค่าของสินค้าคงคลังที่ประหยัดได้ประมาณ 2,805,000 บาท ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลการพยากรณ์การผลิตสินค้าวิธีใหม่มีค่าใกล้เคียงกับยอดขายจริงมากกว่าการใช้วิธีการแบบเก่าคือใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนเพียงอย่างเดียว

ศิเรมอร (2551) ได้ศึกษาเปรียบเทียบด้วยวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี ได้แก่ วิธีถดถอยเชิงเส้น วิธีหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ และวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก โดยทั้ง 3 วิธี จะถูกปรับด้วยอิทธิพลจากดัชนีฤดูกาลด้วย จากการเปรียบเทียบพบว่า วิธีการพยากรณ์แบบถดถอยเชิงเส้นให้ผลดีกว่าวิธีอื่น อีกทั้ง มีการนำผลมาใช้ในการวางแผนการสั่งซื้อ โดยเปรียบเทียบผลคำนวณปริมาณการสั่งซื้อด้วยวิธีการสั่งซื้อแบบต่างๆ ซึ่งผลที่ได้พบว่า ค่าใช้จ่ายรวมในการดำเนินการของบริษัทลดลงถึง 76.6%

Charles (2004) ได้ศึกษาวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่โดยการให้น้ำหนักแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับอนุกรมเวลาที่ไม่เป็นแนวโน้ม อนุกรมเวลาที่มีลักษณะเป็นแบบแนวโน้ม อนุกรมเวลาที่ไม่เป็นฤดูกาล และอนุกรมเวลาที่เป็นฤดูกาล ผลการวิจัยพบว่า วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่การให้น้ำหนักแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล เป็นวิธีการพยากรณ์ที่มีความยืดหยุ่นสูงมาก เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ทั้งในกรณีของของข้อมูลทีมีลักษณะแบบไม่เป็นแนวโน้ม ไม่มีผลของฤดูกาล ข้อมูลที่มีลักษณะแนวโน้ม และข้อมูลที่มีผลขอฤดูกาลที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น การพยากรณ์ด้วยวิธีนี้จึงมีความยืดหยุ่นสูงเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายด้าน

Bermúdez, Segura & Vercher (2006) ได้กล่าวถึงวิธีการเอ็กซ์โพเนนเชียลว่าเป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้ในการคุมสินค้าคงคลังและใช้ในการวางแผนทางธุรกิจ ซึ่งกระบวนการของการพยากรณ์ด้วยวิธีเอ็กซ์โพเนนเชียล สามารถใช้กับการยากรณ์ที่เกี่ยวข้องกับอนุกรมเวลา สามารถนำเทคนิคการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดไประยุกต์ ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support Systems)

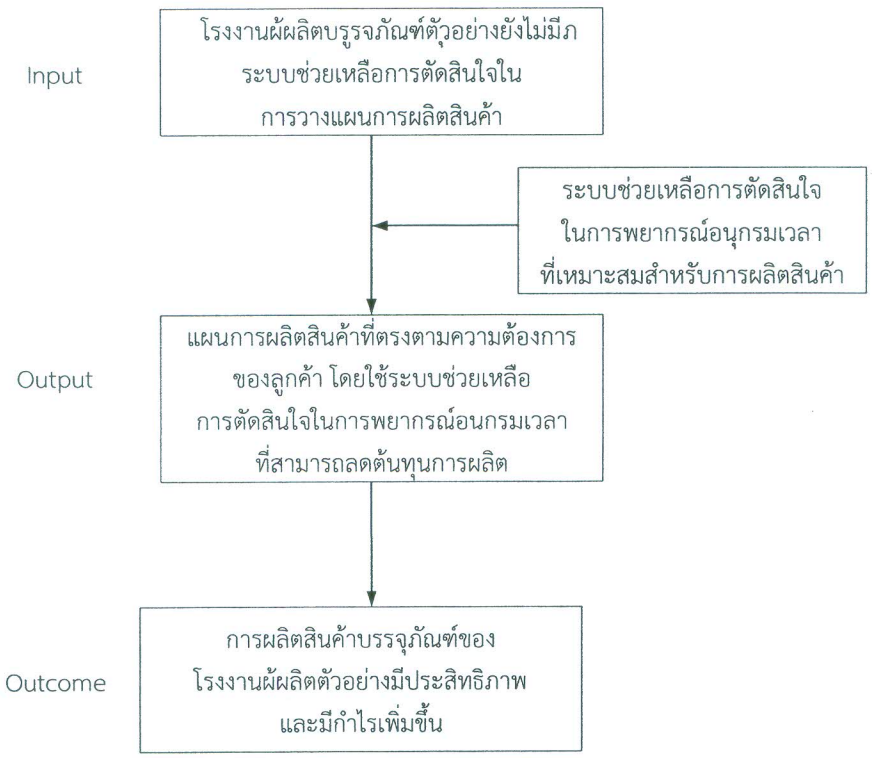
Diaz, Talley & Tulpule (2011) ได้ทำการพยากรณ์ปริมาณคอนเทนเนอร์ที่ว่าง ปัญหานี้เป็นค่าใช้จ่ายหลักและเป็นความท้าทายในการดำเนินการ การพยากรณ์ปริมาณคอนเทนเนอร์ที่ว่างจะสามารถพัฒนาการวางแผนค่าใช้จ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยวิธีการของวินเตอร์ ซึ่งวิธีการของวินเตอร์นี้ทำให้ได้ผลการศึกษาที่ว่า การพยากรณ์คอนเทนเนอร์ที่ว่างมีความแม่นยำมากขึ้นกว่าวิธีการของ Tioga group and United Nations.

Tomeijinders, Teunter & van Jaarsveld. (2012). ได้ทำการศึกษาวิธีการพยากรณ์สองครั้งสำหรับพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่โดยใช้ข้อมูลจากการซ่อม วิธีการพยากรณ์สองครั้งสำหรับจำนวนชิ้นส่วนเฉลี่ยต่อการซ่อมและจำนวนการซ่อมของส่วนประกอบแต่ละชนิด วิธีการที่นำมาทดลองในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการเปรียบเทียบให้แก่ผู้ให้บริการ ผลการทดลองที่ได้พบว่าวิธีการนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่ให้ความแม่นยำสูงสุด อีกทั้งยังสามารถลดความผิดพลาดในการพยากรณ์ได้ถึง 20%

Holt (2004) ได้แสดงให้เห็นถึงการใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่โดยการให้น้ำหนักแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล สำหรับอนุกรมเวลาที่ไม่เป็นแนวโน้ม หรืออนุกรมเวลาเป็นแนวโน้ม และอนุกรมเวลาที่ไม่เป็นฤดูกาลหรือเป็นฤดูกาล ซึ่งผลการศึกษาพบว่า วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ การให้น้ำหนักแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลจัดเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นสูงมาก เหมาะสมต่อการนำไปวิเคราะห์การพยากรณ์ทั้งในกรณีที่ข้อมูลไม่มีแนวโน้ม และไม่เป็นฤดูกาล หรือข้อมูลที่มีแนวโน้มและมีฤดูกาล ขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งาน เพราะการใส่น้ำหนักให้กับข้อมูลในแต่ละช่วงจะขึ้นอยู่กับการพิจารณาวามเหมาะสมของผู้ที่นำไปใช้งาน ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้การพยากรณ์ด้วยวิธีนี้มีความยืดหยุ่นสูงเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน

Snyder, Kochler and Ord (2002) ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสามารถนำไปใช้พยากรณ์การควบคุมสินค้าคงคลังได้ โดยไม่มีค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์อยู่ในช่วงของการควบคุม ซึ่งสามารถอธิบายได้ในเทอมของรูปแบบทางสถิติ เช่น ความผิดพลาดกับค่าความแปรปรวน ซึ่งการวิจัยนี้เป็นการนำวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลไปใช้ในการวิจัยภายใต้เงื่อนไขทั่วไป ที่ระดับความแปรปรวนมีค่าสูงขึ้น การเคลื่อนที่ของข้อมูลที่มีความสอดคล้องกัน สิ่งที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าและการคาดการณ์เป็นเรื่องของการตรวจสอบในส่วนของงานวิจัยนี้มีปัญหาสำคัญ คือ การหาค่าคาดการณ์ของการกระจายสำหรับความต้องการในการรอคอย (Lead-time) สำหรับใช้ในการคำนวณการควบคุมสินค้าคงคลังเป็นการพิจารณาถึงการนำไปใช้ ซึ่งวิธีของการประมาณค่าระดับการสั่งที่เพิ่มขึ้น จะทำโดยการจำลองการกระจายของค่าคาดการณ์เพื่อใช้ในการตรวจสอบ

2.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



รูปที่ 2.1 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาขั้นตอนการพยากรณ์รูปแบบต่างๆ การเก็บข้อมูลการขายในอดีต และทำการวิจัยจนกระทั่งได้ออกแบบแผนผังต่างๆ ตลอดจนการออกแบบเพื่อการพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม ซึ่งสามารถออกแบบวิธีดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานและการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับทำการศึกษา เพื่อนำไปวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุด เพื่อนำตัวแบบในการพยากรณ์ไปทำการพยากรณ์สำหรับเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดและต้นทุน สามารถแสดงวิธีดำเนินการวิจัยเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อหรือยอดการขายในอดีต อย่างน้อย 12 เดือนย้อนหลัง

3.1.2 วิเคราะห์ตัวแบบในการพยากรณ์การผลิต (Forecasting Model) เพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสม

3.1.3 ตัดสินใจเลือกเทคนิคที่เหมาะสมในการพยากรณ์

3.1.4 ดำเนินการทดลองในตัวแบบการพยากรณ์ที่ได้

3.1.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนและต้นทุนระหว่างปริมาณการขายสินค้าจริงและปริมาณจากค่าการพยากรณ์

ซึ่งจากวิธีดำเนินการวิจัยที่สรุปเป็นขั้นตอนข้างต้น สามารถแสดงรายละเอียดเพื่อให้การดำเนินงานบรรลุวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

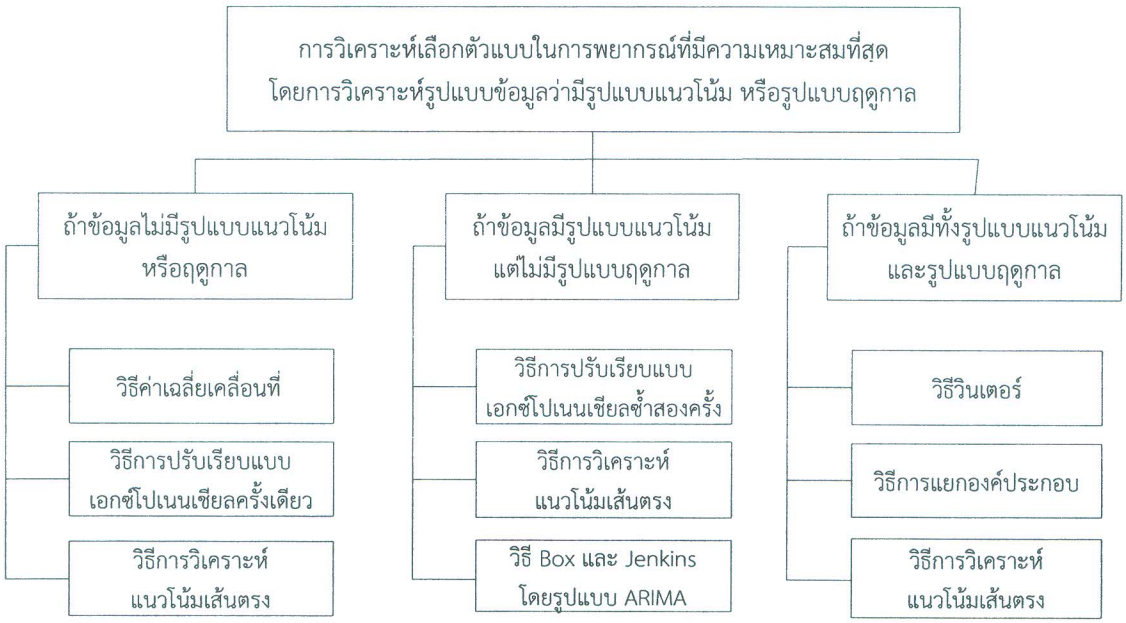
3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อหรือยอดการขายในอดีต

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อหรือยอดการขายในอดีตของบริษัทมาวิเคราะห์ศึกษารูปแบบของข้อมูลว่ามีลักษณะรูปแบบอย่างไร ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อทำการวิเคราะห์เลือกตัวแบบในการพยากรณ์ (Forecasting Model) ให้มีความเหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด

3.1.2 วิเคราะห์ตัวแบบในการพยากรณ์การผลิต (Forecasting Model) เพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสม

ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวแบบในการพยากรณ์การผลิต คือค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์น้อยที่สุด จากนั้นจะนำแบบสมการทางสถิติด้านการพยากรณ์ที่ได้ผ่านกระบวนการวิเคราะห์แล้วให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดมาประยุกต์ใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจการพยากรณ์การผลิตสินค้าเป็นขั้นตอนต่อไป การวิเคราะห์เลือกตัวแบบในการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุด มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ข้อมูล
2. ศึกษารูปแบบข้อมูลของสถานประกอบการที่นำมาใช้เป็นต้นแบบในการวิจัย โดยสำหรับสถานประกอบการขนาดกลาง ได้แก่ บริษัท เบอร์รี่ ไดน่าพลาส จำกัด ผู้ผลิตภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุ และสำหรับสถานประกอบการขนาดย่อม ได้แก่ บริษัท สุธารส อินทิเกรชั่น จำกัด ผู้ผลิตและจำหน่ายบรรจุภัณฑ์พลาสติก
3. วิเคราะห์รูปแบบข้อมูลว่ามีรูปแบบแนวโน้ม หรือรูปแบบฤดูกาล สามารถแสดงเป็นแผนผังเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจได้ดังรูปที่ 2
4. ถ้าข้อมูลไม่มีรูปแบบแนวโน้ม หรือฤดูกาลจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีดังนี้
   - 4.1 วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่
   - 4.2 วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว
   - 4.3 วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง
5. ถ้าข้อมูลมีรูปแบบแนวโน้มแต่ไม่มีรูปแบบฤดูกาล จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีดังนี้
   - 5.1 วิธีการปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง
   - 5.2 วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง
   - 5.3 วิธี Box และ Jenkins โดยรูปแบบ ARIMA
6. ถ้าข้อมูลมีทั้งรูปแบบแนวโน้มและรูปแบบฤดูกาล จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีดังนี้
   - 6.1 วิธีวินเตอร์
   - 6.2 วิธีการแยกองค์ประกอบ
   - 6.3 วิธีการวิเคราะห์แนวโน้มเส้นตรง
7. วิเคราะห์ผลลัพธ์ของแต่ละวิธี และเลือกวิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่าความผิดพลาดหรือค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์น้อยที่สุด



รูปที่ 3.1 การวิเคราะห์เลือกตัวแบบในการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุด

3.1.3 ออกแบบและพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าแบบอนุกรมเวลา ในขั้นตอนของการออกแบบแผนผังสนับสนุนการตัดสินใจการพยากรณ์การผลิตสินค้า ผู้วิจัยจะนำสมการทางสถิติด้านการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาที่มีความเหมาะสมมาทำการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจการพยากรณ์ ซึ่งจะเป็นส่วนของการออกแบบขั้นตอนการทำงานของระบบและรูปแบบของส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยผู้วิจัยจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ในการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจการพยากรณ์ สามารถทำงานได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน

การพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า สามารถแสดงข้อมูลจากหน้าจอแสดงผล (Output) จะมีข้อมูลที่ระบุโดยสังเขป ดังรูปที่ 3

3.1.4 ตัดสินใจเลือกเทคนิคที่เหมาะสมในการพยากรณ์

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของแต่ละวิธี จะดำเนินการตัดสินใจเลือกเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมจากเทคนิคที่ให้ค่าความผิดพลาดหรือค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ถึงจะนับว่าเป็นค่าพยากรณ์ที่เหมาะสม และใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากที่สุด โดยสามารถใช้ดัชนีการประเมิน ดังนี้

1. ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation ; MAD)
2. ค่ากลางของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Squared Error ; MSE)
3. ค่ากลางของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error ; MAPE)

ซึ่งค่าดัชนีการประเมิน 3 ตัวข้างต้น หากมีค่ายิ่งน้อย หมายถึง การพยากรณ์ยิ่งแม่นยำ

Time Series Forecasting

File : "Plastic Bag. Size 5" (Code A1)"

Single Data Type | Save

X (Time)	Y (Demand)	Linear	Polynomial	Winter	Moving Average	Exponential	Double Exponential
1	155						
2	245	205	.....	.....	187	185	.....
3	189	200	.....	.....	196	193	.....
4	175	189	.....	.....	198	203	.....
5	133	187	.....	.....	197	197	.....
6	200	199	.....	.....	200	202	.....
7	251	203	.....	.....	207	215	.....
8	270	245	.....	.....	238	244	.....
9	235	258	.....	.....	252	250	.....
10	198	210	.....	.....	205	199	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Calculate | Confidence Interval = 95%

ERROR Type	Linear	Polynomial	Winter	Moving Average	Exponential	Double Exponential
MAD	547.39			423.05	398.60	
MSE	342949.75			324875.50	398274.65	
MAPE	23.50			27.45	22.25	
n	10			10	10	

Graph

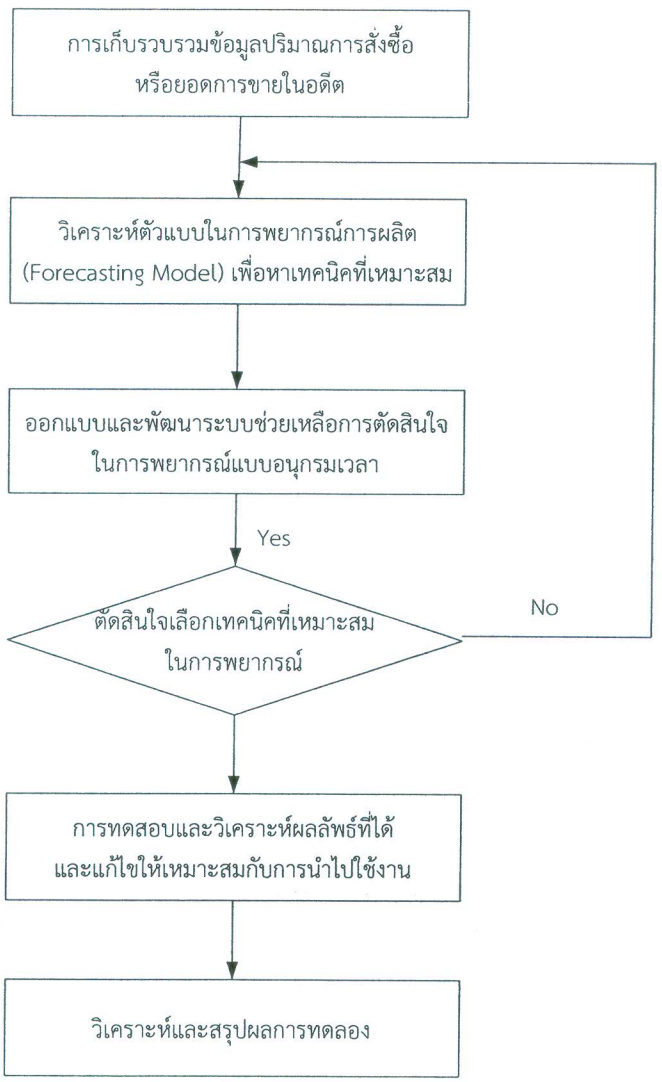
รูปที่ 3.2 หน้าจอแสดงผล (Output) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ
การพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าแบบอนุกรมเวลาโดยสังเขป

3.1.5 การทดสอบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ และแก้ไขให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบการทำงานของระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า โดยการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ว่ามีความถูกต้องหรือไม่

3.1.6 สรุปผลการทดลอง

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวมานั้น สามารถสรุปเป็นแผนผังดังรูปที่ 4



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

ภาคสนาม : โรงงานผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ขนาดกลางและขนาดย่อมที่เป็นต้นแบบในการวิจัยที่อยู่ในพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี โดยสำหรับโรงงานขนาดกลาง ได้แก่ บริษัท เบอร์รี่ ไดน่าพลาส จำกัด และสำหรับโรงงานขนาดย่อม ได้แก่ บริษัท สุธารส อินทิเกรชั่น จำกัด

3.2 ระยะเวลาทำการวิจัยและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

แผนการดำเนินงาน	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาปัญหาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์การผลิต	↔											
2. ศึกษาแนวทางการดำเนินงานและกำหนดขอบเขตการทดลองในการพยากรณ์การผลิต		↔	↔									
3. การเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อหรือยอดการขายในอดีต			↔	↔	↔							
4. วิเคราะห์ตัวแบบในการพยากรณ์การผลิต เพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสม					↔	↔						
5. ตัดสินใจเลือกเทคนิคที่เหมาะสมในการพยากรณ์						↔						
1. ออกแบบและพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา							→	→	→			
7. การทดสอบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ และแก้ไขให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน									↔	↔		
8. สรุปผลการทดลอง										↔		
9. จัดทำรายงานและเผยแพร่งานวิจัย											↔	↔

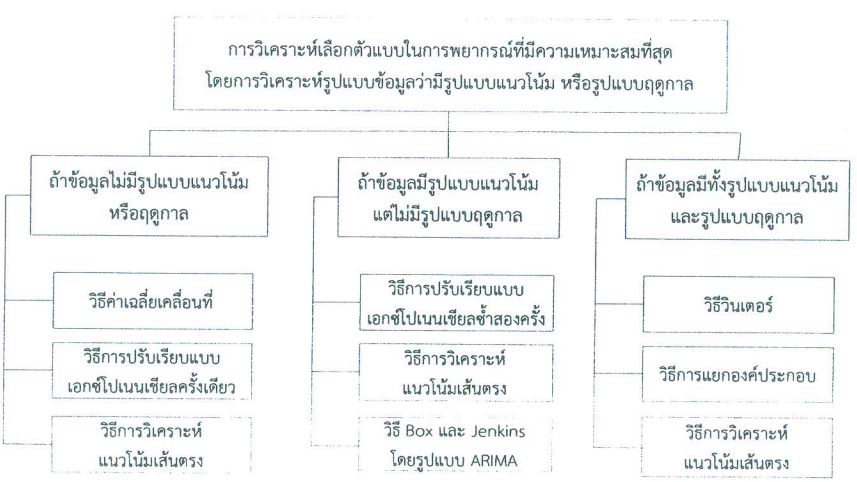
บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาขั้นตอนการพยากรณ์รูปแบบต่างๆ การเก็บข้อมูลการขายในอดีต และทำการวิจัยจนกระทั่งได้ออกแบบแผนผังต่างๆ ตลอดจนการออกแบบเพื่อการพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงได้ดังนี้

4.1 ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1.1 ศึกษารูปแบบข้อมูลของบริษัทตัวอย่าง

ผู้ทำการวิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อหรือยอดการขายในอดีตอย่างน้อย 12 เดือนย้อนหลังจากบริษัทตัวอย่าง โดยเริ่มแรกจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ของสถานประกอบการ เพื่อนำไปสู่ขั้นตอนการเลือกวิธีการคำนวณที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบข้อมูล

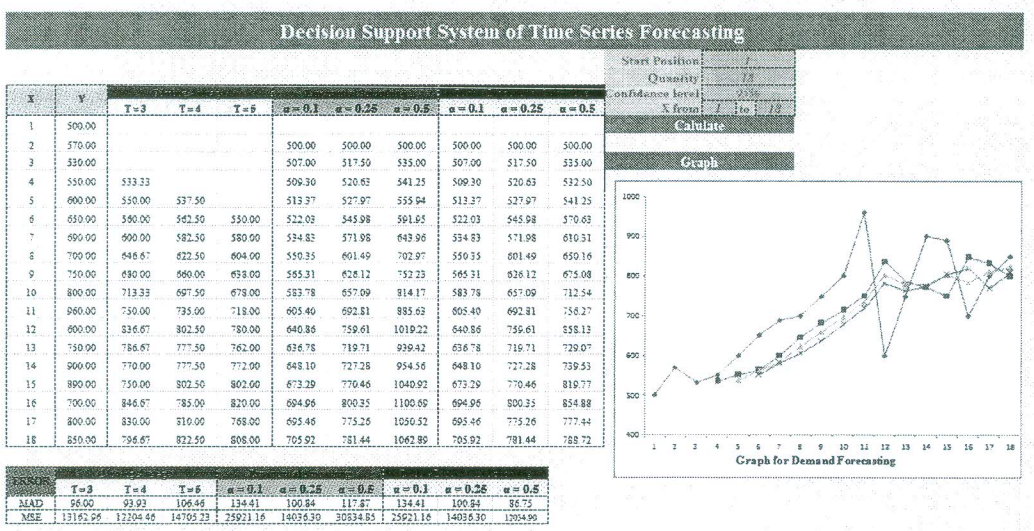


รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์เลือกตัวแบบในการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุด

จากรูปที่ 4.1 สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลการขายในอดีตของสินค้าบรรจุภัณฑ์ของบริษัทตัวอย่างมีรูปแบบหลายรูปแบบแตกต่างกันออกไป ผู้วิจัยจึงเลือกเทคนิคการพยากรณ์จำนวน 3 วิธีมาทำการวิเคราะห์นำมาออกแบบระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ คือ เทคนิควิธี Simple Moving Average, Simple Exponential Smoothing และ Double Exponential Smoothing โดยระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า ที่ทำการออกแบบ

สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสามารถเลือกเทคนิคการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสม และค่าพยากรณ์ที่ให้ความผิดพลาดน้อยที่สุดตามเกณฑ์ความผิดพลาด 2 เกณฑ์ คือ MAD และ MSE ซึ่งแสดงผลดังตัวอย่างการพยากรณ์ดังนี้

4.1.2 ผลการพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้า



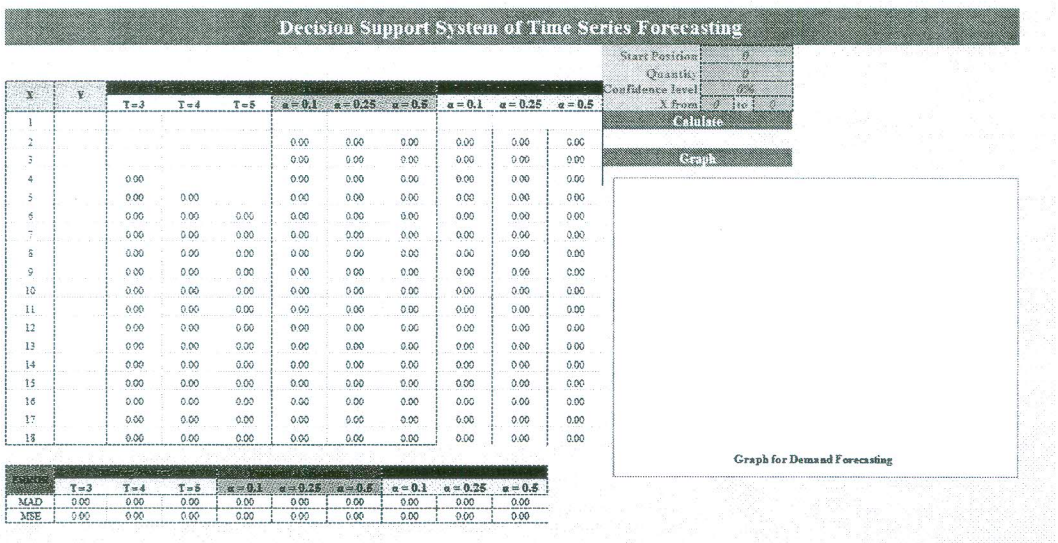
X	Y	T=3	T=4	T=5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5
1	500.00									
2	570.00				500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
3	530.00				507.00	517.50	535.00	507.00	517.50	535.00
4	550.00	533.33			509.30	520.63	541.25	509.30	520.63	532.50
5	600.00	550.00	537.50		513.37	527.97	555.94	513.37	527.97	541.25
6	650.00	560.00	582.50	550.00	522.03	545.98	591.65	522.03	545.98	570.63
7	690.00	600.00	582.50	580.00	534.83	571.98	643.96	534.83	571.98	610.31
8	700.00	646.67	622.50	604.00	550.35	601.49	702.97	550.35	601.49	650.16
9	750.00	680.00	660.00	638.00	565.31	626.12	752.23	565.31	626.12	675.08
10	800.00	713.33	697.50	678.00	583.78	657.09	814.17	583.78	657.09	712.54
11	960.00	750.00	735.00	718.00	605.40	692.81	885.63	605.40	692.81	756.27
12	600.00	836.67	802.50	780.00	640.86	759.61	1019.22	640.86	759.61	858.13
13	750.00	786.67	777.50	762.00	636.78	719.71	939.42	636.78	719.71	729.07
14	900.00	770.00	777.50	772.00	648.10	727.28	954.56	648.10	727.28	739.53
15	890.00	750.00	802.50	802.00	673.29	770.46	1040.92	673.29	770.46	819.77
16	700.00	846.67	785.00	820.00	694.96	800.35	1100.69	694.96	800.35	854.88
17	800.00	830.00	810.00	768.00	695.46	775.26	1050.52	695.46	775.26	777.44
18	850.00	796.67	822.50	808.00	705.92	781.44	1062.89	705.92	781.44	788.72

ERROR	T=3	T=4	T=5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5
MAD	96.00	93.92	106.46	134.41	100.84	117.87	134.41	100.84	96.75
MSE	13162.96	12204.46	14705.23	25921.16	14036.30	30834.85	25921.16	14036.30	12054.90

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า

4.1.3 ขั้นตอนการใช้ระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า

1. เปิดระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าดังแสดงในรูปที่ 2 และหลังจากนั้นหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าจะปรากฏหน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 4.3

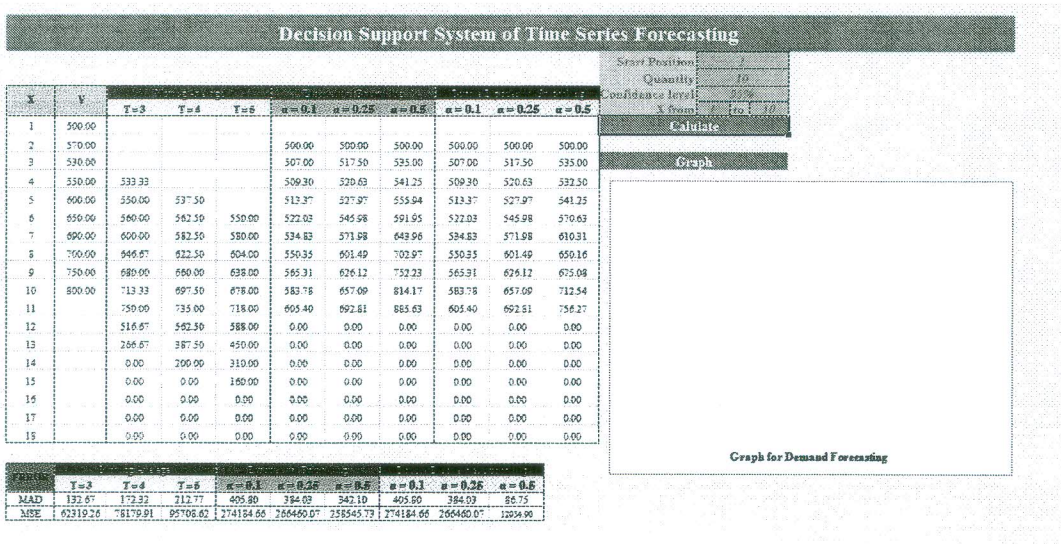


X	Y	T=3	T=4	T=5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5
1										
2					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5		0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Errors	T=3	T=4	T=5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5
MAD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MSE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

รูปที่ 4.3 หน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า

2. ป้อนรายละเอียดยอดขายของสินค้าดังรูปที่ 4.4

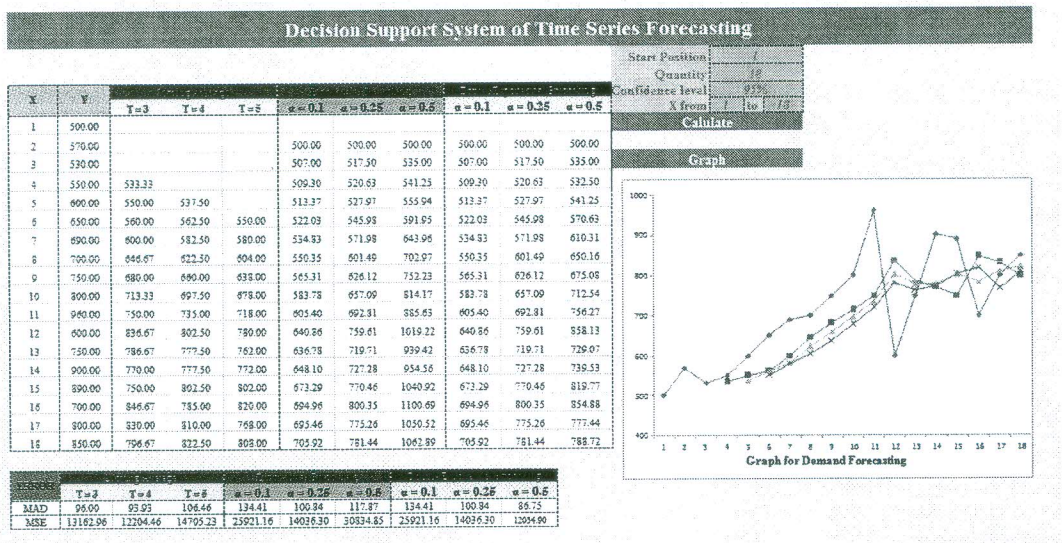


X	Y	T=3	T=4	T=5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5
1	500.00									
2	570.00				500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
3	530.00				507.00	517.50	535.00	507.00	517.50	535.00
4	550.00	533.33			509.30	520.63	541.25	509.30	520.63	532.50
5	600.00	550.00	537.50		513.37	527.97	555.94	513.37	527.97	541.25
6	650.00	560.00	562.50	550.00	522.03	545.98	591.95	522.03	545.98	570.63
7	690.00	600.00	582.50	580.00	534.83	571.98	643.96	534.83	571.98	610.31
8	700.00	646.67	622.50	604.00	550.35	601.49	702.97	550.35	601.49	650.16
9	750.00	680.00	660.00	638.00	565.31	626.12	752.23	565.31	626.12	675.08
10	800.00	713.33	697.50	678.00	583.78	657.09	814.17	583.78	657.09	712.54
11		750.00	735.00	718.00	605.40	692.81	885.63	605.40	692.81	756.27
12		516.67	562.50	588.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13		286.67	387.50	450.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14		0.00	200.00	310.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15		0.00	0.00	160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Errors	T=3	T=4	T=5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5	α = 0.1	α = 0.25	α = 0.5
MAD	132.67	172.32	212.77	405.80	384.03	342.10	405.80	384.03	86.75
MSE	62319.26	78179.91	95708.62	274184.66	266460.07	258545.73	274184.66	266460.07	12034.90

รูปที่ 4.4 การป้อนรายละเอียดวันเดือนปีและยอดขายของสินค้า

3. เริ่มทำการพยากรณ์ทีละเทคนิคและปรับค่าจนค่าการพยากรณ์เทคนิคนั้นๆมีค่าต่ำที่สุดตามเกณฑ์ความผิดพลาดจนครบตามเทคนิควิธีการพยากรณ์ที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.5



X	Y	T=3	T=4	T=5	α=0.1	α=0.25	α=0.5	α=0.1	α=0.25	α=0.5
1	500.00									
2	570.00				500.00	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
3	530.00				507.00	517.50	535.00	507.00	517.50	535.00
4	550.00	533.33			509.30	520.63	541.25	509.30	520.63	532.50
5	600.00	550.00	537.50		513.37	527.97	555.94	513.37	527.97	541.25
6	650.00	560.00	562.50	550.00	522.03	545.98	591.95	522.03	545.98	570.63
7	690.00	600.00	582.50	580.00	534.83	571.98	643.96	534.83	571.98	610.31
8	700.00	646.67	622.50	604.00	550.35	601.49	702.97	550.35	601.49	650.16
9	750.00	680.00	660.00	638.00	565.31	626.12	752.23	565.31	626.12	675.08
10	800.00	713.33	697.50	678.00	583.78	657.09	814.17	583.78	657.09	712.54
11	960.00	750.00	735.00	718.00	605.40	692.81	885.63	605.40	692.81	756.27
12	600.00	836.67	802.50	780.00	640.86	759.61	1019.22	640.86	759.61	858.13
13	750.00	786.67	777.50	762.00	636.78	719.71	939.42	636.78	719.71	729.07
14	900.00	770.00	777.50	772.00	648.10	727.28	954.56	648.10	727.28	739.53
15	890.00	750.00	802.50	802.00	673.29	770.46	1040.92	673.29	770.46	819.77
16	700.00	846.67	785.00	820.00	694.96	800.35	1100.69	694.96	800.35	854.88
17	800.00	830.00	810.00	768.00	695.46	775.26	1050.52	695.46	775.26	777.44
18	850.00	796.67	822.50	808.00	705.92	781.44	1062.89	705.92	781.44	788.72

	T=3	T=4	T=5	α=0.1	α=0.25	α=0.5	α=0.1	α=0.25	α=0.5
MAD	96.00	93.93	106.46	134.41	100.84	117.87	134.41	100.84	86.75
MSE	13162.96	12204.46	14705.23	25921.16	14036.30	30334.65	25921.16	14036.30	12004.90

รูปที่ 4.5 แสดงผลการเทคนิคการพยากรณ์ที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

ตัวอย่าง ค่าที่ได้จากการพยากรณ์สินค้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ข้อมูลยอดขายเป็นข้อมูลแบบเชิงเดี่ยว แสดงขั้นตอนการใช้งานเทคนิคการพยากรณ์ต่างๆและผลการเลือกเทคนิคพยากรณ์สินค้า A จากค่าความผิดพลาดตามเกณฑ์ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการใช้งานเทคนิคการพยากรณ์วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

2. สมการที่เกิดจากการคำนวณข้อมูล n จำนวนที่ได้กำหนดตั้งแต่แรกจากข้อมูลยอดขายของสินค้า A แสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งได้จากวิธีการคำนวณดังนี้

ให้ N เป็นจำนวนช่วงเวลาที่เราจะพิจารณาในวิธีถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ และ M_T เป็นค่าถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ ถ้าปัจจุบันเราอยู่ที่เวลา T ค่าถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่คำนวณหาได้จากผลรวมของข้อมูล N ข้อมูลสุดท้าย เมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามาจะต้องทำการคำนวณหาค่าถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ใหม่ไปเรื่อยๆ ดังสมการ

$$M_T = \frac{1}{N}(d_{T-N+1} + d_{T+N+2} + \ldots + d_T) \quad (1)$$

$$M_{T+1} = \frac{1}{N}(d_{T-N+2} + d_{T-N+3} + \ldots + d_{T+1)} \quad (2)$$

หรือจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$M_{T+1} = M_T + \frac{d_{T+1} - d_{T-N+1}}{N} \quad (3)$$

ตารางที่ 4.1 ค่าพยากรณ์ของเทคนิคการพยากรณ์วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

เดือน	ค่าสังเกต	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่		
		3 เดือน	4 เดือน	5 เดือน
1	820.00			
2	800.00			
3	750.00			
4	900.00	790.00		
5	850.00	816.67	817.50	
6	700.00	833.33	825.00	824.00
7	780.00	816.67	800.00	800.00
8	800.00	776.67	807.50	796.00
9	870.00	760.00	782.50	806.00
10	790.00	816.67	787.50	800.00
11	900.00	820.00	810.00	788.00
12	910.00	853.33	840.00	828.00
13	850.00	866.67	867.50	854.00
14	750.00	886.67	862.50	864.00
15	830.00	836.67	852.50	840.00
16	700.00	810.00	835.00	848.00
17	800.00	760.00	782.50	808.00
18	800.00	776.67	770.00	786.00

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าพยากรณ์ของเทคนิคการพยากรณ์วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ พบว่า ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 เดือน อยู่ระหว่าง 760.00-886.67 ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 4 เดือนอยู่ระหว่าง 770.00-867.50 และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 5 เดือน อยู่ระหว่าง 786.00-864.00

ตารางที่ 4.2 ค่าพยากรณ์แบบวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล โดยกำหนดค่าปรับเรียบที่ α= 0.1, 0.25 และ 0.5

เดือน	ค่าสังเกต	เอกซ์โปเนนเชียล		
		α=0.1	α=0.25	α=0.5
1	820.00			820.00
2	800.00	820	820	800.00
3	750.00	818.00	815.00	750.00
4	900.00	811.20	798.75	900.00
5	850.00	820.08	824.06	850.00
6	700.00	823.07	830.55	700.00
7	780.00	810.76	797.91	780.00
8	800.00	807.69	793.43	800.00
9	870.00	806.92	795.07	870.00
10	790.00	813.23	813.81	790.00
11	900.00	810.90	807.85	900.00
12	910.00	819.81	830.89	910.00
13	850.00	828.83	850.67	850.00
14	750.00	830.95	850.50	750.00
15	830.00	822.85	825.38	830.00
16	700.00	823.57	826.53	700.00
17	800.00	811.21	794.90	800.00
18	800.00	810.09	796.17	800.00

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าพยากรณ์แบบวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล พบว่า ค่าเอกซ์โปเนนเชียลที่ α=0.1 ค่าอยู่ระหว่าง 700.00-910.00 ค่าเอกซ์โปเนนเชียลที่ α=0.25 ค่าอยู่ระหว่าง 806.92-830.95 และค่าเอกซ์โปเนนเชียลที่ α=0.5 ค่าอยู่ระหว่าง 793.43-850.67

ตารางที่ 4.3 ค่าพยากรณ์แบบวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง โดยกำหนดค่าปรับเรียบที่ α= 0.1, 0.25 และ 0.5

เดือน	ค่าสังเกต	ค่าเอกซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง		
		α=0.1	α=0.25	α=0.5
1	820.00			
2	800.00	820.00	820.00	820.00
3	750.00	818.00	815.00	810.00
4	900.00	811.20	798.75	780.00
5	850.00	820.08	824.06	840.00
6	700.00	823.07	830.55	845.00
7	780.00	810.76	797.91	772.50
8	800.00	807.69	793.43	776.25
9	870.00	806.92	795.07	788.13
10	790.00	813.23	813.81	829.06
11	900.00	810.90	807.85	809.53
12	910.00	819.81	830.89	854.77
13	850.00	828.83	850.67	882.38
14	750.00	830.95	850.50	866.19
15	830.00	822.85	825.38	808.10
16	700.00	823.57	826.53	819.05
17	800.00	811.21	794.90	759.52
18	800.00	810.09	796.17	779.76

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าพยากรณ์แบบวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง พบว่า ค่าเอกซ์โปเนนเชียลที่ α=0.1 ค่าอยู่ระหว่าง 806.92-830.95 ค่าเอกซ์โปเนนเชียลที่ α=0.25 ค่าอยู่ระหว่าง 793.43-850.67 และค่าเอกซ์โปเนนเชียลที่ α=0.5 ค่าอยู่ระหว่าง 759.52-882.38

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการการพยากรณ์ที่เหมาะสมจากค่าความผิดพลาดตามเกณฑ์ MAD และ MSE

เทคนิคการพยากรณ์		ค่าความผิดพลาด	
		MAD	MSE
วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่	T = 3	62.89	5902.96
	T = 4	55.00	5050.00
	T = 5	54.92	5733.23
วิธีปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล	α = 0.1	52.23	4299.76
	α = 0.25	51.67	4709.33
	α = 0.5	61.57	6108.54
วิธีปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง	α = 0.1	52.23	4299.76
	α = 0.25	51.67	4709.33
	α = 0.5	59.01	5344.67

จากตารางที่ 4.13 พบว่าหากพิจารณาค่า MSE จะพบว่าวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ แบบ 4 เดือนมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด วิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลแบบ α = 0.25 มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด และวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้งแบบ α = 0.25 มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาค่า MAD จะพบว่า จะพบว่าวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ แบบ 4 เดือนมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด วิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลแบบ α = 0.1 มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด และวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้งแบบ α = 0.1 มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด

4.1.3 ผลการประเมินระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม

จากการวิเคราะห์ผลประเมินระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม โดยแบ่งเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของโปรแกรม และด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม จากผู้ใช้งานโปรแกรมจำนวน 10 ท่าน สามารถแสดงผลการประเมินได้ดังตารางที่ 4.5-4.8 ดังนี้

ผู้วิจัยใช้เกณฑ์เฉลี่ยระดับผลการประเมินโดยกำหนดเกณฑ์ในการแปลความหมายดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2542)

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.50 – 5.00 หมายถึง ผลประเมินอยู่ในระดับดีมาก
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.50 – 4.49 หมายถึง ผลประเมินอยู่ในระดับดี
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.50 – 3.49 หมายถึง ผลประเมินอยู่ในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.50 – 2.49 หมายถึง ผลประเมินอยู่ในระดับพอใช้
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.00 – 1.49 หมายถึง ผลประเมินอยู่ในระดับต้องปรับปรุง

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม

รายการประเมิน	คะแนนประเมิน	ผลการประเมิน
1. ความสามารถของโปรแกรมในด้านการนำเข้าข้อมูล	4.45	ดี
2. ความสามารถของโปรแกรมในด้านการแก้ไขข้อมูล	4.40	ดี
3. ความสามารถของโปรแกรมในด้านการลบข้อมูล	4.20	ดีมาก
4. ความสามารถของโปรแกรมในด้านการอัพเดทข้อมูล	4.55	ดี
ภาพรวม	**4.40**	**ดี**

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ผลการประเมินด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม ในภาพรวมอยู่ในระดับดี โดยมีคะแนนเฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 4.40 คะแนน ซึ่งมีคะแนนประเมินในเรื่องความสามารถของโปรแกรมในด้านการอัพเดทข้อมูลสูงสุด โดยมีผลการประเมินอยู่ในระดับ ดีมาก ด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.55 คะแนน

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของโปรแกรม

รายการประเมิน	คะแนนประเมิน	ผลการประเมิน
1. ความถูกต้องในการจัดเก็บข้อมูลนำเข้า	4.00	ดี
2. ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล	4.20	ดี
3. ความถูกต้องของการผลลัพธ์ในรูปแบบรายงาน	4.30	ดี
4. ความรวดเร็วในการประมวลผลของโปรแกรม	4.20	ดี
5. ความน่าเชื่อถือได้ของโปรแกรม	3.90	ดี
6. ความครอบคลุมของโปรแกรมที่พัฒนากับงานจริง	4.20	ดี
7. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น	3.80	ดี
ภาพรวม	**4.09**	**ดี**

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ผลการประเมินด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของโปรแกรม ในภาพรวมอยู่ในระดับดี โดยมีคะแนนเฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 4.09 คะแนน ซึ่งมีคะแนนประเมินในเรื่องความถูกต้องของการผลลัพธ์ในรูปแบบรายงานสูงสุด โดยมีผลการประเมินอยู่ในระดับดี ด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.30 คะแนน

ตารางที่ 4.7 ผลการประเมินด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม

รายการประเมิน	คะแนนประเมิน	ผลการประเมิน
1. ความง่ายต่อการใช้งานของโปรแกรม	4.25	ดีมาก
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้ตัวอักษรบนจอภาพ	4.10	ดี
3. ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่อสื่อความหมาย	4.00	ดี
4. ความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกับผู้ใช้	3.80	ดี
5. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบ	4.20	ดี
6. คำศัพท์ที่ใช้ผู้ใช้มีความคุ้นเคยและปฏิบัติตามได้โดยง่าย	3.80	ดี
ภาพรวม	**4.03**	**ดี**

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ผลการประเมินด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม ในภาพรวมอยู่ในระดับดี โดยมีคะแนนเฉลี่ยในภาพรวมเท่ากับ 4.03 คะแนน ซึ่งมีคะแนนประเมินในเรื่องความสามารถของโปรแกรมในด้านความง่ายต่อการใช้งานของโปรแกรมสูงสุด โดยมีผลการประเมินอยู่ในระดับดี ด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.25 คะแนน

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการประเมินในแต่ละด้าน

ด้านการประเมิน	คะแนนการประเมิน	ผลการประเมิน
1. ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม	4.40	ดี
2. ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของโปรแกรม	4.09	ดี
3. ด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม	4.03	ดี
ภาพรวม	**4.17**	**ดี**

จากตารางที่ 4.8 จากการวิเคราะห์ผลประเมินระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม ดังแสดงข้างต้น สามารถสรุปผลการประเมินได้ว่า ผลการประเมินระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้า ในภาพรวมทุกด้านอยู่ในระดับดี โดยมีคะแนนเฉลี่ย 4.17 คะแนน ซึ่งผลประเมินด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม มีคะแนนการประเมินสูงสุด รองลงมาได้แก่ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของโปรแกรม และด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม ด้วยคะแนน 4.40, 4.09 และ 4.03 ตามลำดับ โดยทุกด้านมีผลประเมินอยู่ในระดับดี

จากที่กล่าวถึงผลการดำเนินงานวิจัยรวมถึงตัวอย่างที่ดำเนินการผลิตสินค้ามาทั้งหมดนี้ ผู้วิจัยแสดงให้เห็นถึงการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อไปสู่การกำหนดแนวทางการดำเนินงานและขอบเขตการแก้ไขปัญหา การศึกษารูปแบบข้อมูลของบริษัทตัวอย่างและการเลือกวิธีการคำนวณที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบข้อมูล จนกระทั่งนำไปสู่การออกแบบและสร้างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า แสดงให้เห็นว่าระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าสามารถใช้เป็นแนวทางช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจการพยากรณ์ของผู้บริหารก่อนทำการสั่งผลิตสินค้าได้หรือรวมไปถึงผู้ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนหรือสั่งการผลิตสินค้าก็สามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ได้จริง

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าแบบอนุกรมเวลา สำหรับอุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลของบริษัทตัวอย่างพบว่า มีสภาพปัญหาที่สำคัญคือ การตัดสินใจในการพยากรณ์การผลิตสินค้าในแต่ละเดือนของบริษัทตัวอย่าง ซึ่งมักอาศัยความรู้สึกหรืออาศัยการพยากรณ์จากประสบการณ์การทำงานของผู้ตัดสินใจเท่านั้น โดยไม่ได้นำข้อมูลการขายในอดีตมาใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านสถิติ เพื่อช่วยในการตัดสินใจร่วมด้วย แนวทางหนึ่งที่จะสามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ การพยากรณ์การผลิตสินค้าของผู้ตัดสินใจคือ การออกแบบระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าในบริษัทตัวอย่าง โดยประมวลผลการพยากรณ์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจ ซึ่งจากการทดลองใช้ผลการพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจ พบว่า สามารถนำไปใช้งานได้จริงและช่วยประกอบการตัดสินใจได้เป็นอย่างดี จะเห็นได้ว่าระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าให้ผลลัพธ์ในการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกับยอดขายจริงมากกว่าการพยากรณ์ด้วยการใช้ประสบการณ์ของผู้ตัดสินใจเพียงอย่างเดียว อีกทั้งยังสามารถเห็นได้จากผลการประเมินระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้า ในภาพรวมทุกด้านอยู่ในระดับดี ซึ่งผลประเมินด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม มีคะแนนการประเมินสูงสุด รองลงมาได้แก่ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของโปรแกรม และด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม โดยทุกด้านมีผลประเมินอยู่ในระดับดี

5.2 อภิปรายผล

จากผลการพัฒนาระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตบรรจุภัณฑ์ พบว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริงและช่วยประกอบการตัดสินใจได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีความสอดคล้องกับกำพล เอกลักษณ์โพธิ์ (2551) ที่ได้ทำการออกแบบระบบช่วยเหลือการตัดสินใจ สำหรับ

การพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้ากระดาษคราฟท์ ซึ่งเกิดปัญหาโรงงานสั่งผลิตสินค้ามากเกินกว่าความต้องการจริงของลูกค้าเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้โรงงานต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ค่าจ้างแรงงานและการเสื่อมราคาของสินค้า งานวิจัยนี้จะศึกษาเทคนิควิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบข้อมูลต่างๆ เพื่อนำไปออกแบบระบบช่วยเหลือการตัดสินใจ โดยระบบช่วยเหลือการตัดสินใจสามารถวิเคราะห์ข้อมูลการขายในอดีตและเลือกตัวแบบทางสถิติที่มีความเหมาะสมในการตัดสินใจและทำให้เกิดค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด สอดคล้องกับถาวร กสานติกุล (2544) ได้ศึกษาหาวิธีทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการพยากรณ์ราคาขายปลีกเฉลี่ยล่วงหน้า 1 สัปดาห์ของน้ำมันสำเร็จรูปภายในเขตรุงเทพมหานคร โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ 2 ขั้นตอน กล่าวคือ ขั้นตอนแรกเป็นการใช้ตัวแบบพยากรณ์ 3 กลุ่มคือ เทคนิคการทำให้เรียบ เทคนิคการพยากรณ์แบบปรับได้ และเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อพยากรณ์ราคาขายปลีกเฉลี่ยก่อน ในกรณีที่ค่าพยากรณ์ที่ได้ไปมีความคลาดเคลื่อนด้วยเทคนิคการทำให้เรียบ แล้วนำค่าพยากรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ไปชดเชยค่าพยากรณ์ที่ได้จากขั้นตอนแรก จากนั้นจึงทำการทดสอบอีกครั้ง ผลการวิจัยพบว่าการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมนั้นจำเป็นต้องใช้วิธีการพยากรณ์ที่หลากหลายในการพยากรณ์ผสมผสานกัน จากนั้นจึงคัดเลือกค่าพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดจากค่าพยากรณ์ของวิธีการพยากรณ์ต่างๆ จากนั้น นำวิธีการดังกล่าวไปพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สอดคล้องกับกนกวรรณ วิไลศรี (2547) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการพยากรณ์แบบจุดของตัวแบบการถดถอยแบบฟัซซี โดยการใช้หลักการของตัวแบบ FARIMA และวิธีของวินเตอร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันตามเกณฑ์ MSE และวิธีการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดตามเกณฑ์ MAPE คือ การพยากรณ์ด้วยวิธีวินเตอร์ กล่าวคือ การพยากรณ์ด้วนวิธีวินเตอร์ สามารถให้ผลลัพธ์ได้ดี ในกรณีที่ข้อมูลมีรูปแบบของฤดูกาล และสามารถใช้กับข้อมูลที่มีการเก็บค่าสังเกตในระยะปานกลางได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับงานวิจัยของแววดาว พูนสวน(2550) ได้ศึกษาการศึกษาการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา เพื่อการวางแผนการผลิตสินค้า ประเภทเฟอร์นิเจอร์บริษัท เอส บี อุตสาหกรรมเครื่องเรือน ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตสินค้าแบบเก็บ สต็อก เพื่อรอจำหน่ายและผลิตตามคำสั่งซื้อ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะปรับปรุงข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการผลิตให้ดีขึ้น การศึกษาการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาในสารนิพนธ์นี้ ได้ทำการศึกษาถึงลักษณะข้อมูลการขายในอดีตของสินค้าแต่ละรุ่นเพื่อใช้เลือกเทคนิคการพยากรณ์ ให้เหมาะสมกับรูปแบบของข้อมูล ผลการทดสอบปรากฏว่าวิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วราภรณ์ บุญถนอม (2552) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการพยากรณ์และการวางแผนผลิต กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์เบเกอรี่งานวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษาในการใช้เทคนิคพยากรณ์อนุกรมเวลาและการวางแผนผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ 3 ชนิดคือ ขนมปังไส้กรอก เอแคลร์วนิลา และขนมปังแฮม ซึ่งเป็นสินค้าที่อยู่ในกลุ่มเอตามหลักการแบ่ง ประเภทสินค้าแบบเอบีซี และมีอัตราการหมุนเวียนของสินค้าคงคลังสูงสุด

ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีอัตราการคืนสินค้าสูง เนื่องจากหมดอายุทำให้บริษัทมีต้นทุนสูง เป็นผลมาจากการพยากรณ์และการวางแผนผลิตที่ขาดประสิทธิภาพ

5.3 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้การพยากรณ์อนุกรมเวลานอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้การพยากรณ์รูปแบบอื่นๆได้ เช่น การพยากรณ์ปริมาณการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ ในการพยากรณ์การสั่งซื้อผลิตภัณฑ์สามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มาช่วยในการคำนวณผลการพยากรณ์ปริมาณยอดขายของผลิตภัณฑ์ ปริมาณการสั่งซื้อของแต่ละเดือน สำหรับผลิตภัณฑ์ทุกชนิดที่ทางโรงงานได้ทำการผลิต การพยากรณ์การสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ เลือกใช้วิธีพยากรณ์ที่จะทำให้ผลการพยากรณ์มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) เป็นเกณฑ์ ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ในงานวิจัยครั้งต่อไป

บรรณานุกรม

กนกวรรณ วิไลศรี. (2547). การพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีฤดูกาลโดยใช้การถดถอยแบบฟัซซีที่ใช้ตัวแปรดัมมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2542). การวิเคราะห์สถิติ : สถิติเพื่อการตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย

กำพล เอกลักษณ์โพธิ์. (2551). การออกแบบระบบช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้ากระดาษคราฟท์ กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

จุฑามาศ ศุภนคร. (2554). การพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับการวางแผนการผลิตชิ้นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์แบริ่ง. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21 ฉบับที่ 3 ก.ย.-ธ.ค. 2554.

ชุมพล ศฤงคารศิริ. (2545). การวางแผนและควบคุมการผลิต. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ฐิติมา ชูโชติ. (2552). การพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าและการจัดตารางการผลิตหลักในอุตสาหกรรมแปรรูปเมล็ดธัญพืช. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ณรงค์เดช เดชทวิสุทธิ์. (2555). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ด้วยวิธีการพยากรณ์ความต้องการ. วารสารมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติวิชาการ ปีที่ 15 ฉบับที่ 30 ประจำเดือนมกราคม-มิถุนายน 2555.

ถาวร กสานติกุล. (2544). การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการพยากรณ์ราน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นิจรินทร์ วงษ์วัฒนกุล. (2554). การพยากรณ์โดยรวมและการจัดการสินค้าคงคลังของผลิตภัณฑ์ตามฤดูกาล กรณีศึกษา ผลิตภัณฑ์หน่อไม้บรรจุกระป๋อง. การศึกษาค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิภพ ลติตาภรณ์. (2545). ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน. (2554). ตัวแบบและการพยากรณ์ความต้องการชิ้นส่วนยานยนต์สำหรับตลาดต่างประเทศที่มีต่อประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

มัลลวีร์ บัวตูม. (2553). การพยากรณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์และการจัดการสินค้าคงคลัง กรณีศึกษาบริษัทผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองสำเร็จรูปพร้อมดื่ม. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

แววดาว พูนสวน. (2550). การศึกษาการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series) เพื่อการวางแผนการผลิต กรณีศึกษา บริษัท เอสบี อุตสาหกรรมเครื่องเรือน จำกัด. สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศิเรมอร นีระเสน. (2551). การปรับปรุงการวางแผนสั่งซื้อสารเคมีสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการพยากรณ์ความต้องการและการสั่งซื้อที่เหมาะสม กรณีศึกษา บริษัทผลิตจักรยานยนต์. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สิริรัตน์ ทองขจร. (2556). เทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสม กรณีศึกษา โรงงานผลิตท่อเหล็กสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์. สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุภาษิต สังข์อยู่สุข. (2552). การพยากรณ์ปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์และการกำหนดปริมาณสินค้าคงคลังสำรอง : กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2553). ทิศทางแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ ๑๑ (พ.ศ.2555-2559). สหมิตรพริ้นติ้งแอนด์พับลิสชิ่ง จำกัด.

หทัยชนก นานานอก. (2553). ศึกษาการพยากรณ์ยอดขายสินค้าเพื่อการวางแผนผลิต. ปัญหาพิเศษปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อรรถกร เก่งพล และธิดารัตน์ สลักคำ. (2557) การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดของเสียในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 24 ฉบับที่ 2 พ.ค. - ส.ค. 2557

Bermúdez, J. D., Segura, J. V. & Vercher, E. (2006). A decision support system for

automatic forecasting of time series. *21st European Conference on operational Research,* EURO XXI in Iceland.

Charles, H. (2004). Forecasting seasonal and trends by exponentially weighted moving averages, *International Journal of Forecasting.* 20(2004) : 5-10.

Diaz, R., Talley, W. & Tulpule, M. (2011). Forecasting empty container volumes. *The Asian Journal of Shipping and Logistics.* 27(2). 217-235.

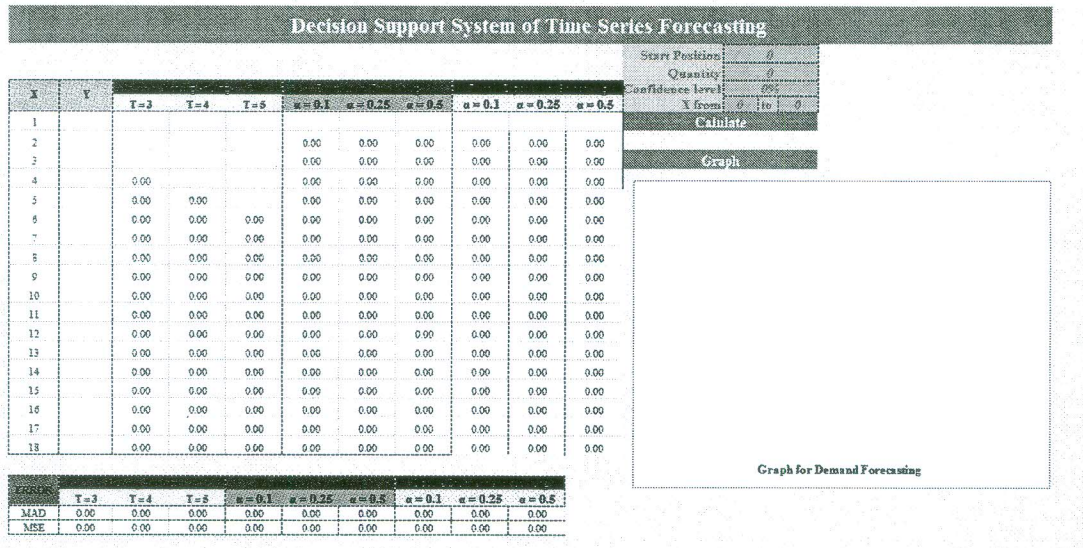
Charles C. Holt. (2004). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. *International Journal of Forecasting.* 20(1). 5-10.

Snyder, R. D., Koehler, A. B., & Ord, J. K. (2002). Forecasting for inventory control with exponential smoothing. *International Journal of Forecasting,* 18(1), 5-18.

Tomeijinders, W., Teunter, R. & Van Jaarsveld, W. (2012). A two-step method for forecasting spare parts demand using information on component repairs. *European Journal of Operational Research.*

ภาคผนวก ก

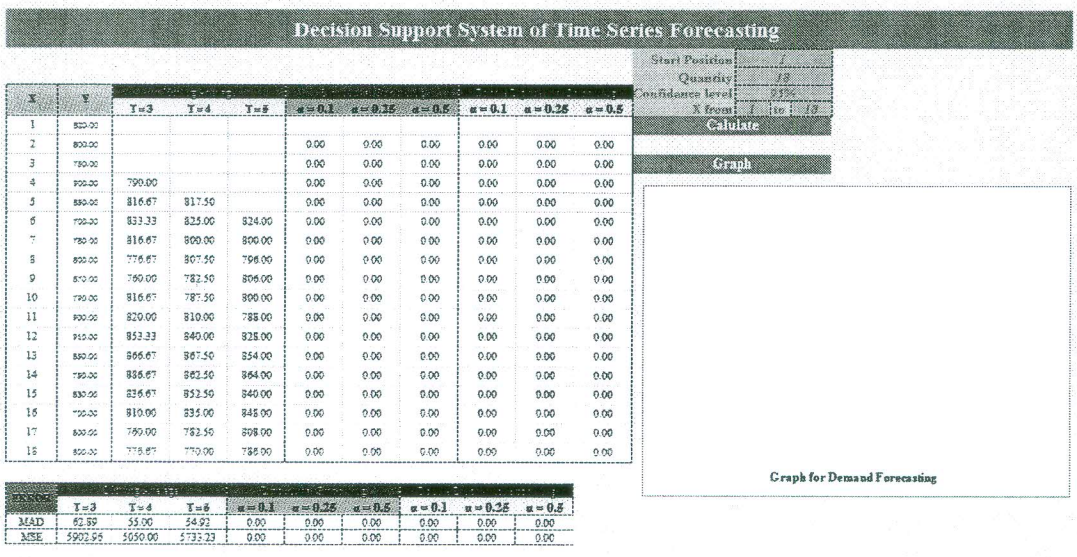
ตัวอย่างหน้าต่างระบบระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา
ของปริมาณความต้องการสินค้า



X	Y	T=3	T=4	T=5	α=0.1	α=0.25	α=0.5	α=0.1	α=0.25	α=0.5
1										
2					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4		0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5		0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ERROR	T=3	T=4	T=5	α=0.1	α=0.25	α=0.5	α=0.1	α=0.25	α=0.5
MAD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MSE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

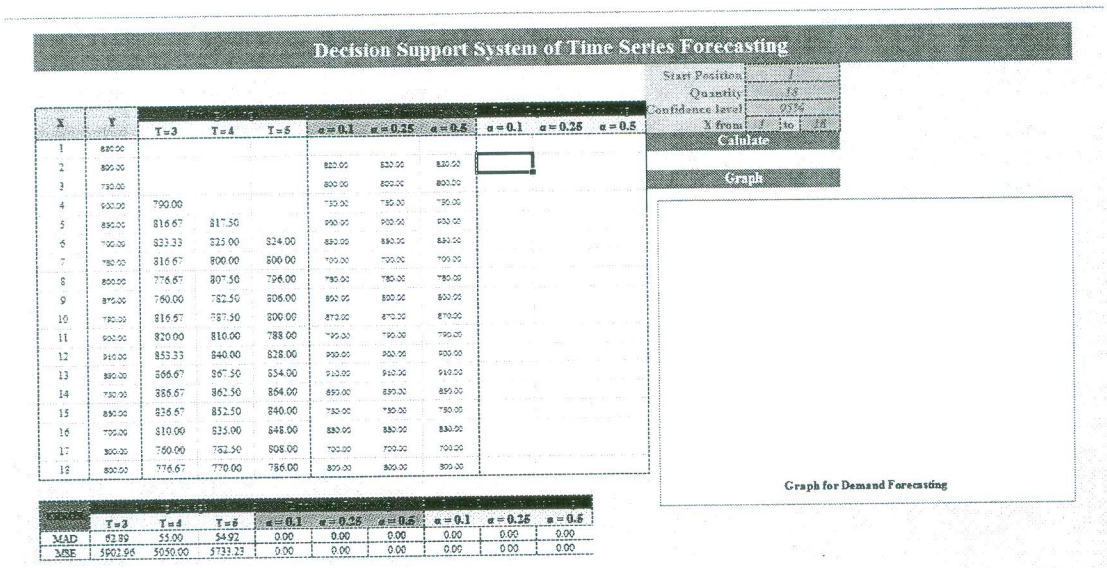
รูปที่ ก.1 ตัวอย่างหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาของปริมาณความต้องการสินค้า



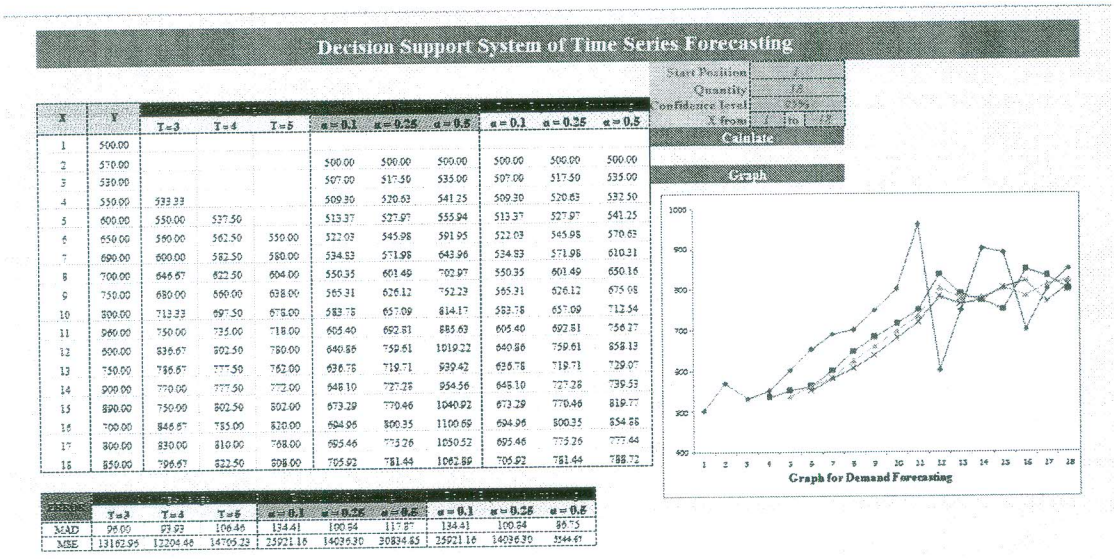
X	Y	T=3	T=4	T=5	α=0.1	α=0.25	α=0.5	α=0.1	α=0.25	α=0.5
1	820.00									
2	800.00				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	780.00				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	900.00	790.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	880.00	816.67	817.50		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	720.00	833.33	825.00	824.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	780.00	816.67	800.00	800.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	800.00	776.67	807.50	796.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	870.00	760.00	782.50	806.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	720.00	816.67	787.50	800.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	900.00	820.00	810.00	785.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	910.00	853.33	840.00	825.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	850.00	866.67	867.50	854.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	790.00	886.67	862.50	864.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	830.00	836.67	852.50	840.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	770.00	810.00	835.00	845.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	800.00	790.00	782.50	808.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	800.00	776.67	770.00	786.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ERROR	T=3	T=4	T=5	α=0.1	α=0.25	α=0.5	α=0.1	α=0.25	α=0.5
MAD	62.89	55.00	54.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MSE	5902.95	5050.00	5735.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

รูปที่ ก.2 ตัวอย่างหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาด้วยเทคนิคการประมวลผลแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่



รูปที่ ก.3 ตัวอย่างหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา
ด้วยเทคนิคการประมวลผลแบบการปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียล



รูปที่ ก.4 ตัวอย่างหน้าต่างระบบช่วยเหลือการตัดสินใจในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา
ด้วยเทคนิคการประมวลผลแบบการปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง

การปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสและการเกิดสีน้ำตาลในฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

Improvement of Texture and Browning Quality in Fresh cut guava

กรรณิการ์ อ่อนสำลี

ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีเป็นอย่างสูงที่ได้รับทุนสนับสนุนการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้จนโครงการวิจัยเสร็จสมบูรณ์ ขอบพระคุณ รศ.ดร.นันทนา แจ้งสุวรรณ์ อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ดร.พงษ์ศรัณย์ จันทร์ชุ่ม ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่สนับสนุนงานวิจัยองค์ความรู้ ขอบคุณคณะกรรมการพิจารณาทุนและกรุณาให้ข้อเสนอแนะที่สร้างสรรค์และเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอย่างดียิ่งจนโครงการวิจัยแล้วเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

กรรณิการ์ อ่อนสำลี

หัวข้อวิจัย การปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสและการเกิดสีน้ำตาลในฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค
ผู้ทำวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรรณิการ์ อ่อนสำลี
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัย ราชภัฏเทพสตรี
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค เพื่อศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมต่อคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคและเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของวัตถุเจือปนอาหารและเวลาในการแช่ ศึกษาการแช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์ที่ปริมาณ ร้อยละ 0, 0.3, และ 0.5 ระยะเวลาในการแช่ 10 และ 15 นาที และศึกษาการแช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกที่ปริมาณ ร้อยละ 0, 0.1, 0.3 และ 0.5 เป็นเวลา 10 และ 15 นาที ผลการทดลอง พบว่า แคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 ที่ระยะเวลา 10 นาที และกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 0.5 ที่ระยะเวลา 15 นาที เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมมีคุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่ ความแน่นเนื้อ ค่าสี (L* a* b*) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 43.83 ± 2.02 นิวตัน, 80.46 ± 0.31, -1.04 ± 0.77, 14.95 ± 1.18และ 5.23 ± 0.06 องศาบริกซ์ ตามลำดับ คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 5.23 ± 0.06 และร้อยละ 5.11 ± 0.10 ตามลำดับ การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านความแน่นเนื้อ สี รสชาติ และการยอมรับโดยรวมเท่ากับร้อยละ 6.90 ± 1.29, 7.10 ± 1.06, 6.70 ± 1.53, และ 7.03 ± 1.30 คะแนน ตามลำดับ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 10 วัน ในวันที่ 5 มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพที่เหมาะสม มีคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ความแน่นเนื้อ การสูญเสียน้ำหนัก ค่าสี (L* a* b*) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 36.18 ± 1.21 นิวตัน, 8.76 ± 0.89, 77.02 ± 0.36, -0.68 ± 0.56, 13.27 ± 0.28 และ 7.16 ± 0.76 องศาบริกซ์ ตามลำดับ คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 5.14 ± 0.01 และร้อยละ 0.20 ± 0.02 ตามลำดับ และคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1.35×10^3 โคโลนีต่อกรัม และพบยีสต์และ รา <10 โคโลนีต่อกรัม

Research Title Improvement of Texture and Browning Quality in Fresh cut guava

Researcher: Asst. Prof. Gannigar Onsamlee

Faculty Science and Technology

University Thepsatri Rajabhat University

Year 2015

Abstract

The research aimed to study to effect of texture to use to calcium chloride with fresh cut guava, study the optimum of ascorbic acid to quality of guava and study of quality change during storage fresh cut guava. The experimental design to factorial in CRD for studying the factors of food additive and time of dipping to 0, 0.3 and 0.5 % for 10 and 15 min of calcium chloride and 0, 0.1, 0.3 and 0.5 % for 10 and 15 min of ascorbic acid. Result of the study showed that fresh cut guava dipped in calcium chloride 0.5 % for 10 min and 0.5% for ascorbic acid was optimal in dipped. The physical quality of firmness, color values (L* a* and b*) and total soluble solid were 43.83 ± 2.02 N, (80.46 ± 0.31, -1.04 ± 0.07 and 14.95 ± 1.18), 5.23 ± 0.06 °brix respectively. The chemical quality of pH and total titrable acidity were 5.11 ± 0.10, 0.24 ± 0.02 % respectively. The sensory evaluation of firmness, color, taste and overall acceptance were 6.90 ± 1.29, 7.10 ± 1.06, 6.70 ± 1.58, 7.03 ± 1.30 score respectively. Quality change of fresh guava for 10 day. The result found that 5 day was optimal process in storage. the physical quality of firmness, weight loss, color value (L* a* and b*) and total soluble solid were 36.18 ± 1.21 N, 8.76 ± 0.89, (77.02 ± 0.36, -0.68 ± 0.56 and 13.27 ± 0.28), 7.16 ± 0.76 °brix respectively. The chemical quality of pH and total titrable acidity were 5.14 ± 0.01, 0.20 ± 0.02% respectively. The microbial quality found that the total plate count was 1.35×10^3 CFU/g and yeast and molds <10 CFU/g.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญ (ต่อ)	จ
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตงานวิจัย	2
นิยามศัพท์	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ฝรั่งพันธุ์กิมจู	5
วัตถุเจือปนอวหาร	10
แคลเซียมคลอไรด์	16
กรดแอสคอร์บิก	18
การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหาร	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย	24
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	24
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ	24
เครื่องมือในการประมวลผลงานวิจัย	25
สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ	25
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การวิจัยและอภิปราย

ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล 29

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 30

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง 48

ข้อเสนอแนะทั่วไป 49

ข้อเสนอแนะในงานวิจัย 49

บรรณนานุกรม 53

ภาคผนวก 55

ก วัตถุดิบอุปกรณ์และกระบวนการผลิตฝรั่ง 56

ข แบบสอบถาม 60

ค การวิเคราะห์คุณภาพ 62

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 กระบวนการเตรียมฝรั่งพันธุ์กิมจู	26
ภาคผนวก	
ก-1 วัตถุดิบและอุปกรณ์ในการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้น	55
ก-2 กระบวนการผลิตฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค	56
ค-1 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	61
ค-2 เครื่องชั่งปริมาณน้ำหนักที่สูญเสีย	62
ค-3 เครื่องวัดค่าสี Hunter lab	63
ค-4 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส	64
ค-5 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)	67

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณค่าทางอาหารของฝรั่งสดในสัดส่วนที่ทานได้ 100 กรัม	6
4.1 ศึกษาปริมาณทางกายภาพ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการแช่แคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค	34
4.2 ผลการศึกษาทางกายภาพ ทางเคมีและการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการแช่กรดแอสคอร์บิคต่อคุณภาพฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค	40
4.3 ศึกษาปริมาณกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนแปลงอายุการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 10 วัน ของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค	46

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการบริโภคอาหารว่างเป็นที่นิยมของผู้บริโภค เพราะสามารถรับประทานได้ง่าย เหมาะกับทุกเพศทุกวัย ผลไม้จึงเป็นอาหารประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยม เช่น ฝรั่งเนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินซีรวมถึงวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 (Imeh and Khokhar, 2002) และหาซื้อได้ง่ายมีขายทั่วไปในท้องตลาด ราคาไม่แพง ฝรั่งที่ปลูกในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ด้วยกันซึ่งพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากได้แก่ พันธุ์กลมสาลี่ พันธุ์แป้นสีทอง และพันธุ์กิมจู เป็นต้น นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการปลูกฝรั่งสายพันธุ์ที่ไร้เมล็ดกันมากขึ้นเนื่องจากเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเพราะสามารถรับประทานได้ทั้งผล

แนวโน้มในการรับประทานผลไม้ตัดแต่งมีมากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากในกระบวนการแปรรูปฝรั่งต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ เช่น การคัดขนาด การล้างทำความสะอาด การปอกเปลือก การตัด และการหั่นให้เป็นชิ้น ผลไม้อาจมีบาดแผลทำให้เสื่อมเสียทางด้านคุณภาพเร็วขึ้นโดยเกิดลักษณะปรากฏเป็นสีน้ำตาลบริเวณรอยตัด ทำลายให้สารอาหารรั่วไหลออกจากเซลล์ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ดีของเชื้อจุลินทรีย์ (Thunberg et al., 2002) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลปฏิกิริยาออกซิเดชันจากปฏิกิริยาเอมไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase หรือ PPO) เป็นสาเหตุหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการแปรรูปผลไม้ (Montgomery and Petropakis, 1980) ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยใช้สารเคมี ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เป็นวัตถุที่ใช้เพื่อให้คงรูป (Firming agent) ในผลิตภัณฑ์ประเภทผักและผลไม้พบว่าให้ความคงตัวกับเนื้อสัมผัสของผลไม้ โดยใช้สารเติมลงไปในน้ำลวกหรือแช่ลงไปในผลิตภัณฑ์อาหาร ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบและเนื้อแน่น (ประหยัด, 2546) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร โดยเติมลงไปในสารละลายพบว่าสามารถช่วยป้องกันปัญหาการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจจะศึกษาการใช้วัตถุเจือปนประเภทสารละลายแคลเซียมคลอไรด์และกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมเพื่อศึกษาคุณภาพของผลไม้ และลดการเกิดสีน้ำตาลในฝรั่งที่ผ่านการตัดแต่งพร้อมบริโภค ให้มีอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ไม่ทำให้รสชาติของฝรั่งเปลี่ยนแปลงไป และยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับฝรั่งได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

1.2.2 ศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมต่อคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

1.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้ทราบถึงระยะเวลาและความเข้มข้นที่เหมาะสมในกระบวนการแช่แคลเซียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์ฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

1.3.2 ได้ทราบถึงระยะเวลาและความเข้มข้นที่เหมาะสมในกระบวนการแช่กรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์ฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

1.3.3 ได้ทราบถึงระยะเวลาการเก็บรักษาที่เหมาะสมในกระบวนการแช่แคลเซียมคลอไรด์และกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ตัดแต่งพร้อมบริโภค

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกและแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

1.4.1 ฝรั่งพันธุ์กิมจูเป็นพันธุ์ที่ไร้เมล็ด จากตลาดสระแก้วจังหวัดลพบุรี โดยเลือกผลที่มีความสมบูรณ์ ไร้ตำหนิ มีน้ำหนักประมาณ 200-300 กรัม/ผล (สายสวาท กุลวัฒนาพร และมาลี หนึ่งน้ำใจ, 2549)

1.4.2 แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride; $CaCl_2$) เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food additive) เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ทำให้คงรูป (Firming agent) ของผักและผลไม้ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 281) พ.ศ. 2547 อนุญาตให้ใช้ได้ไม่เกิน 200-800 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม โดยงานวิจัยศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ในปริมาณ ร้อยละ 0, 0.3, 0.5

1.4.3 กรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid) หรือ วิตามินซี (Vitamin C) เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food additive) เพื่อใช้ในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักผลไม้บางชนิด โดยใช้ตามปริมาณที่เหมาะสม ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 281) พ.ศ. 2547 โดยงานวิจัยศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกในปริมาณร้อยละ 0, 0.1, 0.3, 0.5

1.4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาในกระบวนการแช่แคลเซียมคลอไรด์และกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์โดยการเก็บในกล่องพลาสติกใสโพลิสไตรรีน

1.5 ระยะเวลาในการทำวิจัย

แผนการดำเนินงาน	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←	→										
2.ศึกษาการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้น		←	→									
3.ศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค			←			→						
4. ศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมต่อคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค						←			→			
5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอายุการเก็บรักษาฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค									←	→		
6. จัดทำรูปเล่มรายงาน											←	→

1.6 สถานที่ดำเนินการ

ห้องปฏิบัติการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาคารคหกรรม 2/102 และอาคารคหกรรม 2/202 มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

1.7 นิยามคำศัพท์

1.7.1 ฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค คือ ฝรั่งที่ผ่านกระบวนการล้าง ตัดและหั่น ให้เป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้ฝรั่งตัดแต่งดังกล่าวมีสภาพพร้อมสำหรับการนำไปบริโภค โดยฝรั่งตัดแต่งยังมีสภาพสด เนื้อเยื่อจะถูกทำลายจากกระบวนการตัดแต่ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วและมีการเสื่อมเสียได้ง่ายกว่าฝรั่งที่ยังไม่ได้ผ่านการตัดแต่ง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546ก)

1.7.2 ความแน่นเนื้อ (Firmness) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความนุ่มนวล (softness) หรือความกรอบของผลไม้ใช้ในการประเมินระดับความสุกและความสดของผลไม้โดยวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหาร จากการเจาะทะลุ แปลผลได้จากการอ่านกราฟการเปลี่ยนแปลงรูปร่างพร้อมแรงต้าน (Force, g) ของตัวอย่างอาหารแสดงได้ด้วยแรงกดสูงสุด (Maximum force, g) วัตถุที่มีความแข็งมากจะต้านทานแรงกดได้มาก มีแรงกดสูงสุด (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2546ก)

1.7.3 ค่าความสว่าง (L*) คือ ค่าความสว่างที่มีค่า 0-100 โดย 0 หมายถึง สีมืดที่สุด , 100 หมายถึง สว่างที่สุด

1.7.4 ค่าสีแดงหรือสีเขียว (a*) คือ + a* หมายถึง แสดงความเป็นสีแดง - a* หมายถึงแสดงความเป็นสีเขียว

1.7.5 ค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (b*) คือ +b* หมายถึง แสดงความเป็นสีเหลือง - b* หมายถึงแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

1.7.6 กล่องโพลิสไตรีน (Polystyrene) เป็นกล่องที่มีลักษณะใส ขนาด 14x18x7 เซนติเมตร มีความมันวาวความเหนียวอยู่ในเกณฑ์ดีทนทานต่อสารเคมีโดยเฉพาะพวกกรดและด่าง ไม่ทนต่อสารประกอบจำพวกสารอะโรมาติกและตัวทำละลายอินทรีย์ รวมถึงมีความคงรูปความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมสามารถเก็บได้นานโดยไม่กรอบหรือเปลี่ยนสี สามารถใช้งานได้ตั้งแต่อุณหภูมิ -10 ถึง 80 องศาเซลเซียส

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝรั่ง

ฝรั่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Psidium guajava* L. และชื่อสามัญ guava จัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกาใต้ สามารถปลูกได้ดีในประเทศเขตร้อน ประเทศกึ่งร้อนหรือประเทศที่มีอากาศค่อนข้างอบอุ่น ผลของฝรั่งอาจมีรูปร่างค่อนข้างกลม รูปไข่ หรือคล้ายลูกแพร์ ฝรั่งเป็นผลไม้ที่ให้ผลตลอดทั้งปีแต่ช่วงเวลาที่ผลิตผลออกสู่ท้องตลาดมากอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม (ศิริชัย กัลยาณรัตน์, 2543) ระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลฝรั่งตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงระยะผลแก่จัด ใช้เวลา 130 วัน (Mercado Silva.*et al.*, 1998) น้ำหนักเฉลี่ย 200-300 กรัม/ผล (สายสวาท กุลวัฒนาพร, 2549) ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการนำฝรั่งมาแปรรูป พันธุ์ที่นิยมปลูกกันแพร่หลายในประเทศไทยมีมากมายหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์กลมสาลี่ พันธุ์แป้นสีทอง พันธุ์ทูลเกล้า เป็นต้น (ศิริชัย กัลยาณรัตน์, 2543)

2.1.1 ลักษณะทั่วไป

1) ลำต้น ฝรั่งเป็นพืชที่มีขนาดลำต้นไม่ใหญ่โตมากนัก หรือเป็นไม้พุ่ม ทรงต้นสูงประมาณ 3-10 เมตร แตกกิ่งก้านสาขาที่บริเวณใต้โคนต้น มีการแตกหน่อจากรากบริเวณใกล้กับลำต้นหลัก เปลือกลำต้นเรียบมีสีน้ำตาลอมแดงหรือสีน้ำตาลอมเขียว เปลือกจะลอกออกเองเป็นแผ่นบางๆ เมื่อลำต้นแก่กิ่งอ่อนมีปีกเล็กๆ ทำให้รูปหน้าของกิ่งเป็นสี่เหลี่ยมแต่กิ่งแก่จะไม่มีปีก กิ่งอ่อนสีสีเขียวอมเหลืองหรือแดงเข้ม มีขนปกคลุมหนาแน่น ขนสีขาวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำ กิ่งแก่สีน้ำตาลแดงอ่อนไม่มีขนปกคลุม (สรัสวดี เผือกสกนธ์, 2545)

2) ใบ ฝรั่งจัดเป็นไม้ประเภทใบคู่ ใบอ่อนสีเขียว มีลักษณะไม่เรียบ มีขนอ่อนปกคลุม เมื่อแตกจะแยกเป็น 2 แนว จัดเรียงตรงกันข้าม ก้านบนมีร่องลึกแผ่นใบเป็นรูปไข่ปลายมน ขนาดความกว้างใบ 3-7 เซนติเมตร ยาว 5-15 เซนติเมตร ด้านหลังใบเรียบ ด้านท้องใบมีขนอ่อนอยู่ ฐานใบโค้ง ขอบใบเรียบ และมีขอบโปร่งใส (สรัสวดี เผือกสกนธ์, 2545)

3) ดอก ดอกฝรั่งเกิดที่ตาข้าง มักไม่เกิดที่ตายอด ดอกเดี่ยวหรือช่อดอกมีจำนวนดอก 2-3 ดอกต่อช่อ ก้านดอกสีเขียวปนเหลือง มีขนอ่อนอยู่หนาแน่น มีใบประดับที่มีขนอ่อนปกคลุม กลีบเลี้ยง 4-6 กลีบ สีเขียวปนเหลือง วงกลีบเลี้ยงไม่หลุดร่วงจนผลแก่ยังติดอยู่ กลีบดอก 4-5 กลีบ สีขาว รูปไข่ กลีบเกสรตัวผู้มีจำนวนมากมาย และแทรกอยู่รอบๆจานวงกลมสีขาว อับเรณูสีเหลืองอ่อน และแตก

ตามยาว เกสรตัวเมียประกอบด้วยรังไข่ใต้วงกลีบ รังไข่มี 4-5 ช่อ เชื่อมติดกัน ก้านเกสรตัวเมียยาว เรียวสีเขียวปนเหลือ ไม่มีขน ยอดเกสรตัวเมียเป็นตุ่มเล็ก (เกศิณี ระมิงค์วงศ์, 2546)

5) เมล็ด เมล็ดฝรั่งจะเกาะติดอยู่กับเนื้อชั้นในใจกลางของผลเป็นจำนวนมาก น้อย หรือไม่มีเลยขึ้นอยู่กับพันธุ์ มีสีเหลืองอ่อนหรือสีน้ำตาลอมเหลือง เปลือกแข็งมาก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.3 เซนติเมตร และยาว 0.3-0.5 เซนติเมตร รูปร่างคล้ายไต มีลักษณะโค้ง (สรัสวดี เผือกสกนธ์, 2545)

6) ผลฝรั่ง ผล รูปร่างกลมหรือรูปไข่ป่องตรงปลาย เส้นผ่านศูนย์กลาง 5-9 เซนติเมตร ยาว 5-12 เซนติเมตร มีชั้นกลีบเลี้ยงของดอกอยู่ที่ปลาย เปลือกขรุขระเล็กน้อยแต่เป็นมัน เมื่ออ่อนผลยังเล็กอยู่มีผลสีเขียวเข้ม ผลแก่ผิวจะเป็นสีเขียวอ่อน และเมื่อสุกจะมีสีเหลืองอ่อน เปลือกชั้นกลางสีขาว ความหนาของเนื้อขึ้นอยู่กับความแตกต่างตามชนิดพันธุ์ เนื้อฉ่ำน้ำ เมื่อสุกมีรสหวานกลิ่นแรงนิยมรับประทานเมื่อผลแก่จัดแต่ยังไม่สุก เนื่องจากรสชาติดี มีรสเปรี้ยวอมหวาน และกรอบ รับประทานได้ทั้งผล

2.1.2 คุณค่าทางโภชนาการ

เนื่องจากฝรั่งมีความสำคัญทางเศรษฐกิจและมีคุณค่าทางอาหารสูง เป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามิน โดยเฉพาะวิตามินซี มีมากกว่า มะนาวและส้ม ถึง 4 เท่า หรือ 10-20,000 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม จึงมีคุณค่าในการสร้างความต้านทานโรคหวัดได้เป็นอย่างดี รวมถึงวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 นอกจากนี้สารอาหารที่พบในเนื้อผลฝรั่ง ประกอบด้วยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะการสุกแก่ของผล และฤดูกาล ส่วนแร่ธาตุในผลฝรั่งประกอบด้วยแคลเซียมและเหล็ก โดยฝ่ายวิเคราะห์อาหารและกองโภชนาการได้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของฝรั่งสด ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางอาหารของฝรั่งสดส่วนที่ทานได้ 100 กรัม

สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณ	สารอาหาร	หน่วย	ปริมาณ
วิตามินบี 2	มิลลิกรัม	0.13	ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม	25.00
วิตามินซี	มิลลิกรัม	1.60	คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	11.60
วิตามินเอ	หน่วยสากล	0.89	โปรตีน	ร้อยละ	0.90
พลังงานความร้อน	กิโลแคลอรี่	0.51	เส้นใย	ร้อยละ	6.00
แคลเซียม	มิลลิกรัม	0.13	ไขมัน	ร้อยละ	0.10

ที่มา : ฝ่ายวิเคราะห์อาหารและกองโภชนาการ (2549)

2.1.3 ประโยชน์ของฝรั่ง

ผลไม้ที่อุดมไปด้วยวิตามินและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิดทั้งฟลาโวนอยด์ กรดฟีโนลิค และยังมี ใยอาหาร ฝรั่งมีหลายพันธุ์ รับประทานได้ทั้งสุกและดิบ ฝรั่งบางชนิดมีสีแดงจึงมีสารกลุ่มคาโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน

1) คุณค่าทางด้านโภชนาการ

ฝรั่งจะช่วยเสริมสุขภาพทั้งในด้านการลดอนุมูลอิสระ ซึ่งจะไปทำลายเซลล์ต่างๆ ก่อให้เกิดโรคต่างๆได้ ลดความดัน ลดคอเลสเตอรอล และลดน้ำตาลในเลือดเหมาะกับผู้สูงอายุ นอกจากนี้ฝรั่งอุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุต่างๆ เช่น วิตามินเอ ซี บี1 บี2 บี3 บี9 แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โพแทสเซียม ทองแดง ฝรั่งจัดเป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีสูงที่สุดในบรรดาผลไม้ทุกชนิด ในฝรั่งน้ำหนัก 165 กรัม จะมีวิตามินสูงถึง 377 มิลลิกรัม ซึ่งมีวิตามินซีสูงกว่าส้มถึง 5 เท่า วิตามินซีมีบทบาทในการสร้างคอลลาเจน ที่ทำให้ผิวพรรณบนใบหน้าไม่แก่ก่อนวัย และยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้คอลลาเจนและอีลาสตินเสื่อมสภาพ วิตามินซีมีความสำคัญต่อการสร้างและบำรุงเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเซลล์นับล้านตัวเกาะเกี่ยวกันบนร่างกายได้ เรียกว่า คอลลาเจนี เป็นคอลลาเจนตัวเดียวกับคอลลาเจนที่ทำให้ผิวพรรณบนใบหน้าเต่งตึง (อาจินต์ ปัญจพรรค์; 2554)

2) คุณค่าทางด้านยาสมุนไพร

ทางด้านยาสมุนไพร ฝรั่งสามารถรักษาอาการท้องเสีย แก้ท้องร่วง แก้ท้องเดิน ใช้ห้ามเลือดในแผลสด ระงับกลิ่นปาก รักษาฝี บรรเทาอาการเหงือกบวม แก้พิษเรื้อรัง แก้ปวด รักษาอาการเลือดออกตามไรฟัน บำรุงเหงือกและฟัน บำรุงผิวพรรณเป็นยาระบาย รักษาฝี รักษาพุพอง แก้เลือดกำเดาไหล

2.1.4 คุณภาพของฝรั่งหลังการเก็บเกี่ยว

การเก็บรักษาเป็นการปรับปัจจัยต่างๆรอบผลไม้ เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และในขณะเดียวกัน ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่จะเข้าทำลายผลไม้ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดได้แก่ อุณหภูมิ ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ในการใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อการเก็บรักษาผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยว เพราะอุณหภูมิต่ำทำให้กระบวนการทางชีวภาพต่างๆเกิดขึ้นช้าลง เช่น ลดอัตราการหายใจ ชะลอการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส และลดการสูญเสียของวิตามินซี อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผลไม้จำพวกผลไม้ที่บ่มให้สุกได้ (climacteric fruit) สามารถชะลอการสุกได้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการลดอัตราการผลิตก๊าซเอทิลีน และลดการตอบสนองของเนื้อเยื่อต่อก๊าซเอทิลีน (Wills *et al.* 2000)

1. วิธีการชะลอการเสื่อมสภาพของฝรั่ง มีหลายวิธีดังนี้

1.1) การใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษา

การเก็บรักษาฝรั่ง ควรเก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่จะไม่เกิดอันตราย หรือก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาฝรั่งคือ 5-10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 90-95 สามารถเก็บรักษาได้ 2-3 สัปดาห์ สำหรับการเก็บรักษาฝรั่งไว้ได้นาน 3 สัปดาห์ โดยที่ความแน่นเนื้อ ปริมาณกรด ปริมาณน้ำตาล ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และไม่ปรากฏอาการผิดใดๆเกิดขึ้น นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญของฝรั่งคือ การเสื่อมสภาพและการอ่อนตัวเนื่องมาจากการสุกของผลฝรั่งจึงนำให้ฝรั่งมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างการเก็บรักษา

การเก็บรักษาฝรั่งที่ใช้รับประทานสด จะเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 8-10 องศาเซลเซียส แต่ควรต้องห่อด้วยถุงพลาสติกเพื่อป้องกันการคายน้ำ จะเก็บรักษาไว้ได้ประมาณ 14 วัน ถ้าเป็นฝรั่งคั้นน้ำพบว่าการเก็บผลที่แก่จัดไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะทำให้สุกและเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองเองภายใน 6 - 8 วัน ถ้าต้องการเก็บรักษาไว้ก่อนการแปรรูปควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เพื่อให้ค่อยๆ ทยอยเปลี่ยนสีจนกว่าจะนำไปแปรรูป

1.2) การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษา

การสูญเสียน้ำในผลิตผลเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ความชื้นในบรรยากาศปกติมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 100 ส่วนในผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 70 แต่ความดันไอน้ำบนผิวผลไม้มีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลตลอดเวลาซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นของสภาพบรรยากาศภายนอก ในกรณีที่บรรยากาศภายนอกอิ่มตัวด้วยไอน้ำหรือมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 น้ำยังมีโอกาสสูญเสียออกจากผลิตผลสู่บรรยากาศได้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2546ก) ในการเก็บรักษาฝรั่งพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการเก็บรักษามีผลต่อการสูญเสียน้ำออกไปจากผล ซึ่งการเหี่ยวของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว โดยปกติจากการสูญเสียน้ำออกไปจากเปลือก อัตราการสูญเสียน้ำของฝรั่งสามารถลดลงได้โดยการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการเก็บรักษา

1.3) การรักษาความสะอาด

หลังการเก็บเกี่ยวจะต้องมีการดูแลรักษาความสะอาดของภาชนะบรรจุที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ เช่น ถุงที่ใช้เก็บรักษาผลไม้ กล่อง ลัง เข่ง สายพานที่พาให้ผลิตผลเคลื่อนที่ไปตามราง ตลอดจนตัวผู้ที่ทำงานในโรงบรรจุสิ่งดังกล่าวควรจะปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ น้ำที่ใช้ในการล้างผักและผลไม้นั้น ควรมีการผสมคลอรีน pH 7-8.5 ลงไป โดยให้มีคลอรีนอยู่ 50-100 ส่วนต่อล้านส่วนทั้งนี้เพราะสภาพดังกล่าวจะเหมาะสมต่อการกำจัดเชื้อราและยังทำให้สารเคมีสลายตัวช้าลงด้วย

1.4) การจัดการสภาพแวดล้อมที่ใช้เก็บรักษา

สภาพบรรยากาศการลดปริมาณออกซิเจนลงให้เหลือประมาณร้อยละ 1-5 ทำให้การเจริญของเชื้อราลดน้อยลง ในทำนองเดียวกับการเพิ่มปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้นในช่วงร้อยละ 3-20 จะลดการเจริญของเชื้อราได้ นอกจากนั้น คาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งอาจจะเติมเข้าไปในบรรยากาศของห้องเก็บรักษาก็จะช่วยลดการเจริญของเชื้อราลงได้เช่นกัน แต่ต้องระวังเพราะคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซที่มีพิษต่อมนุษย์สูงมาก

1.5) การป้องกันและกำจัดโรคหลังเก็บเกี่ยวโดยวิธีทางเคมี

การใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดโรคหลังเก็บเกี่ยวนั้น อาจจะช่วยปรับปรุงในแง่ความสะอาดของผลิตผลป้องกันผลิตผลจากการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ หรือระงับการเจริญของเชื้อสาเหตุ สารเคมีบางชนิดอาจจะมีคุณสมบัติในการควบคุมโรค

สารเคมีที่ใช้เพื่อรักษาความสะอาดคลอรีนเป็นสารเคมีที่ใช้ในการลดปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์บนผลิตผลเครื่องมือหรือในน้ำที่ใช้ล้างผลิตผลคลอรีนจะเปลี่ยนเป็นกรดไฮโปคลอรัสในน้ำ แต่สารละลายนี้ต้องมี pH เป็นด่างเพื่อการใช้ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเพราะช่วยป้องกันการสูญเสียคลอรีนไปสารนี้สามารถจำกัดแบคทีเรีย เชื้อรา และ ยีสต์

สารเคมีที่ระงับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์แม้ว่าผลิตผลเสียหายง่ายหลายชนิดต้องใช้สารเคมีเพื่อป้องกันการเกิดโรคแต่ว่าสารเคมีที่ใช้ในการระงับการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก็ยังจำเป็นที่ต้องใช้อยู่เพื่อควบคุมโรคที่เกิดก่อนการเก็บเกี่ยวหรือเกิดขึ้นทันทีหลังการเก็บเกี่ยว เช่น เชื้อรา *Monilinia* และ *Rhizopus* นั้น การเจริญของเชื้อราทั้งสองจะหยุดหรือช้าลงซึ่งจะป้องกันการเน่าเสียได้ตลอดฤดูการเก็บรักษา สารเคมีชนิดนี้มีคุณสมบัติในการดูดซึมบางส่วนและมีพิษตกค้างในเนื้อเยื่อที่มีชีวิตซึ่งจะต้องระมัดระวังเรื่องพิษตกค้างที่อาจจะหลงเหลือในขณะบริโภคด้วย

2.1.5 การแปรรูปผลิตผล

การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัตถุดิบ ให้เป็นผลิตภัณฑ์อยู่ในสภาพที่เหมาะสมสะดวก และปลอดภัยต่อการบริโภค เป็นการถนอมอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความหลากหลาย ฝรั่งจัดเป็นผลไม้อีกหนึ่งชนิดที่สามารถนำมาแปรรูปได้หลากหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทถูกแบ่งไปตามชนิดของการแปรรูปหรือการผลิต ประกอบไปด้วย การแช่อิ่ม อบแห้ง ดอง การทำเป็นเครื่องดื่มผลไม้ การกวน และการปรุงรสอบแห้ง เป็นต้น

1) ฝรั่งแช่อิ่มอบแห้ง

ฝรั่งแช่อิ่มอบแห้ง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเนื้อฝรั่งมาแช่น้ำเชื่อมตามความเข้มข้นที่กำหนดเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งเรียกว่าการแช่อิ่มแบบช้า ก่อนนำไปอบแห้ง จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสภายในนุ่ม ชุ่มน้ำหวาน มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย ไม่แข็งกระด้างทำให้อร่อย น้ำเชื่อมที่เหลือจากการทำฝรั่งแช่อิ่มอบแห้ง สามารถนำไปทำเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ฝรั่งกวนและฝรั่งกวนหยี การทำฝรั่ง

แช่อิ่มอบแห้ง เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยยืดอายุ และเพิ่มมูลค่าฝรั่งให้สูงขึ้น (สายสวาท กุลวัฒนาพร, 2549)

2) น้ำฝรั่ง

เครื่องดื่มที่ได้จากการนำผลฝรั่งสดมาล้างให้สะอาดตัดแต่งและหั่นเป็นชิ้น นำมาคั่นหรือนำมาตีป่นผสมกับน้ำแล้วกรองแยกกากออก อาจนำมาปรุงรสด้วยน้ำตาลและกรดซิตริก ต้มด้วยความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส แล้วบรรจุในภาชนะบรรจุ โดยทั่วไปในการแปรรูปน้ำผลไม้จะใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ แม้ว่าการใช้ความร้อนมีประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี แต่ความร้อนที่ใช้จะเปลี่ยนคุณค่าและลักษณะของอาหาร เช่น สี กลิ่น รส วิตามินและคุณภาพทางโภชนาการเป็นต้น

3) ฝรั่งกวน

ฝรั่งกวนเป็นการนำเนื้อฝรั่งที่คั้นน้ำแล้ว มาผสมกับน้ำตาลทราย น้ำ เกลือ และแบะแซ กวนจนงวด (ใช้ไฟปานกลางประมาณ 3 ชั่วโมง) จึงใส่สีผสมอาหารกวนต่อไปประมาณครึ่งชั่วโมง ทดสอบโดยการหยดฝรั่งกวนลงไปในน้ำเย็นถ้าแข็งพอปั้นเป็นก้อนได้ ให้หยุดกวน ทิ้งไว้พออุ่น จึงปั้นเป็นก้อนขนาดพอคำ ทำให้เย็น ห่อด้วยกระดาษแก้วเก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดผนึกอย่างให้อากาศเข้าได้

4) ฝรั่งอบแห้งปรุงรส

ฝรั่งอบแห้งปรุงรสได้จากการนำฝรั่งสดล้างน้ำให้สะอาด แล้วนำมาตัดแต่งผ่าเอาเมล็ดออก หั่นหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร ผสมกับเกลือและกรดมะนาวคลุกให้ทั่วหมักไว้ 1 คืน รุ่งขึ้นตักเนื้อฝรั่งออกและนำไปคลุกกับน้ำตาลทรายหมักไว้อีก 1 คืน รุ่งขึ้นตักฝรั่งออกจากน้ำเชื่อมนำไปตากหรืออบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พอหมาดๆน้ำไปคลุกกับ น้ำตาลทราย 100 กรัม เกลือป่น 10 กรัม และ พริกป่น 5 กรัม (ใช้คลุกฝรั่ง 1 กิโลกรัม) แล้วนำไปตากหรืออบอีกครั้งจนแห้ง (จาตุพงศ์ วาฤทธิ์, 2556)

2.2 วัตถุเจือปนอาหาร

ตามประกาศกระทรวงสาธารณะสุข ฉบับที่ 281 (2547) ได้ให้คำจำกัดความของวัตถุเจือปนอาหารไว้ วัตถุเจือปนอาหาร หมายถึง วัตถุเจือปนอาหาร (food additive) หมายถึง วัตถุปกติที่มิได้เป็นอาหาร หรือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ไม่ว่าวัตถุนั้นจะมีคุณค่าการเก็บรักษา หรือการขนส่ง ซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือมาตรฐานลักษณะของอาหารนั้น แต่ไม่ได้รวมถึงสารปนเปื้อน หรือสารที่เติมลงไป เพื่อปรับปรุงค่าทางอาหาร

ปัจจุบันการผลิตคิดค้นวัตถุเจือปนในอาหารขึ้นหลายชนิด เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตอาหารสำเร็จรูป และอุตสาหกรรมอาหารหลายชนิดต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยดึงดูดผู้บริโภคให้มีความอยากบริโภคอาหารนั้น เช่น การใช้สีปรุงแต่งในขนม การใช้สารเคมีฟอกสีน้ำตาลปี๊บ การใช้สารเคมีช่วยให้ฟูในขนมเค้ก รวมถึงการปรุงแต่งรสชาติอาหารให้อร่อยช่วยให้อาหารคงสภาพสม่ำเสมอตามที่ต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมผลิตอาหารในปัจจุบัน เช่น การใช้สีผสมอาหารแต่งให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีสีที่สม่ำเสมอเหมือนกันทุกฤดูกาล และช่วยลดการเสื่อมคุณภาพของอาหาร อาหารบางประเภทเสื่อมคุณภาพได้ในเวลารวดเร็ว ทำให้เกิดการสูญเสียได้ง่าย เช่น อาหารที่ใช้น้ำมันทอดซึ่งมีไขมันสูง จะเกิดกลิ่นหืนได้เร็ว เนื่องจากน้ำมันในอาหารเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอาหาร จึงมีการใช้สารเคมีบางชนิดเพื่อปรุงแต่งป้องกันการเกิดกลิ่นหืน นอกจากวัตถุประสงค์ดังกล่าวแล้ว ยังมีผลพลอยได้จากการใช้วัตถุเจือปนในอาหารอีกมากมาย เช่น ช่วยประหยัดเวลาในการปรุงอาหารบ้างประเภท ได้แก่ การใช้แบะแซผสมในอาหารบางชนิดจะช่วยให้อาหารข้นเหนียวเร็วโดยไม่ต้องเสียเวลาเคี่ยวนาน นิยมใส่ในอาหารประเภทผลไม้กวน

2.2.1 วัตถุประสงค์การใช้วัตถุเจือปนอาหาร

1) เพื่อให้อาหารมีความคงตัว เช่นการใช้อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ทำให้อาหารมีสภาพเป็นอิมัลชัน (emulsion) ลักษณะเนื้อสัมผัสคงตัวและป้องกันน้ำและน้ำมันไม่ให้เกิดการแยกชั้น (stabilizing agent) และ เพิ่มความหนืด (thickening agent) ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสคงตัวและเป็นเนื้อเดียวกัน สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (anticaking agent) ช่วยให้อาหาร เช่น เกลือไม่เกาะกันและนำไปใช้ได้สะดวก

2) เพื่อรักษาคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การใช้วัตถุกันเสียเพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารจากยีสต์ราแบคทีเรีย วัตถุกันหืน เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหารที่มีน้ำมันและไขมันเป็นส่วนประกอบ และการเปลี่ยนสีของผักและผลไม้สด

3) เพื่อควบคุมความเป็นกรด-ด่างของอาหาร เช่น การเติมกรดลงไปในอาหาร เพื่อให้อาหารมีค่าพีเอชเป็นกรด จะช่วยลดอุณหภูมิและระยะเวลาในการฆ่าเชื้ออาหาร การใช้กรดเพื่อช่วยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในผงฟูเพื่อให้ขนมอบมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ

2.2.2 ประเภทของวัตถุเจือปนอาหาร

1) สารป้องกันการหืน (antioxidant)

สารที่ใช้เพื่อชะลอการเสียของอาหาร อันเนื่องมาจากมีสี กลิ่น รส ที่ผิดไปจากเดิม อาจเกิดเป็นสารประกอบใหม่ ที่เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภท ไขมันและน้ำมัน นมผง เนย หน้าที่โดยตรงของสารกันหืนก็คือ ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดนชันของกรดไขมัน

ไม่อิ่มตัว และวิตามินบางชนิด เพราะสารกันหืนให้ไฮโดรเจนไอออนหรือให้อิเล็กตรอนทำให้เกิดการรวมตัวเพอร์ออกไซด์เพิ่มความเสถียรยิ่งขึ้น เช่น

1.1) บีเอชเอ และบีเอชที (BHA และ BHT) ถ้าใช้ไม่เกินจำนวนที่ระบุ ถือกันว่าเป็นสารที่ปลอดภัย (100 – 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ใช้กับอาหารพวกไขมันจากสัตว์ เครื่องดื่มที่มีไขมัน ไอศกรีม ขนมหวาน อาหารอบ และทอด ยีสต์แห้ง ไส้กรอก และเนื้อสัตว์ อาจใช้เดี่ยวหรือคู่กับสารกันหืนประเภทอื่น

1.2) กรดแอสคอร์บิก ($C_6H_8O_6$) โดยทั่วไปเรียกว่า วิตามินซี เป็นสารกันหืนที่ดีที่สุด นิยมใส่ในเนยเทียมโดยไม่จำกัดจำนวน

1.3) เดซิล แกลแลต (Dodecyl Gallate) อนุญาตให้ใช้ได้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเพื่อป้องกันการเหม็นหืนของไขมันในอาหารที่มีความเข้มข้นสูง

1.4) เอ็นดีจีเอ (NDGA) ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 0.02 ของปริมาณไขมัน และน้ำมันในอาหาร พวกเนื้อสัตว์ น้ำมันหมู เนย ไอศกรีม ครีม ขนม และเครื่องดื่ม และไม่เกินร้อยละ 0.05 กับวัสดุที่ใช้บรรจุอาหาร

2) ซีเควสเตนท์ (sequestrant)

สารปรุงแต่งสี กลิ่น รส เพื่อแต่งสีให้อาหารมีลักษณะคล้ายธรรมชาติ หรือเพื่อให้มีสีสม่ำเสมอ และเพื่อแต่งสี กลิ่นรสของอาหารให้ได้ตรงตามต้องการของผู้บริโภค เป็นกลุ่มวัตถุเจือปนที่ช่วยคงรูปผัก ผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปให้คงสภาพเดิมมากสุด เช่น

2.1) กรดมะนาว หรือ กรดซิตริก (Citric acid) ใช้ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ เพื่อปรับปรุงกลิ่น รส และสี ของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น ป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และช่วยยับยั้งการเจริญ เติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้เก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น นอกจากนี้กรดยังช่วยลดอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการแปรรูป แต่การเลือกใช้กรด จะต้องขึ้นอยู่กับชนิดของกรดที่มีอยู่มากในผลไม้นั้นๆ ผลไม้ทั่วๆไปจะมีกรดซิตริค (กรดมะนาว) ส่วนองุ่นมีกรดทาร์ทาริค (หรือเรียกว่ากรดมะขาม) นอกจากนั้นยังมีการใช้กรดอะซิติค หรือน้ำส้มสายชูในอาหารหมักดองด้วย กรดมะนาวนิยมเติมลงในน้ำลวก หรือน้ำแช่ผักและผลไม้ก่อนการแปรรูป ช่วยให้สีของผักผลไม้ขาว หรือไม่เปลี่ยนสี

2.2) โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ หรือ โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ (Sodium/Potassium metabisulfite, KMS) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติช่วยป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อราในผักและผลไม้ นอกจากนี้ยังช่วยให้ผลไม้คงสีธรรมชาติไว้

2.3) เกลือซัลไฟท์ (Sulfite) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfurdioxide) เป็นสารป้องกันการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำ จะเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูรัส (Sulfurous acid) ซึ่งมีฤทธิ์ในการทำลาย หรือชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ใช้ในอาหารพวกผัก ผลไม้ น้ำหวานต่างไวน์ วุ้นเส้นแห้ง เส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง เส้นหมี่แห้ง ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งและผลไม้บรรจุกระป๋อง

3) กรดอินทรีย์ (organic acid)

สารอินทรีย์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด พบในอาหารทั่วไปตามธรรมชาติ หรือเกิดจากการหมัก (fermentation) ใช้ในการถนอมอาหาร (food preservation) เพื่อปรับค่า pH ของอาหารให้เป็นอาหารปรับกรด (acidified food) หรือใช้เป็นสารกันเสีย (preservative) ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (food spoilage) และจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) เช่น

3.1) กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากในธรรมชาตินิยมใช้มากถึงร้อยละ 60 ของกรดทั้งหมด เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี ทำให้กรดแอสคอร์บิกที่มีตามธรรมชาติมีความคงตัว

3.2) กรดซัคซินิกพบมากในหัวบีท บรอคโคลี กากน้ำตาล ละลายน้ำเล็กน้อยจึงนิยมใช้ในอาหารผงนิยมและใช้ในการเตรียมผงฟู

4) สารที่ช่วยให้ข้นหรือช่วยให้คงตัว (thickening agent and stabilizing agent)

สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เป็นสารที่ช่วยให้ของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกันรวมกันได้ เช่น ทำให้น้ำมันและน้ำสามารถรวมกันเป็นเนื้อเดียวกันได้เป็นกลุ่มวัตถุเจือปนที่ช่วยทำให้อาหารเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่แยกชั้น อิมัลซิไฟเออร์ ตามธรรมชาติ เช่น

4.1) เลซิทิน(Lecitin) ในไข่แดง และในถั่วเหลือง อิมัลซิไฟเออร์สังเคราะห์ ได้แก่ โมโนแซคคาไรด์และอนุพันธุ์โพรพีลีนไกลคอลเอสเทอร์ (Propyleneglycolester) เช่น การเติมอิมัล-ซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์ น้ำสลัด มายองเนส ชอส

5) สารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent)

เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สามารถจับกับน้ำได้ โดยเมื่อนำมาละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำร้อน จะให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงหรือให้เนื้อสัมผัสกลายเป็นเจลเมื่อทิ้งไว้ให้เย็น ทางด้านอุตสาหกรรมอาหารมีการนำสารก่อเจลชนิดต่างๆ มาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารอยู่หลายชนิด เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ความข้นหนืด และความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร ทางอุตสาหกรรมยามีการนำเจลาตินไปผลิตเป็นแคปซูลยา นอกจากนี้ยังมีการใช้วุ้นหรือ อะกาโรสไปใช้งานด้านปฏิบัติการเคมีและจุลินทรีย์ สารก่อเจลส่วนใหญ่เป็นสารไบโอพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ มีทั้งสารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น วุ้น หรือสารในกลุ่มโปรตีน เช่น คาร์ราจีแนน เจลาติน (Karim and Rajeev, 2009)

5.1) คาร์ราจีแนนมีการนำไปใช้ประโยชน์กับอาหารที่มีน้ำนมเป็นส่วนผสม หรือผลิตภัณฑ์นม เช่น ใช้คาร์ราจีแนนในส่วนผสมของไอศกรีม เพื่อเป็นสารที่เพิ่มความคงตัวช่วยให้ส่วนผสมของไอศกรีมผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย และไม่มีส่วนที่เป็นของเหลวแยกตัวออกมาระหว่างการเก็บรักษา (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

6) สีผสมอาหาร (coloring agent)

สารให้สีที่ให้สีปรับปรุงสีทำให้คงสภาพของสี ของอาหาร โดยในทางกฎหมายอาจเป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หรือเป็นสารที่สกัดได้จากธรรมชาติ สารปรุงแต่งสีสังเคราะห์นั้นจะต้องได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยา ส่วนสารปรุงแต่งสีที่ได้จากธรรมชาติจะต้องได้ผ่านการตรวจสอบด้วยเช่นกันว่าสกัดมาจากสารอินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติ ปริมาณสีผสมอาหารให้ใช้ได้ไม่เกิน 70 มิลลิกรัม/กรัม

6.1) สีแดง 3 ชนิด คือ ปองโซ 4 อาร์ (ponceau 4R) คาร์โมอิซิน หรืออะโซบีน (carmoisine or azombine) และอิริทโธซีน (erythrosine)

6.2) สีเหลือง 3 ชนิด ได้แก่ ตาร์ตราซีน (tartrazine) ซันเซทเยลโลว์ (Sunset yellow (FCF)) และโรโบฟลาวิน (Riboflavin)

6.3) สีน้ำเงิน 2 ชนิดได้แก่ อินดิโกตินหรืออินดิโกคาร์มีน (indigotine or indigo carmine) และ บริลเลียนท์บลู (brilliant blue)

7) สารเสริมรส (flavor enhancer) กระตุ้นกลิ่นรสของอาหาร

สารที่นำมาปรุงแต่งให้รสชาติอาหารมีความกลมกล่อมมายิ่งขึ้นการให้กลิ่นรสของอาหารนั้น คือกระบวนการในการกระตุ้นให้เกิดการับรู้รสชาติอาหารต่าง ๆ เช่น เนื้อสัตว์ หรือ ผัก เป็นต้น หรือการสร้างกลิ่นที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีกลิ่นในตัวเองการให้กลิ่นรสของอาหาร คือการกระตุ้นการรับรู้กลิ่น และ รส ของอาหาร ซึ่งอาจจะหมายรวมถึงการรับรู้ลักษณะทางเนื้อสัมผัส

7.1) ผงชูรสมีคุณสมบัติทำให้อาหารมีรสชาติโดยรวมดีขึ้น โดยธรรมชาติแล้วผงชูรสจะใช้ได้ดีมากกับอาหารที่มีรสเค็มหรือเปรี้ยว การใช้ผงชูรสในอาหารต้องใส่ในปริมาณที่เหมาะสม ประมาณร้อยละ 0.1 - 0.8 โดยน้ำหนัก เช่น อาหารหนัก 500 กรัม หากเติมผงชูรสประมาณ 0.5 - 4 กรัม หรือประมาณ 1 ช้อนชา ก็เพียงพอจะให้รสอูมามิในอาหาร การใส่มากเกินไปจะทำให้รสชาติอาหารโดยรวมแย่ลง และมีรสชาติที่ผิดแปลกไป

8) สารให้ความหวานแทนน้ำตาล (sugar substitute)

สารเคมีที่ใช้กันมากอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งให้รสหวานแต่ไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ และไม่ให้พลังงาน ใช้แทนที่น้ำตาลซึ่งผู้ป่วยโรคเบาหวานใช้ไม่ได้ จึงเป็นสารที่มีคุณค่าทางการแพทย์ นอกจากนั้นยังใช้เป็นเครื่องปรุงรสอาหารสำหรับผู้เป็นโรคอ้วน และใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหาร

8.1) น้ำตาลซูโครส (sucrose) เป็นน้ำตาล ที่เรียกกันทั่วไปว่าน้ำตาลทราย ที่ใช้เป็นสารให้ความหวาน อย่างกว้างขวางทั่วโลก พบอยู่ในพืชและผลไม้หลายชนิด แต่ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตน้ำตาลทางการค้า คือ อ้อย และหัวบีท (beat root)

8.2) น้ำตาลกลูโคส (glucose) เป็นสารให้ความหวาน น้ำตาลกลูโคส มีความหวานสัมพัทธ์ เท่ากับ 70-80 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส ซึ่งมีความหวานสัมพัทธ์เท่ากับ 100 น้ำตาลกลูโคสให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม

8.3) น้ำตาลฟรักโทส (fructose) เป็นสารให้ความหวาน มีรสหวานมากกว่าน้ำตาลทราย มีค่าความหวานสัมพัทธ์เท่ากับ 140

8.4) น้ำตาลแล็กโทส (lactose) มีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลชนิดอื่น มีความหวานสัมพัทธ์ เท่ากับ. 20 ในขณะที่ น้ำตาลซูโครส มีความหวานเท่ากับ 100 น้ำตาลกลูโคส มีความหวานเท่ากับ 70-80 และน้ำตาล ฟรักโทส มีความหวานเท่ากับ 140

8.5) น้ำตาลอินเวิร์ตมีความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย เพราะสมบัติเด่นของน้ำตาลฟรักโทส ซึ่งมีความหวานมากกว่าและตกผลึกได้ยากกว่า นิยมใช้อาหารประเภท ลูกกวาด ไอศกรีม เครื่องดื่ม แยม เป็นต้น

9) สารปรับความเป็นกรด-ด่าง (acid regulator)

ความเป็นกรดด่างของอาหาร เป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของอาหาร ซึ่งรวมถึงลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่นรส และอายุของการเก็บอาหาร ด้วยชนิดของสารปรับสภาพกรด-ด่าง เช่น การเติมกรด การผสมกับอาหารที่เป็นกรด หรือการลวก (blanching) ชิ้นอาหารในสารละลายกรด

9.1) กรดซิตริกใช้เพื่อปรับภาวะความเป็นกรดโดยใช้ปรับค่าพีเอชของอาหารให้เป็นอาหารปรับกรด (àcidified food) การประมาณ ค่า pH ของกรดซิตริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าพีเอชเท่ากับ 1.87

10) สารเคลือบผิว (glazing agent)

สารซึ่งเมื่อใช้กับผิวภายนอกของอาหารแล้วจะมีลักษณะปรากฏที่เป็นผิวมันหรือช่วยเคลือบผิวเพื่อป้องกันสารเคลือบผิวที่ยอมรับว่าเป็นสารเคลือบผิวบริโภคได้ (Edible Coating Film) นั้นต้องเป็นสารที่ได้รับการรับรองว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภค หรือจัดว่าเป็นเกรดสำหรับอาหาร ซึ่งอาจเป็นสารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น กลูเตน คอลลาเจน เคซีน หรือมีพอลิแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบ เช่น เซลลูโลส ไคโตซาน แป้ง เพ็คติน

10.1) ไคโตซาน เป็นสารละลายที่สามารถจับตัวเป็นไฟเบอร์หรือเป็นเยื่อบาง ๆ มีประจุบวกที่สามารถเคลือบติดกับผิวของเปลือกได้ มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้หลายชนิด และสามารถป้องกันการระเหยของน้ำ และยังสามารถป้องกันการทำปฏิกิริยาโดยตรงกับออกซิเจนในอากาศซึ่งสามารถรักษาสีของผลไม้ไม่ให้ซีดจางไป และเป็นสารธรรมชาติซึ่งไม่มีผลข้างเคียงกับทั้งสิ่งแวดล้อม

11) สารช่วยให้คงรูป (firming agent)

เพื่อคงรูปอาหารประเภทผักผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูป เนื่องจากมักมีการเปลี่ยนแปลงในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น เซลล์อาจจะแตกหรือเนื้อเยื่อถูกทำลาย ทำให้คุณสมบัติของโครงสร้างของเซลล์เปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปด้วย การใช้วัตถุทำให้คงรูป จะทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงขึ้น

12) สารช่วยเก็บความชื้น (humectant)

สารฮิวเมกเตนท์ สารที่ใช้เติมในอาหารเพื่อรักษาความชื้น ทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity) ลดลง ตัวอย่างของสารฮิวเมกเตนท์ที่ใช้ในอาหารเพื่อรักษาความชื้น

12.1) กลีเซอรอล เป็นสารที่เป็นของเหลว ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสหวานเล็กน้อย ในโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ จึงทำให้ละลายในน้ำได้ดี มีสมบัติในการดูดจับน้ำได้ดี การใช้กลีเซอรอลในอาหารป้องกันไม่ให้อาหารแห้ง มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity) ต่ำช่วยลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของอาหาร

13) สารทำให้เปียก (wetting agent)

เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ที่ช่วยลดแรงตึงผิวของของเหลว ช่วยให้ของเหลว กระจายตัว และซึมเข้าไปที่ผิวของของแข็งได้ง่ายขึ้น ใช้ผสมในเครื่องดื่มผงเพื่อทำให้ละลายได้ง่าย

14) สารปรับคุณภาพแป้ง (flour treatment agent)

วัตถุเจือปนอาหารที่ใช้ผสมในแป้ง (flour) หรือโด (dough) เพื่อปรับปรุงคุณภาพหรือสีของผลิตภัณฑ์เบเกอรี (bakery)

15) เอนไซม์ (enzyme)

กลุ่มโปรตีนที่ผลิตโดยเซลล์สิ่งมีชีวิต พบได้ทั้งในพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ เช่น การสังเคราะห์องค์ประกอบภายในเซลล์ ระบบการย่อยอาหาร โดยย่อยสลายโมเลกุลของอาหารที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลง

2.3 แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride)

แคลเซียมคลอไรด์มีสูตรโมเลกุล $CaCl_2$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 40.83 กรัมต่อโมล ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น ละลายได้ในน้ำ มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ที่ 8 - 9 มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 772 องศาเซลเซียส จุดเดือดน้อยกว่า 1,600 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของแคลเซียม

คลอไรด์ ช่วยให้ความคงตัวให้กับเนื้อสัมผัสของผลไม้ ช่วยในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลไม้ที่นิ่มเกินไป (Brecht, 1995)

2.3.1 การประยุกต์ใช้แคลเซียมคลอไรด์ในอาหาร

ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารประเภทผักและผลไม้นั้น มักจะพบว่าหลังการแปรรูปแล้วลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปในลักษณะที่แย่ลง เช่น นิ่มหรือหัก ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าโบราณของไทยรู้จักปูนขาว ปูน แดง หรือสารส้ม เป็นต้น ในการช่วยให้ผลไม้อิ่ม ผลไม้เชื่อม ผลไม้ลอยแก้ว และผลไม้ดองต่างๆ มีลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น ส่วนการศึกษาทดลองได้มีการค้นคว้าวิจัยกันต่อมา พบว่าเกลือแคลเซียมจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความคงตัวของเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ โดยไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่อยู่ในผักและผลไม้ ทำให้โครงสร้างเซลล์ของผักและผลไม้แข็งแรงขึ้น ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ระหว่างการแปรรูปลดลง ดังรายงานของ Souty (1981) ที่ได้ทดลองใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการแปรรูปแอปเปิ้ลกระป๋อง พบว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่คงตัวดีขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Weinert (1990) ที่ได้ทดลองผลิตพลัมกระป๋องในน้ำเชื่อมที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ 500 ส่วนในล้านส่วน เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ใส่น้ำเชื่อมเพียงอย่างเดียว โดยพบว่าตัวอย่างที่มีการใช้แคลซียมคลอไรด์จะมีความคงตัวดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ใช้แคลเซียมคลอไรด์อย่างเห็นได้ชัดเจน

การเปลี่ยนแปลงความกรอบหรือเนื้อสัมผัสของผลไม้ เกิดจากสาเหตุหลัก 2 คือ การสูญเสียน้ำโดยกระบวนการหายใจ และการคายน้ำ เป็นผลให้ความเต่งภายในเซลล์ลดลงซึ่งสามารถชะลอได้โดยการควบคุมอุณหภูมิของผลไม้ให้ต่ำลง เพื่อลดอัตราการหายใจ และการคายน้ำ อีกประการหนึ่ง คือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสารประกอบเพคตินที่ผนังเซลล์ในระหว่างกระบวนการสุกเป็นเหตุให้ผนังเซลล์อ่อนแอ และไม่จับตัวกันแน่นเหมือนเดิม (รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย และนัฏชรี ศรีบูรณศรี, 2548) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพคตินมีสาเหตุหลักมาจากการสลายตัวของสารประกอบ เพคตินโดยเอนไซม์

การแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรค์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นำมาใช้โดยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยปรับปรุงความกรอบของเนื้อผลไม้ได้ โดยช่วยให้เนื้อเยื่อมีความแข็งแรง โดย Ca^{2+} สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคตินบริเวณผนังเชื่อมยึดระหว่างเซลล์ (middle lamella) และผนังเซลล์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมข้ามระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) บนสายพอลิกาแลคทูริเนส (polygalacturonides) และประจุคู่ของ Ca^{2+} โดย Ca^{2+} ทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลบนสายพอลิกาแลคทูริเนส สายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสายพอลิกาแลคทูริเนสอีกสายหนึ่งเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่าสายของเพคพติน (egg-box model) เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมแพคเตท ที่ไม่ละลายน้ำ (รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย และนัฏชรี ศรีบูรณศรี, 2548) ความเข้มข้นของ

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลไม้มีความแตกต่างกัน โดยทั่วไปความเข้มข้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่างร้อยละ 0.1 – 1 หากใช้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมสูงเกินไปอาจมีผลทำให้เกิดรสขมในผลไม้ได้

2.4 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid)

แอสคอร์บิก มีสูตรเคมี $C_6H_8O_6$ มีน้ำหนักมวลโมเลกุล 176.14 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นผงสีขาวไม่มีสีไม่มีกลิ่น มีรสเปรี้ยว ละลายน้ำได้มีฤทธิ์เป็นกรด มีจุดหลอมเหลว 190-192 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของกรดแอสคอร์บิก ใช้เป็นสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลให้กับเนื้อสัมผัสของผลไม้ (ชมรมเทคโนโลยีทางอาหารและชีวภาพ, 2558) กรดแอสคอร์บิก มีโครงสร้างประกอบด้วยสเตอริโอเคมี (Steriochemical isomer) อีก 3 ชนิด แต่มีไอโซเมอร์เพียงชนิดเดียวที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารคือ กรดอีริทอร์บิก (D-isoascorbic acid หรือ Erythorbic acid) ใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในผลไม้สดและแช่แข็ง

2.4.1 การประยุกต์ใช้กรดแอสคอร์บิกในอาหาร

ผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปทั้งพืชและผลไม้หลายชนิดส่วนมากเกิดปัญหามาจากกระบวนการแปรรูปผ่านขั้นตอนต่างๆ เช่น การคัดขนาด การล้างทำความสะอาด การปอกเปลือก การตัด การหั่นให้เป็นชิ้น รวมถึงการห่อหีบผลิตภัณฑ์ อาจทำให้เกิดบาดแผลทำให้เสื่อมเสียทางด้านคุณภาพ เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning reaction) บริเวณรอยตัดของเนื้อผักและผลไม้ผิวคล้ำ เป็นสีน้ำตาลสีดำ หรือสีเทาขึ้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งการมีสีผิดปกติเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ จะเป็นสาเหตุให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหรืออายุการเก็บรักษาลดลง (ศิวาพร ศิสเวธ, 2546) ส่วนการศึกษาทดลองได้มีการค้นคว้าวิจัยกันต่อมา พบว่ากรดแอสคอร์บิกมีผลในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีระดับหนึ่ง แต่เมื่อนำมาใช้รวมกับสารเคมีชนิดอื่นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการเกิดสีน้ำตาลได้ดียิ่งขึ้น โดยกรดแอสคอร์บิกมีคุณสมบัติเป็น reducing agent ซึ่งทำการรีดิวซ์สารออร์โธ-ควิโนนให้เปลี่ยนกลับเป็นสารไดฟีนอลก่อนเกิดปฏิกิริยาต่อไปเป็นสารประกอบสีน้ำตาล (Waiker, 1997) ดังรายงานของ วัชรชัย พรมทับและ ลำแพน ขวัญพูล (2555) ใช้กรดแอสคอร์บิกแช่ในผลละมุดพันธุ์มะกอกเพื่อทดลองการลดการช้ำและการเกิดสีน้ำตาล พบว่าการแช่ละมุดในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น ร้อยละ 4 และร้อยละ 6 สามารถชะลอกิจกรรมเอนไซม์ได้ดีที่สุด

กรดแอสคอร์บิกเป็นสารรีดิวซิ่งเอเจนต์อย่างแรง จึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายโดยแสง อากาศ ความร้อน เมื่อถูกออกไดซ์จะเปลี่ยนเป็นดีไฮโดรแอสคอร์บิกแอซิด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทวนกลับได้แต่ถ้าถูกออกซิไดซ์ต่อ เป็นไดคีโตแอล-กลูโคนิก แอซิด จะสูญเสียคุณภาพทางชีวภาพได้ง่ายในสภาวะที่

เป็นด่าง นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์หลายชนิดที่มีในผักและผลไม้เร่งการสลายตัวของวิตามินซี โดยในฝรั่งมีปริมาณวิตามินซี 37 มิลลิกรัมต่อ100กรัม เป็นต้น (Puwastein *et al.*, 2012)

เมื่อกรดแอสคอร์บิกถูกออกซิไดซ์จนกลายเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (Dehydroasorbic acid; DHAA) ทั้งหมดแล้ว สารควิโนนก็จะเกิดสะสมมากขึ้น และดำเนินปฏิกิริยาไปจนเกิดสีน้ำตาลได้ และอีกอย่างคือตัว DHAA สามารถเกิดปฏิกิริยาให้สารสีน้ำตาลได้โดยไม่ใช้ปฏิกิริยาของเอนไซม์ (ฆณฑาทิพย์ ยุนฉลาด, 2539)

การใช้กรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์ของมันคือกรดอีริทอร์บิก (D-isoascorbic acid หรือ erythorbic acid) ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ในผลไม้สดและแช่แข็งโดยเติมกรดแอสคอร์บิกและไอโซเมอร์ลงในน้ำเชื่อมหรือเตรียมเป็นสารละลาย (ประสาร สวัสดิ์ชีตัง, 2538) โดยกรดแอสคอร์บิกและอีริทอร์เบตนั้นมีประสิทธิภาพในการเป็นสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้คล้ายกัน แต่อิริทอร์เบตไม่มีคุณสมบัติเป็นวิตามินเท่านั้น การใช้กรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นสูงๆนั้นจะสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีนอลออกซิเดสได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้ร่วมกับกรดซิตริก หรือเกลือแคลเซียมฟอสเฟตโซเดียมคลอไรด์ ซีสเทอีน หรือสารกันเสีย เช่น โซเดียมเบนโซเอท หรือโพแทสเซียมเบนโซเอทรวมทั้งมีการใช้ระบบสูญญากาศช่วยดูดอากาศออกจากช่องว่างของผลิตภัณฑ์เพื่อให้สารละลายของสารยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลกระจายอย่างทั่วถึงผลิตภัณฑ์

2.5 การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหาร

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหารแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเอนไซม์ (enzymatic browning) และการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีปฏิกิริยาเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง (non-enzymatic browning)

2.5.1 การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเอนไซม์

การเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากเอนไซม์ เป็นปัญหาสำคัญที่พบในผักผลไม้สด และน้ำผลไม้มากกว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนเนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปจะทำให้ประสิทธิภาพของเอนไซม์เสียไปได้ การเกิดสีน้ำตาลมักจะพบในผลไม้ที่ช้ำ แตก ถูกปอกเปลือกหรือตัดแต่ง หรือถูกหั่นเป็นชิ้นทำให้เซลล์แตก สารประกอบฟีนอลิกภายในเซลล์ซึ่งเป็นสับสเตรต (subustrat) จะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase, PPO) ซึ่งปฏิกิริยา จะเริ่มต้น โดยการเกิดไฮดรอกซิเลชันของสารประกอบโมโนฟีนอลิกไปเป็นโอ-ไดฟีนอล (O-diphenol) ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น โอ-ควิโนน (O-quinone) และจะทำปฏิริยาแบบไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้องกับสารประกอบต่างๆรวมทั้งสารประกอบฟีนอลิกและกรดอะมิโนทำให้เกิดรงควัตถุ

ต่างๆประสิทธิภาพของ PPO สามารถถูกยับยั้งได้โดยความร้อน กรดเฮไลด์ กรดฟีนอลิก สารประกอบซัลไฟต์ สารจับโลหะ รีดิวซิงเอเจนต์ เช่น กรดแอสคอร์บิก ซึ่งปฏิกิริยาในการยับยั้งการเกิดสี น้ำตาลของสารต่างๆที่กล่าวนั้น สารบางชนิดจะทำปฏิกิริยากับ PPO โดยตรง แต่บางชนิดก็จะไปทำปฏิกิริยากับสับสเตรต ทำให้ปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นหยุดลงได้

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์เป็นปัญหาสำคัญ ในการแปรรูปผลไม้และผักหลายชนิด ได้แก่ แอปเปิล ท้อ สาลี่ กล้วย องุ่น มันฝรั่ง เห็ด มะเขือ ผักสลัด ใบชา และเมล็ด กาแฟ รวมทั้งอาหารทะเลบางชนิด เช่น กุ้ง ปู และกุ้งมังกร เมื่ออาหารเกิดสีน้ำตาลจะทำให้อายุการวางจำหน่ายสั้นลง และปฏิกิริยานี่ยังอาจทำให้เกิดปัญหากับผักและผลไม้ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งและเยือกแข็งด้วย

ข้อดีของปฏิกิริยานี้คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์บางชนิดมีสี กลิ่น และรสชาติดีขึ้น เช่น การอบแห้งลูกเกด ลูกพรุน และอินทผลัน การคั่นเมล็ดกาแฟ และการหมักใบชา ซึ่งต้องการให้เกิดสีน้ำตาล ช่วยให้มีกลิ่นและรสชาติดีการควบคุมปฏิกิริยาเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ ไม่ให้เกิดในผักและผลไม้บางชนิดทำได้โดยการลวก เพื่อยับยั้งเอนไซม์ PPO แต่วัตถุดิบบางชนิดหากนำไปลวกจะมีผลกระทบต่อกลิ่น รสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัส เช่น ผลไม้และหัวหอม เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล บางทีเรียกว่า ฟีนอเลส วึ่งหมายถึงกลุ่มของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซเดชันของสารประกอบโมโนฟีนอลและออร์โท-ไดฟีนอล. ดังนั้นเอนไซม์ฟีนอลเลสจึงรวมทั้ง ฟีนอลออกซิเดส ไทโรซิเนส พอลิฟีนอลออกซเดส แคทีคอเลส (catecholase) ครีโซเลส (cresolase) โดปาออกซิเดส (dopaoxidase) และออกซิเดสจากมันเทศและมันฝรั่ง

2.5.2 การเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีปฏิกิริยาเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (Non-enzymatic browning) หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เกี่ยวข้องเป็นปฏิกิริยาที่ถูกค้นพบครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ 1912 โดย Louis Maillard เมื่ออาหารทุกชนิดได้รับความร้อนจะมีการสูญเสียน้ำ มีการสลายตัว และมีการรวมตัวของหมู่อะมิโนกับสารประกอบรีดิวซิ่ง พัฒนาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและน้ำตาลแดงและทำให้อาหารมีกลิ่นและรสชาติเฉพาะ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1) คาราเมลไลเซชัน (caramelization) เป็นปฏิกิริยาที่ใความร้อนในการสลายโมเลกุลให้แยกออก (thermolysis) และเกิดโพลีเมอไรซันของสารประกอบคาร์บอน ได้เป็นสารที่ให้สีน้ำตาล โดยปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น

2) ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่คาร์บอนิลและหมู่อะมิโนและการเกิดปฏิกิริยาแบบไม่มีเอมไซม์ มาเกี่ยวข้อง นอกจากเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีของผลิตภัณฑ์ ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสซึ่งเกิดจากแอลดีไฮด์ และ

สารประกอบที่ระเหยได้และยังอาจทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียกรดอะมิโนที่จำเป็น และลดประสิทธิภาพในการถูกย่อยโปรตีนหรือสูญเสียกรดแอสคอร์บิก โดยกรดแอสคอร์บิกจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นกรดดีไฮโดแอสคอร์บิกซึ่งเป็นสารที่ไม่คงตัวและจะเกิดปฏิกิริยาผ่านปฏิกิริยาแอลดอลคอนเดนเซชัน (aldol condensation) หรือทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนทำให้เกิดรงควัตถุสีน้ำตาลขึ้น

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วาสนา (2558) ได้ศึกษาผลการผสมผสานระหว่างสารที่ลดการเกิดสีน้ำตาลคือ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิค และสารเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เซลล์ คือแคลเซียมคลอไรด์ ต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวและการยืดอายุการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ ใช้ผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย แช่ในสารละลายเดี่ยวหรือสารละลายผสมของกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และ แคลเซียมคลอไรด์ ที่ระดับความเข้มข้น 1.0 โมล่าร์ นาน 15 นาที รวมทั้งแช่ในน้ำสำหรับชุดควบคุม หลังจากนั้นผึ่งให้แห้ง บรรจุลงในถาดโฟมห่อหุ้มด้วยพลาสติกโพลีไวนิล์คลอไรด์ (PVC) และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน บันทึกการเปลี่ยนแปลง เช่น การสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ การเปลี่ยนแปลงสีผิว (ค่า L*, b*, a*)ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) ผลการศึกษาพบว่า ลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายเดียวหรือสารละลายผสมของกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก แคลเซียมคลอไรด์ ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องมีคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวสูงกว่าลิ้นจี่ในชุดควบคุม โดยเฉพาะลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายผสมกรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และแคลเซียมคลอไรด์ ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีอายุการเก็บรักษานานที่สุด 25 วัน ขณะที่ชุดควบคุมเก็บได้เพียง 15 วัน การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเสื่อมสภาพและยืดอายุการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ได้นานกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

มยุรี (2558) ได้ศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพการเก็บรักษาสับปะรดห้วยมุ่นตัดแต่ง โดยการใช้กรดแอสคอร์บิกชะลอการเสื่อมเสียคุณภาพของสับปะรด สับปะรดที่ความบริบูรณ์ระดับ 2-3 ล้าง ปอกเปลือกแล้วหั่นเป็นชิ้น และแช่ในสารละลายแอสคอร์บิกร้อยละ 0 (น้ำกลั่น,ชุดควบคุม) ร้อยละ 0.5 หรือร้อยละ 1.0 นาน 2 นาทีตามลำดับ ผึ่งให้แห้ง บรรจุลงในกล่องพลาสติกที่มีฝาปิด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 วัน พบว่า สารละลายแอสคอร์บิก ร้อยละ0.5-1.0 มีแนวโน้มลดการเกิดสีน้ำตาลในสับปะรดตัดแต่ง สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า L* และมีแนวโน้มชะลอการเสื่อมสภาพโดยรักษาของแข็งที่ละลายได้ในน้ำและปริมาณวิตามินซีค่อนข้างสูงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ด้านรสชาติมีรสหวานและกลิ่นปกติ ยกเว้นในชุดควบคุมปรากฏรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้นมากที่สุดในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา และสารละลายแอสคอร์บิกร้อยละ1 ทำให้เกิดกลิ่นแปลกปลอมเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ค่าการ

ยอมรับโดยรวมสูงสุดในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ดังนั้นสารละลายแอสคอร์บิกที่ร้อยละ 0.5 ชะลอการเสื่อมสภาพของสับปะรดตัดแต่งได้ดีที่สุด โดยประเมินจากลักษณะที่ปรากฏและการยอมรับสูงสุด เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่งผลให้มีอายุการเก็บรักษานานสุด 8.5 วัน ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งให้อายุการเก็บรักษา 7.5 และ 7 ตามลำดับ

อรัญญา (2555) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของทุเรียนตัดแต่งสดระหว่างการเก็บรักษา จากการศึกษาพบว่าทุเรียนสดที่ได้รับแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0(control) และร้อยละ 2นาน 3 นาที มีสารหอมระเหยหลัก ได้แก่ สารประกอบซัลเฟอร์ แอลกอฮอร์ และเอสเทอร์ ตลอดระยะเวลาการเก็บ 15 วัน ทุเรียนตัดแต่งสดทั้งแบบแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0 และร้อยละ 2 มีปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) เพิ่มขึ้น ขณะที่สารประกอบซัลเฟอร์ และเอสเทอร์ มีปริมาณลดลง ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่า pH ความเป็นกรด ปริมาณของแข็งทั้งหมด (องศาบริกซ์) อย่างไรก็ตามแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 2 สามารถรักษาค่าสูญเสียน้ำหนัก ค่าความแน่นเนื้อ และสารหอมระเหยของทุเรียนตัดแต่งสดได้นาน 11 วัน ที่อุณหภูมิ 10.องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าตัวควบคุม ที่เก็บรักษาได้ 7 วัน

ประภาพร และ วาริช (2551) การศึกษาของผลกรดแอสคอร์บิกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เตรียมจากพันธุ์แป้นสีทอง (มีเมล็ด) และพันธุ์ไร้เมล็ด ทำโยการจุ่มฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0 (ชุดควบคุม) 1 และ 2 เป็นระยะเวลา 1 นาที หลังจากนั้นบรรจุลงในถาดโฟมและทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสพบว่าฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคที่จุ่มในกรดแอสคอร์บิคความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2 สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาบริเวณรอยตัด ชะลอการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ และลดการสูญเสียน้ำหนักสดและวิตามินซีได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้การจุ่มฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคในกรดแอสคอร์บิกทั้งสองระดับยังสามารถลดอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคที่เตรียมจากฝรั่งมีเมล็ดมีการผลิตเอทิลีนที่ต่ำกว่าฝรั่งไร้เมล็ดอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าฝรั่งพันธุ์ที่มีการผลิตเอทิลีนสูงมีการเสื่อมสภาพเร็วกว่า

เพียรใจ (2549) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของมะละกอดิบแปรรูปพร้อมบริโภค บริโภค จากศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อและคุณภาพของมะละกอดิบแปรรูปพร้อมบริโภคที่เตรียมได้จากแต่ละส่วนของผล โดยแบ่งเป็น ส่วนใกล้ขั้วผล ส่วนกลางผลใกล้เปลือก ส่วนกลางผลใกล้เมล็ด และส่วนท้ายผล ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 พบว่า ในส่วนกลางผลใกล้เปลือกสามารถคงคุณภาพด้าน

ความแน่นเนื้อ ทางด้านสี ได้ดีกว่าส่วนอื่นของผล และมีอัตราการหายใจต่ำ การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 แช่มะละกอดิบแปรรูปพร้อมบริโภคเป็นเวลา 1 3 และ 5 นาที พบว่าการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 แช่นาน 5 นาที สามารถคงความแน่นเนื้อ ชะลอการเปลี่ยนแปลงสี ลดการสูญเสียน้ำ หนัก และมีอัตราการหายใจต่ำคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายน้ำได้ในปริมาณน้อย ส่วนการแช่มะละกอดิบแปรรูปพร้อมบริโภคในอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 ที่ 4 25 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถคงคุณภาพของมะละกอดิบแปรรูปพร้อมบริโภคได้ โดยให้ค่าความสว่างของสีเนื้อเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สามารถชะลอกิจกรรมเอนไซม์พอลิกาแลคทูโรเนสและปริมาณเพคตินที่ละลายน้ำได้เป็นผลให้มะละกอดิบแปรรูปพร้อมบริโภคสามารถคงความแน่นเนื้อ ดังนั้นมะละกอดิบแปรรูปพร้อมบริโภคในส่วนกลางผลใกล้เปลือกสามารถคงคุณภาพได้ดีที่สุดและการแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 5 นาทีสามารถคงความแน่นเนื้อได้และมีประสิทธิภาพในการชะลอกิจกรรมเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของผนังเซลล์ อย่างไรก็ตาม พบว่า การแช่มะละกอดิบแปรรูปพร้อมบริโภคด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้ผลทางด้านการยอมรับของผู้บริโภคทางด้านความกรอบ สี และคุณภาพโดยรวมของผู้บริโภคดีที่สุด

เกษร (2548) ได้ทำการศึกษาผลของกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของขิงสดหั่นฝอย โดยนำขิงสดไปจุ่มในสารเคมีที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1,0.3 และร้อยละ 0.5 เก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสี พบว่า กรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของของสดหั่นฝอยในด้านการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กำหนดความสว่างของขิง และค่า b* ซึ่งเป็นค่ากำหนดสีเหลืองของขิง พบว่าค่า L* ของขิงสดหั่นฝอยทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส โดยขิงสดหั่นฝอยชุดที่จุ่มสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจะสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ดีขึ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีค่าสูงกว่าค่า L* ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ($p<0.05$) เมื่อเก็บรักษาในช่วงระยะเวลา 6 วันแรกแต่หลังจากนั้นพบว่าค่า L* ของขิงสดหั่นฝอยในชุดทดลองทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน ในส่วนของค่า b* พบว่าค่า b* ของขิงสดหั่นฝอยทุกชุดมีแนวโน้มลดลงในระหว่างอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับค่า L* ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทำให้สีของขิงสดหั่นฝอยคล้ำลง ส่งผลให้ค่าความสว่าง L* และค่าสีเหลือง b* ลดลง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

ฝรั่งพันธุ์กิมจู (ตลาดสระแก้ว, จังหวัดลพบุรี)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1) เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance; ยี่ห้อ mettler toledo, รุ่น AL204, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

2) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer; ยี่ห้อ Stable Microsy stems, รุ่น TA. XT. Plus, ประเทศอังกฤษ)

3) เครื่องวัดสี (Color measure quality; ยี่ห้อ Hunter Lab, รุ่น Color Flex EZ, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

4) เครื่องวัดของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Refractometer; ยี่ห้อBrix Refractometer รุ่น ATAGO PAL2, ประเทศไทย)

3.2.2 เครื่องมือและอุปกณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1) เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance; ยี่ห้อ mettler toledo , รุ่น AL204, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

2) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter; ยี่ห้อ EU Tech รุ่น pH 510, ประเทศสิงค์โปร)

3) ชุดวิเคราะห์การไตรเตรท ได้แก่ ปิเปต ขาตั้งเหล็ก (stand), ที่ยึดบิวเรต (buret clamp), บิวเรตต์ (burette), ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask), ลูกยางสำหรับดูดสาร (dropper) เป็นต้น

3.2.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

1) ถุงพลาสติกชนิดโพลีธิลีน (Polyethylene: PE)

2) มีดหั่นผลไม้, เขียงพลาสติก

3) วัสดุสิ้นเปลือง เช่น กระดาษทิชชู ไม้จิ้มฟัน ถาดรองพลาสติก

3.2.4 อุปกรณ์ศึกษาการเปลี่ยนแปลง

1) ถุงพลาสติกชนิดโพลีธิลีน (Polyethylene: PE)

2) กล่องพลาสติกใสโพลิสไตรรีน (Polystrene ; PS)

3.3 เครื่องมือในการประมวลผลงานวิจัย

3.3.1 โปรแกรมประมวลผลทางสถิติสำเร็จรูป SPSS version 16.0

3.3.2 โปรแกรม Microsoft Word 2007

3.4 สารเคมีและอาหารเลี้ยงเชื้อ

3.4.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1) ฟีนอฟทาลีน (Phenolpthalein; $C_{20}H_{14}O_4$ merck, ประเทศเยอรมัน)

2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH, merck, ประเทศเยอรมัน)

3) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4 , merck, ประเทศเยอรมัน)

4) กรดทาทาร์ลิก (Tartaric acid; $CHOH.COOH)_2$, Merck, ประเทศออสเตรเลีย)

3.4.2 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการวิเคราะห์

1) PCA (Plate count agar; HARGA, Merck, ประเทศเยอรมันนี)

2) PDA (Potato dextrose agar; HARGA, Merck, ประเทศเยอรมันนี)

3.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การเตรียมตัวอย่างฝรั่งพันธุ์กิมจูสำหรับการวิเคราะห์

คัดเลือกผลฝรั่งพันธุ์กิมจูที่มีความบริบูรณ์สำหรับการวิเคราะห์ โดยจะเลือกผลที่มีความสมบูรณ์ ไร้ตำหนิ มีน้ำหนักเฉลี่ย 200-300 กรัม/ผล แล้วนำมาเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นตามขั้นตอน ดังภาพที่ 1

นำฝรั่งพันธุ์กิมจูที่ผ่านการคัดเลือกมาหันให้เป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน แล้วคว้านเมล็ดออก

↓

นำฝรั่งมาหันเป็นแนวตามขวางเป็นแผ่นหนาขนาด 1 เซนติเมตร ทุกชิ้น

↓

ตัดบริเวณส่วนปลายของชิ้นฝรั่งออกทั้ง 2 ข้าง ประมาณ 0.5 เซนติเมตร

↓

ชิ้นฝรั่งที่ผ่านการตัดแต่งจะมีขนาดความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร

↓

นำไปเก็บไว้ในห้องปฏิบัติการรอทำการทดลอง

ภาพที่ 3.1 กระบวนการเตรียมฝรั่งพันธุ์กิมจู

ที่มา : สายสวาท กุลวัฒนาพร (2549)

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

นำผลิตภัณฑ์ฝรั่งที่คัดเลือกได้จากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบในตอนที่ 1 มาแช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์ โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์ ที่ร้อยละ 0, 0.3, และ 0.5 ที่ระยะเวลาในการแช่ 10 และ 15 นาที และทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและการประเมินคุณทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ต่อไป

1. คุณภาพทางกายภาพ

1.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids ;TSS) โดยเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Brix refractometer)

1.2 ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) โดยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัวขนาด P/6 เจาะทะลุจากผิวฝรั่ง 2 เซนติเมตร

2. การประเมินคุณทางประสาทสัมผัส ทำการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2554) คุณลักษณะที่ประเมิน ได้แก่ ความแน่นเนื้อ (Firmness) สี (Color) รสชาติ (Taste) และการยอมรับโดยรวม (Overall acceptance) โดยมีผู้ทดสอบ 30 คน

ทำการคัดเลือกสภาวะของการแช่แคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อฝรั่งตัดแต่ง 1 สภาวะ แล้วนำไปศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสม

ตอนที่ 3 การศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมต่อคุณภาพตัดแต่งพร้อมบริโภค

นำผลิตภัณฑ์ฝรั่งที่มีสภาวะเหมาะสมจากการแช่แคลเซียมคลอไรด์ในตอนที่ 2 มา 1 สภาวะ แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิก โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิกที่ร้อยละ 0, 0.1, 0.3 และ 0.5 ที่ระยะเวลาในการแช่ 10 และ 15 นาที และทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และการประเมินคุณทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ต่อไปนี้

1. คุณภาพทางกายภาพ

1.1 วัดค่าสี โดยเครื่องวัดสี (Hunter lab)

1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids ; TSS) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Brix refractometer)

1.3 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัวขนาด P/6 เจาะทะลุจากผิวฝรั่ง 2 เซนติเมตร

2. คุณภาพทางเคมี

2.1 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) โดยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

2.2 ปริมาณกรดทั้งหมด (Total Titrable Acidity ; TTA) AOAC (2000)

3.การประเมินคุณทางประสาทสัมผัส ทำการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมวงศ์, 2554) คุณลักษณะที่ประเมิน ได้แก่ ความแน่นเนื้อ (Firmness) สี (Color) รสชาติ (Taste) และการยอมรับโดยรวม (Overall acceptance) โดยมีผู้ทดสอบ 30 คน

ตอนที่ 3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

นำผลิตภัณฑ์ฝรั่งที่มีสภาวะเหมาะสมจากการแช่กรดแอสคอร์บิกในตอนที่ 3 มา 1 สภาวะแล้วบรรจุในกล่องพลาสติกใสโพลิสไตรรีน (Polystyrene ; PS) ขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 14x18x7 เซนติเมตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็น 4-10 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี เป็นเวลา 10 วัน ดังต่อไปนี้

1. คุณภาพทางกายภาพ

1.1 วัดค่าสี โดยเครื่องวัดสี (Hunter lab)

1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids ; TSS) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Brix refractometer)

1.3 ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ใช้หัวขนาด P/6 เจาะทะลุจากผิวฝรั่ง 2 เซนติเมตร

1.4 ปริมาณน้ำหนักที่สูญเสีย (weight loss) โดยเครื่องชั่งน้ำหนัก

2. คุณภาพทางเคมี

2.1 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) โดยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

3. คุณภาพด้านจุลินทรีย์

3.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000)

3.2 ยีสต์ และรา (AOAC, 2000)

บทที่ 4
ผลและอภิปรายผล

4.1 ลำดับขั้นในการเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 ศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค ได้แก่ ผลการศึกษาทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด , ค่าความแน่นเนื้อ และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ค่าความแน่นเนื้อ, สี , รสชาติ, และการยอมรับโดยรวม

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมต่อฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค ได้แก่ผลการศึกษาทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสี, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ค่าความแน่นเนื้อ, ผลการศึกษาทางด้านเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง , ปริมาณกรดทั้งหมด และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ค่าความแน่นเนื้อ, สี, รสชาติ, และการยอมรับโดยรวม

ตอนที่ 3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค ได้แก่ ผลการศึกษาทางกายภาพ ได้แก่ วัดค่าสี, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ค่าความแน่นเนื้อ และผลการศึกษาทางด้านเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง, ปริมาณกรดทั้งหมด และผลการศึกษาทางจุลชีววิทยา ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด การหาปริมาณยีสต์และ รา

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 การศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

นำผลิตภัณฑ์ฝรั่งที่คัดเลือกได้จากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบในตอนที่ 1 มาแช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.3 และ 0.5 ระยะเวลาแช่นาน 10 และ 15นาที และทำการวิเคราะห์ทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4.1 ผลของการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ด้านค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ทั้ง 5 สิ่งการทดลอง จะมีค่าอยู่ในช่วง 32.64 – 39.38 นิวตัน ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 4 มีค่าเท่ากับ 39.38 ± 2.52 นิวตัน และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 32.64 ± 1.58 นิวตัน จากการทดลองพบว่า ระดับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างกันทำให้ค่าความแน่นเนื้อมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.3 ทำให้ค่าความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทางตรงกันข้ามปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่ระยะเวลาในการแช่ที่ต่างกัน ส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อลดลงและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์สามารถเปลี่ยนแป้งของเนื้อผลไม้ไปเป็นน้ำตาลจึงส่งผลให้มีความแน่นเนื้อลดลง (Haminiuk *et al.*,2004) อย่างไรก็ตามในการศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคของทุกสิ่งการทดลอง พบว่า การใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้มีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น เพราะสารละลายแคลเซียมไอออนจะช่วยรักษาความแน่นเนื้อเนื่องจากจะไปทำปฏิกิริยากับสารเพคตินที่อยู่ในผลไม้จึงทำให้โครงสร้างเพคตินยึดติดกันแน่นจึงทำให้มีความแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื้อเพิ่มขึ้น (Chen *et al.*, 2011) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทิพวรรณ ทองสุก (2553) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ในเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้แปรรูปที่จะทำให้มีลักษณะความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเนื่องจากแคลเซียมมักใช้ลดการสูญเสียเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์ได้ซึ่งจะพบว่า ใช้ได้ดีกับผักและ ผลไม้หลายชนิด เช่น แครอทและ กะหล่ำดอก เป็นต้น

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (Total Soluble Solid ; TSS) ทั้ง 5 สิ่งทดลอง จะมีค่าอยู่ในช่วง 6.17-7.83 องศาบริกซ์ ซึ่งทุกสิ่งการทดลองจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 5 จะมีค่าเท่ากับ

7.33 ± 0.35 องศาบริกซ์ และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 6.17 ± 0.25 องศาบริกซ์ จากการทดลองพบว่า ระดับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างกันทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.3 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 ที่ระยะเวลาในการแช่ที่ต่างกัน ให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์เปลี่ยนแป้งในผลไม้ไปเป็นน้ำตาล จึงส่งผลให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดนั้นสูงขึ้น อย่างไรก็ตามในการศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคของทุกสิ่งการทดลอง พบว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จะเคลื่อนย้ายแป้งจากส่วนอื่นๆ มาที่ผล และจะมีบทบาทสำคัญในการสร้างเอมไซม์อะไมเลส (A-amylase) โดยเอนไซม์นี้จะเป็นตัวย่อยแป้งสูงจึงทำให้แป้งสลายตัวและปลดปล่อยน้ำตาลโมเลกุลเล็กลงออกมา (Haminiuk *et al.*, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอรัญญา นิพนธ์ศักดิ์และ คณะ (2555) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ในทุเรียนตัดแต่งสด จะพบว่าความเข้มข้น ร้อยละ 2 แช่นาน 3 นาที จะส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่วัดออกมาเป็นค่าความหวาน (องศาบริกซ์) ที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทั้ง 5 สิ่งทดลอง โดยวิธี 9-point hedonic scale (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2554) ระดับคะแนน 1-9 คะแนน (1-ไม่ชอบมากที่สุด, 9-ชอบมากที่สุด) โดยใช้จำนวนผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

ด้านความแน่นเนื้อ จะอยู่ในช่วง 5.50-7.06 คะแนน โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 5 จะมีค่าอยู่ในช่วง 7.06 ± 1.11 คะแนน และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 1 จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.50 ± 1.63 คะแนน ซึ่งทุกสิ่งการทดลองแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\leq0.05$) จากการทดสอบพบว่า ระดับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างกันทำให้คะแนนความชอบด้านความแน่นเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ให้คะแนนความชอบด้านความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทางตรงกันข้ามในปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่ระยะเวลาในการแช่ที่ต่างกัน ให้คะแนนความชอบด้านความแน่นเนื้อลดลง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ด้านค่าสี จะอยู่ในช่วง 6.23-6.67 คะแนน โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 3 จะมีค่าอยู่ในช่วง 6.73 ± 1.23 คะแนน และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 2 จะมีค่าอยู่ในช่วง 6.23 ± 1.38 คะแนน ซึ่งทุกสิ่งการทดลองไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(P>0.05) จากการทดสอบพบว่าที่ระดับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างกันทำให้คะแนนความชอบด้านค่าสีมีค่าลดลงเมื่อพิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ให้คะแนนความชอบด้านค่าสีที่เพิ่มขึ้นและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทางตรงกันข้ามที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 0.5 ที่ระยะเวลาในการแช่ที่ต่างกัน ทำให้คะแนนความชอบด้านค่าสีที่ลดลง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ด้านรสชาติ จะอยู่ในช่วง 5.73-6.53 คะแนน โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 5 จะมีค่าอยู่ในช่วง 6.53 ± 1.61 คะแนน และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 2 จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.73 ± 1.84 คะแนน ซึ่งทุกสิ่งการทดลองไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05) จากการทดสอบพบว่า ระดับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างกันทำให้คะแนนความชอบด้านรสชาติมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ให้คะแนนด้านรสชาติที่เพิ่มขึ้นและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทางตรงกันข้ามที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 0.5 ที่ระยะเวลาในการแช่ที่ต่างกัน ให้คะแนนความชอบด้านรสชาติที่ลดลง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ด้านการทดสอบการยอมรับ จะอยู่ในช่วง 6.17-6.73 คะแนน โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 5 จะมีค่าอยู่ในช่วง 6.73 ± 1.34 คะแนน และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 2 จะมีค่าอยู่ในช่วง 6.17 ± 1.46 คะแนน ซึ่งทุกสิ่งการทดลองไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05) จากการทดสอบพบว่า ระดับการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างกันทำให้คะแนนความชอบด้านการยอมรับโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ส่งผลให้คะแนนด้านการยอมรับโดยรวมที่เพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ในทางตรงกันข้ามที่ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ร้อยละ 0.5 ที่ระยะเวลาในการแช่ที่ต่างกัน ให้คะแนนความชอบด้านการยอมรับโดยรวมที่ลดลง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

จากการศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.3 และ 0.5 ที่ระยะเวลา 10 และ15 นาที พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 4 ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.5 ระยะเวลาแช่นาน 10 นาที มีผลต่อลักษณะความแน่นเนื้อที่ดีและพบว่า มีประสิทธิภาพที่ชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของผนังเซลล์ โดยการวิเคราะห์ทางกายภาพจะมี ค่าความแน่นเนื้อ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 39.38 ± 2.52 นิวตัน, 7.33 ± 0.25 องศาบริกซ์ นอกจากนี้ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ด้วยคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคโดยวิธี 9-point hedonic scale มีคะแนนการยอมรับในแต่ละด้าน ได้แก่ ด้านความแน่นเนื้อ สี รสชาติ และการยอมรับโดยรวม มีค่าเท่ากับ 7.06 ± 1.11, 6.67 ± 1.43, 6.53 ± 1.61 และ 6.73 ± 1.34 คะแนน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการแช่แคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

สิ่งทดลอง	การวิเคราะห์ทางกายภาพ		การทดสอบทางประสาทสัมผัส			
	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	ความแน่นเนื้อ	สี^{ns}	รสชาติ^{ns}	การยอมรับโดยรวม^{ns}
1	32.64^{a} ± 1.58	6.17^{c} ± 0.25	5.50^{a} ± 1.63	6.27 ± 1.28	6.50 ± 1.55	6.43 ± 1.55
2	33.34^{a} ± 1.45	6.83^{bc} ± 0.30	5.80^{ab}± 1.65	6.23 ± 1.38	5.73 ± 1.84	6.17 ± 1.46
3	35.26^{ab}± 2.11	7.17^{bc} ± 0.28	6.00^{ab}± 1.53	6.73 ± 1.23	5.77 ± 1.81	6.23 ± 1.50
4	39.38^{c} ± 2.52	7.33^{b} ± 0.25	7.06^{c} ± 1.11	6.67 ± 1.43	6.53 ± 1.61	6.73 ± 1.34
5	37.16^{bc}± 2.81	7.83^{a} ± 0.35	6.40^{bc}± 1.22	6.47 ± 1.43	6.23 ± 1.83	6.43 ± 1.57

หมายเหตุ : a - c หมายถึง ค่าเฉลี่ยจากน้อยไปมากที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ . เชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ns หมายถึง สิ่งทดลองในแนวตั้งที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 ($P > 0.05$)

ข้อมูลในตารางแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สิ่งทดลองที่ 1 คือ ไม่ใส่แคลเซียมคลอไรด์ (ตัวควบคุม),

สิ่งทดลองที่ 2 คือ ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.3 เวลา 10 นาที

สิ่งทดลองที่ 3 คือ ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.3 เวลา 15 นาที

สิ่งทดลองที่ 4 คือ ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.5 เวลา 10 นาที

สิ่งทดลองที่ 5 คือ ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.5 เวลา 15 นาที

ตอนที่ 2 การศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมต่อฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

นำผลิตภัณฑ์ฝรั่งที่มีสภาวะเหมาะสมจากการแช่แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ระยะเวลาแช่นาน 10 นาที มาแช่ด้วยกรดแอสคอร์บิก โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ศึกษา 2 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณความเข้มข้นกรดแอสคอร์บิกที่ร้อยละ0, 0.1, 0.3, และ0.5 ระยะเวลาแช่นาน 10 และ15 นาที และทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 4.2 ผลของการวิเคราะห์ทางกายภาพ ได้แก่ ด้านค่าความแน่นเนื้อ ทั้ง 7 สิ่งทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง 38.76-43.83 นิวตัน ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื้อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 7 จะมีค่าเท่ากับ 43.83 ± 2.02 และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 38.76 ± 1.74 นิวตัน จากการทดลองพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันทำให้ค่าแน่นเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 0.3 และ 0.5 ทำให้ความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกส่งผลให้ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพกติเนสที่เกิดขึ้นในเซลล์ของผลไม้ที่จะที่จะก่อให้เกิดลักษณะความแน่นเนื้อที่ลดลง (Marshall *et al*., 2000) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ประภาพร ด่านแก้วและ วาริช ศรีละออง (2551) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพผลของกรดแอสคอร์บิกต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยการแช่กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น ร้อยละ 2 แช่นาน 1 นาที ที่ทำให้มีความแน่นเนื้อที่เพิ่มขึ้น

ด้านการวัดค่าสี L* a* b* ทั้ง 7 สิ่งทดลอง โดยค่า L* เป็นค่าความสว่าง จะมีค่าอยู่ในช่วง 78.03-80.46 ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 7 จะมีค่าเท่ากับ 80.46 ± 0.31 และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 78.03 ± 0.67 จากการทดลองพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันส่งผลให้ค่าสี L* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ค่าของ L* ที่ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.3และ 0.5 ให้มีค่าสว่างเพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ค่า a* เป็นค่าสีเขียว จะมีค่าอยู่ในช่วง ((-0.24)-(-1.04)) ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 7 จะมีค่าเท่ากับ -1.04 ± 0. และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ -0.24 ± 0.20 จากการทดลองพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันส่งผลให้ค่าสี a* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ

พิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 0.3และ 0.5 ให้มีค่าสีเขียวเพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ค่า b* เป็นค่าสีเหลือง จะมีค่าอยู่ในช่วง 12.88-14.95 ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05) โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 7 จะมีค่าเท่ากับ 14.95 ± 1.81และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 12.88 ± 0.03 จากการทดลองพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันส่งผลให้ค่าสี b* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.3 และ0.5 ให้มีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

จากการทดลองพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันส่งผลให้ค่าสี L* a* b* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า กรดแอสคอร์บิกนั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีได้ เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งหรือชะลอการช้ำและการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ โดยกรดแอสคอร์บิกจะรีดิวซ์ควีโนนกลับไปเป็นไดฟีนอล ซึ่งจะทำให้ควีโนนไม่สามารถรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่กลายเป็นสารสีน้ำตาลที่เรียกว่า เมลามีน (จริงแท้, 2549) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัชรชัย พรมทับและ ลำแพน ขวัญพูล (2555) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้กรดแอสคอร์บิกในการลดการช้ำและการเกิดสีน้ำตาลในผลละมุดพันธ์มะกอก พบว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกปริมาณร้อยละ 0.2, 0.4 และ0.6 เป็นเวลา 5 นาที ที่ส่งผลให้มีค่าสี L* a* b* ที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid; TSS) ทั้ง 7 สิ่งทดลอง จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.53-5.23 องศาบริกซ์ ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05) โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 5.53 ± 0.21 องศาบริกซ์ และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 7 จะมีค่าเท่ากับ 5.23 ± 0.06 องศาบริกซ์ จากการทดลองพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 0.3และ 0.5 ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกที่อยู่ในสภาวะเป็นกรด เมื่อความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกยิ่งเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้การทำงานของเอมไซม์เพกติเนสลดลงมากขึ้น เพราะจะทำให้แป้งที่อยู่ในผลไม้ไม่เกิดการสลายตัวจึงทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงตามมาด้วย (Lee *et al.*, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนิดา เมฆทัพและ มยุรี กระจ่างกลาง (2558) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้กรด

แอสคอร์บิกต่อคุณภาพสับปะรดห้วยมุ่นตัดแต่งพบว่า กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 แช่นาน 2 นาที ซึ่งจะเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง

จากตารางที่ 4.2 ผลของการวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ทั้ง 7 สิ่งทดลอง จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.11-5.36 ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 5.36 ± 0.14 และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 7 จะมีค่าเท่ากับ 5.11 ± 0.10 จากการทดลองพบว่าระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 0.3และ 0.5 ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีสภาวะเป็นกรดเมื่อความเข้มข้นมากขึ้นจะทำให้มีความเป็นกรดนั้นเพิ่มขึ้น (Lee *et al.*, 2003) ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนิดา เมฆทัพและ มยุรี กระจ่างกลาง (2558) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้กรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพละมุดพันธุ์มะกอกพบว่า ที่ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกร้อยละ 2 แช่นาน 5 นาที จะส่งผลให้มีค่า pH ที่ลดลงตามความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณกรดทั้งหมด (Total Titrable Acidity; TTA) ทั้ง 7 สิ่งทดลอง จะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.21-0.24 ซึ่งทุกสิ่งการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$) จากการทดลองพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดลดลงและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทางตรงกันข้ามปริมาณกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 0.3 และ 0.5 ส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณกรดทั้งหมดมักจะอยู่ในรูปของกรดที่มีปริมาณอยู่มากที่สุดในอาหารชนิดนั้นๆ โดยผลไม้ส่วนใหญ่จะรายงานในรูปกรดซิตริก (นิธิยา, 2549) เมื่อพิจารณาการใช้กรดแอสคอร์บิกในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค จะเห็นว่า กรดแอสคอร์บิกไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมด ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนิดา เมฆทัพและ มยุรี กระจ่างกลาง (2558) ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพโดยใช้กรดแอสคอร์บิกต่อสับปะรดห้วยมุ่นตัดแต่งพร้อมบริโภคพบว่า ความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 แช่นาน 5 นาที ที่จะทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทั้ง 7 สิ่งทดลอง โดยวิธี9-point hedonic scale (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2554) ระดับคะแนน 1-9 คะแนน (1-ไม่ชอบมากที่สุด, 9-ชอบมากที่สุด) โดยใช้จำนวนผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

ด้านความแน่นเนื้อ จะอยู่ในช่วง 5.93-6.90 คะแนน ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 7 จะมีค่าเท่ากับ 6.90 ± 1.29 คะแนน และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 6.17 ± 1.46 คะแนน จากการทดสอบพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันส่งผลให้คะแนนความชอบด้านความแน่นเนื้อมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ร้อยละ 0.1 ให้คะแนนความชอบด้านความแน่นเนื้อลดลง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในทางตรงกันข้ามที่ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3และ 0.5 ให้คะแนนความชอบด้านความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ด้านค่าสี จะอยู่ในช่วง 6.30-7.10 คะแนน ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 5 และ6 ตามลำดับ จะมีค่าเท่ากับ 7.10 ± 1.18 และ7.10 ± 1.06 คะแนน ตามลำดับ และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ 6.30 ± 1.44 คะแนน ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันส่งผลให้คะแนนความชอบด้านค่าสีมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ร้อยละ 0.1 ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านค่าสีลดลง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในทางตรงกันข้ามปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3และ 0.5 ให้คะแนนความชอบด้านค่าสีเพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ด้านรสชาติ จะอยู่ในช่วง 5.60-6.97 คะแนน ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 5 จะมีค่าเท่ากับ 6.97 ± 1.67 คะแนน และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ 5.60 ± 1.40 คะแนน จากการทดสอบพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันส่งผลให้คะแนนความชอบด้านค่าสีมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ร้อยละ 0.1 ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านรสชาติลดลง และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในทางตรงกันข้ามปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านรสชาติเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ

0.5 ส่งผลให้คะแนนความชอบด้านรสชาติเพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ด้านการทดสอบการยอมรับ จะอยู่ในช่วง 5.80-7.03 คะแนน ซึ่งทุกสิ่งการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\leq0.05$) โดยมีค่ามากที่สุดในสิ่งทดลองที่ 7 จะมีค่าเท่ากับ 7.03 ± 1.30 คะแนน และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งทดลองที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ 5.80 ± 1.45 คะแนน จากการทดสอบพบว่า ระดับการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่างกันให้คะแนนความชอบด้านการยอมรับโดยรวมสีมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากการแช่ที่ระยะเวลาที่ต่างกันในระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ร้อยละ 0.1 ทำให้คะแนนความชอบด้านการยอมรับโดยรวมลดลง และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ในทางตรงกันข้ามปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3และ 0.5 ให้คะแนนความชอบด้านการยอมรับโดยรวมเพิ่มขึ้น และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

จากการศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิที่เหมาะสมต่อผ่รั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.1, 0.3 และ 0.5 ที่ระยะเวลา 10 และ15 นาที พบว่า ในสิ่งทดลองที่ 7 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ระยะเวลาแช่นาน 15 นาที มีผลต่อความแน่นเนื้อที่ดี การเปลี่ยนแปลงของค่าสีตรงบริเวณรอยตัด และสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ที่จะทำให้เกิดการช้าหรือการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในเนื้อผลไม้และมีคะแนนความชอบที่ดีที่สุด การวิเคราะห์ทางกายภาพจะมี ค่าความแน่นเนื้อ ค่าสี L* a* b* และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 43.83 ± 2.02 นิวตัน และ 80.46 ± 0.31, -1.04 ± 0.77 ,14.95 ± 1.18 และ 5.23 ± 0.06 องศาบริกซ์,ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางเคมีจะมี ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ เท่ากับ 5.11 ± 0.10 และ 0.24 ± 0.02 ตามลำดับ นอกจากนี้ในการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยวิธี 9-point hedonic scale มีคะแนนความชอบในแต่ละด้าน ได้แก่ ด้านความแน่นเนื้อ สี รสชาติ และการยอมรับโดยรวม มีค่าเท่ากับ 6.90 ± 1.29, 7.10 ± 1.06, 6.70 ± 1.53 และ7.03 ± 1.30 คะแนน

ตารางที่ 4.2 คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมีในการแช่กรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

สิ่งทดลอง	ค่าคุณภาพทางกายภาพ				ค่าคุณภาพทาง		
	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)	สี			ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	ความเป็นกรด – ด่าง	ปริมาณกรดทั้งหมด^{ns} (ร้อยละ)
		L*	a*	b*			
1	38.76^{a} ± 1.74	78.03^{a} ± 0.67	-0.24^{a} ± 0.20	12.88^{a} ± 0.03	5.53^{b} ± 0.21	5.36^{b} ± 0.14	0.21± 0.03
2	39.94^{ab} ± 1.63	78.78^{ab}± 0.49	-0.55^{ab}± 0.13	13.16^{ab}± 0.54	5.48^{ab}± 0.03	5.32^{b} ± 0.60	0.24± 0.03
3	40.78^{abc}± 1.94	79.01^{ab}± 0.71	-0.60^{ab}± 0.24	13.25^{ab}± 0.42	5.40^{ab}± 0.30	5.27^{ab}± 0.90	0.21± 0.02
4	41.26^{bc} ± 0.89	79.21^{b} ± 0.50	-0.61^{ab}± 0.16	13.63^{ab}± 0.43	5.40^{ab}± 0.01	5.25^{ab}± 0.55	0.22± 0.02
5	41.35^{bc} ± 1.10	79.77^{bc}± 0.73	-0.78^{ab}± 0.04	13.90^{ab}± 1.47	5.38^{ab}± 0.10	5.23^{ab}± 0.20	0.24± 0.04
6	42.10^{cd} ± 1.23	80.38^{c} ± 0.54	-.081^{ab}± 0.05	14.21^{ab}± 1.08	5.31^{ab}± 0.10	5.21^{a} ± 0.04	0.22± 0.02
7	43.83^{d} ± 2.02	80.46^{c} ± 0.31	-1.04^{b} ± 0.77	14.95^{b} ± 1.18	5.23^{a} ± 0.06	5.11^{a} ± 0.10	0.24± 0.02

หมายเหตุ : a - d หมายถึง ค่าเฉลี่ยจากน้อยไปมากที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ns หมายถึง สิ่งทดลองในแนวตั้งที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 ($P > 0.05$)

ข้อมูลในตารางแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สิ่งทดลองที่ 1 คือ ไม่ใช้กรดแอสคอร์บิก (ตัวควบคุม), สิ่งทดลองที่ 2 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.1 เวลา 10 นาที

สิ่งทดลองที่ 3 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.1 เวลา 15 นาที, สิ่งทดลองที่ 4 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.3 เวลา 10 นาที

สิ่งทดลองที่ 5 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.3 เวลา 15 นาที, สิ่งทดลองที่ 6 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.5 เวลา 10 นาที

สิ่งทดลองที่ 7 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.5 เวลา 15 นาที

ตารางที่ 4.2 คุณภาพการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการแช่กรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค(ต่อ)

สิ่งการทดลอง	การทดสอบทางประสาทสัมผัส			
	ความแน่นเนื้อ	สี	รสชาติ	การยอมรับโดยรวม
1	6.17^{ab} ± 1.46	6.67^{ab} ± 1.40	6.10^{ab} ± 1.45	6.07^{ab} ± 1.31
2	6.27^{ab} ± 1:70	6.67^{ab} ± 1.32	6.23^{ab} ± 1.81	6.67^{bcd} ± 1.52
3	5.93^{a} ± 1.73	6.30^{a} ± 1.44	5.60^{a} ± 1.40	5.80^{a} ± 1.45
4	6.20^{ab} ± 1.81	6.67^{ab} ± 1.00	5.67^{a} ± 1.69	6.17^{abc} ± 1.60
5	6.27^{ab} ± 1.80	6.80^{ab} ± 1.16	6.53^{b} ± 1.28	6.43^{abcd} ± 1.30
6	6.53^{ab} ± 1.65	7.10^{b} ± 1.18	6.97^{b} ± 1.67	6.90^{cd} ± 1.58
7	6.90^{b} ± 1.29	7.10^{b} ± 1.06	6.70^{b} ± 1.53	7.03^{d} ± 1.30

หมายเหตุ : a-d หมายถึง ค่าเฉลี่ยจากน้อยไปมากที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ns หมายถึง สิ่งทดลองในแนวตั้งที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 ($P > 0.05$)

ข้อมูลในตางรางแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สิ่งทดลองที่ 1 คือ ไม่ใส่กรดแอสคอร์บิก (ตัวควบคุม),

สิ่งทดลองที่ 2 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิค ร้อยละ 0.1 เวลา 10 นาที

สิ่งทดลองที่ 3 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.1 เวลา 15 นาที

สิ่งทดลองที่ 4 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิค ร้อยละ 0.3 เวลา 10 นาที

สิ่งทดลองที่ 5 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.3 เวลา 15 นาที

สิ่งทดลองที่ 6 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.5 เวลา 10 นาที

สิ่งทดลองที่ 7 คือ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 0.5 เวลา 15 นาที

ตอนที่ 3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

นำผลิตภัณฑ์ฝรั่งที่สภาวะที่เหมาะสมจากการแช่แคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ระยะเวลาแช่นาน 10 นาที และกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ระยะเวลาแช่นาน 15 นาทีแล้วบรรจุใส่กล่องใสโพลิสไตรรีน (Polystyrene; PS) ขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 14x18x7 เซนติเมตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็น 4-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วันและทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมี ในวันที่ 0-10 วัน ดังต่อไปนี้

จากตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ด้านค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ทั้ง 10 วัน จะมีค่าอยู่ในช่วง 24.72-43.02 นิวตัน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ 43.02 ± 0.47 นิวตัน และมีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 10 มีค่าเท่ากับ 24.72 ± 1.25 นิวตัน จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) เนื่องจากระยะเวลาในการเก็บรักษาจะเกิดการทำงานของเอนไซม์เพกติเนสที่จะทำปฏิกิริยาอยู่ภายในตัวของผลิตภัณฑ์ เช่น เพคติน ที่ทำให้เกิดการสลายตัวของแป้งส่งผลให้เซลล์สลายตัว และทำให้เซลล์ที่ยึดติดกันไม่สามารถเกาะเกี่ยวกันได้จึงเกิดการสูญเสียความแน่นเนื้อได้(เกสร น้อยนางและ คณะ, 2548) ซึ่งสอดคลองกับงานวิจัยของ ประภาพร ด่านแก้วและ วาริช ศรีละออง (2551) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส จะพบว่าจากการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าความแน่นเนื้อในฝรั่งไร้เมล็ดมีความแน่นเนื้อที่ลดลง ซึ่งในความแน่นเนื้อที่ลดลงที่เกิดจากการเสื่อมสลายของเพคติน

การสูญเสียน้ำหนัก (Weight loss) ทั้ง 10 วันจะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.23-18.71 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 10 มีค่าเท่ากับร้อยละ 18.71 ± 1.85 และ มีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.23 ± 0.01 จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ส่งผลให้การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาการเก็บรักษา 10 เนื่องจากตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาบริเวณรอยตัดจึงทำให้มีช่องเปิดตามธรรมชาติที่จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและ การแลกเปลี่ยนก๊าซ (Karakun and hunter; 2003) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของประภาพร ด่านแก้วและ วาริช ศรีละออง (2551) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส พบว่า จากการเก็บรักษาจะทำให้การสูญเสียน้ำหนักในฝรั่งไร้เมล็ดมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นที่เกิดจากบริเวณรอยตัดของฝรั่ง

ค่าสี L* a* b* ทั้ง 10 วันโดยค่า L* เป็นค่าความสว่าง จะมีค่าอยู่ในช่วง 75.27- 80.04 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05) โดยจะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 จะมีค่าเท่ากับ 80.04 ± 0.43 และมีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 10 จะมีค่าเท่ากับ 75.27 ± 0.14 จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ทำให้มีค่าความสว่างลดลง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ (P≤0.05)

ค่า a* เป็นค่าสีเขียว จะมีค่าอยู่ในช่วง ((-0.47) – (-1.19)) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05) โดยจะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 จะมีค่าอยู่ในช่วง -1.19 ± 0.61 และมีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 10 จะมีค่าอยู่ในช่วง -0.47 ± 0.03 จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีค่าสีเขียวลดลง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ (P≤0.05)

ค่า b* เป็นค่าสีเหลือง จะมีค่าอยู่ในช่วง 12.09-14.97 โดยมีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 จะมีค่าเท่ากับ 14.97 ± 0.06 และมีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 10 จะมีค่าเท่ากับ 12.08 ± 0.20 ซึ่งทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05) จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีค่าสีเหลืองลดลง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ (P≤0.05)

จากการทดลองพบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจะส่งผลต่อค่าสี L* a* b* มีการทำงานของเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดสในผลไม้ที่ส่งผลมายังที่ลักษณะปรากฏภายนอกในการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีของเนื้อสัมผัสที่จะทำให้เกิดค่าสีที่ลดลงในตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา (จันทกานต์ เอี่ยมสำอาง, 2550) ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัชรชัย พรมทับและ ลำแพน ขวัญพูล (2555) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของละมุดพันธุ์มะกอกในระยะเวลาในการเก็บ 6 วัน พบว่า ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาจะส่งผลให้ค่าสีมีค่าที่ลดลงตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid; TSS) ทั้ง 10 วัน จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.63 – 10.17 องศาบริกซ์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P≤0.05) โดยจะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 10 จะมีค่าอยู่ในช่วง 10.17 ± 0.29 องศาบริกซ์ และจะมีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 0 จะมีค่าเท่ากับ 5.63 ± 0.58 องศาบริกซ์ จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ (P≤0.05) ในทางตรงกันข้ามการเก็บรักษาในวันที่ 9 จะทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง เนื่องจากจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารภายในเซลล์ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการหายใจ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2548) อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานั้นก็ยังจะส่งผลให้ผลไม้จะเข้าสู่กระบวนการสุกและจะเกิดการสลายตัวของแป้งที่อยู่ในผลไม้จึงทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดนั้นเพิ่มขึ้น

(จันทนา เอี่ยมสำอาง, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนิดา เมฆทัพและ มยุรี กระจ่างกลาง (2558) ที่ทำการศึกษาคุณภาพในการเก็บรักษาสับปะรดห้วยมุ่นตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นเวลา 12 วันที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส พบว่าตลอดอายุการเก็บรักษาส่งผลให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียเนื้อสัมผัสและส่งผลมาถึงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

จากตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณกรดทั้งหมด (Total Titrable Acidity; TTA) ทั้ง 10 วัน จะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.19-0.24 ซึ่งจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 0 จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.24 ± 0.01 และจะมีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 7และ 8 จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.19 ± 0.01 จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดลดลง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ในทางตรงกันข้ามการเก็บรักษาในวันที่ 9 จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดนั้นลดลง เนื่องจากจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารภายในเซลล์ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการหายใจ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2548) อย่างไรก็ตามตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาจะส่งผลให้เซลล์ที่อยู่ในผลไม้นั้นย่อยสลายจากการเสื่อมสภาพและจะทำให้เข้าสู่กระบวนการสุกจึงส่งผลให้มีปริมาณกรดทั้งหมดนั้นลดลง (จันทนา เอี่ยมสำอาง, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนิดา เมฆทัพและ มยุรี กระจ่างกลาง(2558) ที่ทำการศึกษาคุณภาพการเก็บรักษาของสับปะรดห้วยมุ่นตัดแต่งพร้อมบริโภคเป็นเวลา 12 วันที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการหายใจของผลไม้ที่ทำให้เกิดปริมาณกรดทั้งหมดที่ลดลงเช่นกัน

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทั้ง 10 วัน จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.10 – 5.17 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 7และ 8 จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.17 ± 0.01และ 5.17 ± 0.02 และจะมีค่าน้อยที่สุดในวันที่ 1 จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.10 ± 0.02 จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ในทางตรงกันข้ามการเก็บรักษาในวันที่ 9 จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เนื่องจากกระบวนการหายใจจะส่งผลที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2548) อย่างไรก็ตามตลอดอายุการเก็บรักษาจะทำให้เกิดกระบวนการสุกของผลไม้ที่จะส่งผลให้เซลล์ในผลไม้เกิดการย่อยสลายจากการเสื่อมเสียสภาพที่จะส่งผลให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้น (จันทนา เอี่ยมสำอาง, 2550) ซึ่งสอดคลองกับงานวิจัยของ เกสร น้อยนางและคณะ (2548) ที่ทำการศึกษาคุณภาพการเก็บรักษาของขิงสดหั่นฝอยเป็นเวลา 15 วันที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส พบว่า ตลอดอายุการเก็บรักษาจะส่งผลให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.3 ผลของการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ทั้ง 10 วัน จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.1×10^{2} – 2.63×10^{3} โคโลนีต่อกรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\leq0.05$) โดยจะมีค่ามากที่สุดในวันที่ 10 จะมีค่าอยู่ในช่วง 2.63×10^{3} โคโลนีต่อกรัม และมีค่าน้อยที่สุดในสิ่งวันที่ 0 จะมีค่าอยู่ในช่วง 5.1×10^{2} โคโลนีต่อกรัม จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษา 10 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) เนื่องจากตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาจะส่งผลให้เกิดเสื่อมสลายของผนังเซลล์และ การทำงานของเอนไซม์เพกติเนสจะทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตได้ (เกสร น้อยนางและ คณะ, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุนทร โมลาและคณะ (2557) ที่ทำการศึกษาการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ตัดแต่งพร้อมบริโภคพบว่า ในการเก็บรักษาจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 2.66×10^{3} โคโลนีต่อกรัม ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปริมาณจุลินทรีย์มากที่สุด

ยีสต์และ รา ตรวจพบ <10 โคโลนีต่อกรัม ในตลอดอายุการเก็บรักษา 10 วัน เนื่องจากตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษานั้นมีสภาวะความเป็นกรดจึงส่งผลให้มีการเกิดปริมาณจุลินทรีย์มากกว่ายีสต์และราในช่วง pHที่ 4.6-6 โดยในตลอดระยะเวลาการเก็บรักษานี้ยังถือว่าค่าความเป็นกรดในผลไม้ยังสูงจึงทำให้ไม่มีการเกิดยีสต์และรา (Lee *et al.*, 2003) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจุฑาทิพย์โพธิ์อุบลและคณะ, (2558) ที่ทำการศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของฝรั่งพันธุ์แป้นสีทองพร้อมบริโภค พบว่าไม่มีการเกิดซองยีสต์และ รา ที่มีประสิทธิภาพตลอดการเก็บรักษา

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค ที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บ 10 วันที่อุณหภูมิ 4-10 องศาเซลเซียส พบว่า ในการเก็บรักษาวันที่ 5 ที่มีประสิทธิภาพในการชะลอความแน่นเนื้อ, การสูญเสียน้ำหนักและ ยังช่วยชะลอการทำงานของเอมไซม์เพคติเนสและโพลิฟีนอลออกซิเดส ที่จะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสลายภายในเซลล์และ การหายใจบริเวณตัดแต่งที่จะทำให้ผลไม้สุกขึ้น โดยการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพจะมี ความแน่นเนื้อ ปริมาณการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ ค่าสี L* a* b*และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 36.18 ± 1.21 นิวตัน, 8.76 ± 0.89, 77.02 ± 0.36, -0.68 ± 0.56, 13.27 ± 0.28และ 7.17 ± 0.76 องศาบริกซ์ตามลำดับ การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละเท่ากับ 5.14 ± 0.01และ 0.20 ± 0.02 ตามลำดับ คุณภาพทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและ ยีสต์และ รา เท่ากับ 1.35×10^{3} โคโลนีต่อกรัม และ <10 โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางกายภาพในการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 10 วัน ของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

ระยะเวลาในเก็บรักษา	การวิเคราะห์ทางกายภาพ					
	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน)	ปริมาณน้ำหนักที่สูญเสีย (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	สี		
				L*	a*	b*
0	$43.02^{g} \pm 0.42$	$0.23^{a} \pm 0.07$	$5.63^{a} \pm 0.58$	$80.04^{e} \pm 0.43$	$-1.20^{b} \pm 0.61$	$14.97^{h} \pm 2.06$
1	$42.43^{g} \pm 0.89$	$1.81^{ab} \pm 0.48$	$5.73^{a} \pm 0.58$	$79.70^{e} \pm 0.80$	$-0.84^{ab} \pm 0.10$	$14.41^{g} \pm 0.70$
2	$39.59^{f} \pm 1.14$	$3.02^{bc} \pm 1.02$	$6.17^{ab} \pm 0.29$	$77.77^{d} \pm 0.63$	$-0.83^{ab} \pm 0.51$	$13.99^{fg} \pm 0.44$
3	$38.19^{f} \pm 1.10$	$5.14^{cd} \pm 0.25$	$6.67^{bc} \pm 0.29$	$77.61^{d} \pm 0.23$	$-0.76^{a} \pm 0.11$	$13.72^{ef} \pm 0.32$
4	$36.59^{d} \pm 1.74$	$6.75^{de} \pm 0.92$	$7.00^{c} \pm 0.50$	$77.36^{d} \pm 0.50$	$-0.74^{ab} \pm 0.10$	$13.41^{cde} \pm 0.21$
5	$36.18^{d} \pm 1.21$	$8.76^{ef} \pm 0.89$	$7.17^{c} \pm 0.76$	$77.02^{cd} \pm 0.36$	$-0.68^{a} \pm 0.56$	$13.27^{cde} \pm 0.28$
6	$28.21^{c} \pm 1.28$	$10.31^{fg} \pm 0.93$	$9.67^{e} \pm 0.29$	$76.36^{bc} \pm 0.28$	$-0.64^{a} \pm 0.18$	$13.19^{cde} \pm 0.34$
7	$27.94^{c} \pm 1.32$	$11.92^{gh} \pm 2.53$	$9.83^{e} \pm 0.29$	$78.41^{bc} \pm 0.56$	$-0.61^{a} \pm 0.18$	$13.00^{cd} \pm 0.16$
8	$26.81^{b} \pm 0.98$	$14.19^{hi} \pm 0.28$	$10.00^{e} \pm 0.03$	$75.96^{ab} \pm 0.82$	$-0.53^{a} \pm 0.10$	$12.75^{bc} \pm 0.20$
9	$25.79^{ab} \pm 0.48$	$16.18^{g} \pm 2.48$	$8.17^{d} \pm 0.29$	$75.53^{ab} \pm 0.96$	$-0.19^{a} \pm 0.91$	$12.27^{ab} \pm 0.75$
10	$24.72^{a} \pm 1.25$	$18.71^{k} \pm 1.35$	$10.17^{e} \pm 0.29$	$75.26^{a} \pm 0.14$	$-0.44^{a} \pm 0.03$	$11.08^{a} \pm 0.20$

หมายเหตุ : a-g หมายถึง ค่าเฉลี่ยจากน้อยไปมากที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)
ns หมายถึง สิ่งทดลองในแนวตั้งที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางเคมี และทางจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 10 วัน ของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค (ต่อ)

ระยะเวลาในการเก็บรักษา	การวิเคราะห์ทางเคมี		การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์	
	ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	ความเป็นกรด – ด่าง	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนีต่อกรัม)	ยีสต์และรา (โคโลนีต่อกรัม)
0	$0.24^{f} \pm 0.01$	$5.10^{ab} \pm 0.02$	$5.20^{a} \times 10^{2}$	<10
1	$0.23^{ef} \pm 0.03$	$5.11^{ab} \pm 0.01$	$8.10^{ab} \times 10^{2}$	<10
2	$0.22^{def} \pm 0.06$	$5.12^{bc} \pm 0.02$	$8.45^{ab} \times 10^{2}$	<10
3	$0.21^{bcd} \pm 0.05$	$5.13^{cd} \pm 0.02$	$9.20^{ab} \times 10^{2}$	<10
4	$0.21^{bcd} \pm 0.07$	$5.14^{de} \pm 0.02$	$1.03^{ab} \times 10^{3}$	<10
5	$0.20^{abc} \pm 0.02$	$5.14^{de} \pm 0.01$	$1.35^{b} \times 10^{3}$	<10
6	$0.20^{abc} \pm 0.01$	$5.15^{e} \pm 0.01$	$2.03^{b} \times 10^{3}$	<10
7	$0.19^{ab} \pm 0.02$	$5.17^{f} \pm 0.01$	$2.36^{b} \times 10^{3}$	<10
8	$0.19^{ab} \pm 0.01$	$5.17^{f} \pm 0.01$	$2.44^{b} \times 10^{3}$	<10
9	$0.22^{def} \pm 0.02$	$5.14^{de} \pm 0.02$	$2.49^{b} \times 10^{3}$	<10
10	$0.21^{cde} \pm 0.01$	$5.15^{e} \pm 0.01$	$2.63^{b} \times 10^{3}$	<10

หมายเหตุ : a-g หมายถึง ค่าเฉลี่ยจากน้อยไปมากที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ns หมายถึง สิ่งทดลองในแนวตั้งที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 ($P > 0.05$)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) การศึกษาปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค อัตราส่วนของปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้คือร้อยละ 0, 0.3 และ 0.5 ระยะเวลาในการแช่ คือ 10 และ 15 นาที พบว่าปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 0.5 ระยะแช่นาน 10 นาที ซึ่งจะให้ลักษณะฝรั่งสดตัดแต่งที่ดี และผู้บริโภคให้การยอมรับ โดยคุณภาพด้านกายภาพมีค่าความแน่นเนื้อ เท่ากับ 39.38 ± 2.52 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 7.33 ± 0.25 และคะแนนความชอบด้านประสาทสัมผัสด้าน ความแน่นเนื้อ สี รสชาติ และการยอมรับโดยรวม เท่ากับ 7.06± 1.11, 6.67 ± 1.43, 6.53 ± 1.61 และ 6.73 ± 1.34 ตามลำดับ

2) การศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมต่อคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค อัตราส่วนของปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ใช้ คือ ร้อยละ 0. 0.1, 0.3 และ 0.5 ระยะเวลาในการแช่ คือ 10 และ 15 นาที พบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 0.5 ระยะเวลาแช่นาน 15 นาที ทำให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด ส่งผลให้คุณภาพทางกายภาพมีค่าความแน่นเนื้อเท่ากับร้อยละ 43.83 ± 2.02 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 5.23 ± 0.06 และค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 80.46 ± 0.31, -1.04 ± 0.77, และ 14.95 ± 1.18 ตามลำดับ คุณภาพทางเคมีมีค่าความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 5.11 ± 0.10 และปริมาณกรดทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 0.24± 0.02 และด้านความชอบทางประสาทสัมผัสด้าน ความแน่นเนื้อ สี รสชาติ และการยอมรับโดยรวม เท่ากับ 6.90 ± 1.29, 7.10 ± 1.06, 6.70 ± 1.53 และ 7.03 ± 1.30 ตามลำดับ

3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างอายุการเก็บรักษาของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค โดยศึกษาอายุการเก็บรักษาในกระบวนการแช่แคลเซียมคลอไรด์และกรดแอสคอร์บิกที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์โดยการเก็บในกล่องพลาสติกใสโพลิสไตรรีนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น 4-10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน พบว่า ในการเก็บรักษาวันที่ 5 ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยคุณภาพทางกายภาพด้านความแน่นเนื้อ เท่ากับ 36.18 ± 1.21 ค่าปริมาณการสูญเสียน้ำหนัก เท่ากับ 8.76 ± 0.89 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 7.17 ± 0.76 และค่าสี L* a* และ b* เท่ากับ 77.02 ± 0.36, -0.68 ± 0.56 และ 13.27 ± 0.28 ตามลำดับ คุณภาพทางเคมีด้านความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 5.14 ± 0.01 และคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 1.35×10^3 โคโลนีต่อกรัม ไม่พบยีสต์และรา <10 โคโลนีต่อกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะทั่วไป

1) ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ไม่ควรใส่เกิน ร้อยละ1 ต่อปริมาณน้ำ 1 ลิตร เนื่องจากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติที่ขม

2) สามารถใช้วัตถุเจือปนชนิดอื่นมาแทนกรดแอสคอร์บิค เช่น กรดซิตริก

3) ควรมีการศึกษาพัฒนาผลไม้ชนิดอื่นๆ เพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค เช่น แอปเปิ้ล กล้วย มะม่วง เป็นต้น

5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

ควรกำหนดแหล่งวัตถุดิบเดียวกันและระยะเวลาหลังการเกี่ยวของวัตถุดิบเพื่อให้วัตถุดิบในการทดลองมีความสุกสม่ำเสมอ

บรรณานุกรม

เกศิณี ระมิงค์วงศ์. (2546). **ลักษณะโครงสร้างของพืชสวน.** เชียงใหม่ : ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เกษร น้อยนาง. (2548). **ผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของขิงสดหั่นฝอย.** พิษณุโลก : ภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยนเรศวร.

จุฑาทิพย์ โพธิ์อุบลและคณะ. (2558). **ผลของการอบผลฝรั่งพันธุ์แป้นสีทองด้วยลมร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ของฝรั่งพร้อมบริโภค..** กรุงเทพฯ : สาขาวิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทนา เอี่ยมสำอาง. (2550). **ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับสารเคมีในการควบคุมคุณภาพของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2546ก). **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.**(พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2548ข). **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** กรุงเทพ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2549ค). **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช.** นครปฐม : ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

จิรัสย์กริณ ตันปรียะชญา. (ม.ป.ป). **ผลของสภาวะไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อจลนพลศาสตร์และผลิตภัณฑ์ของการอบแห้งแครอทแผ่น.** เชียงใหม่ : ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทิพวรรณ ทองสุก. (2553). **ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและเทคนิคการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ผักผลไม้แปรรูป.** พิษณุโลก : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยนเรศวร.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2539). **เคมีอาหาร.** เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประหยัด ทิราวงศ์. (2546). **การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการปรับปรุงความนุ่มของเนื้อโค.** เชียงใหม่ : ภาควิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประภาพร ด่านแก้ว และวาริช ศรีละออง. (2551). **ผลของกรดแอสคอร์บิคต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค**. กรุงเทพฯ : สายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประสาร สวัสดิ์ชีตัง. (2538, กรกฎาคม – กันยายน). **การเกิดสีน้ำตาลของอาหารและการควบคุมป้องกัน,** อาหาร, 25(3) : 160-169.

พนิดา เมฆทัพและ มยุรี กระจ่างกลาง. (2558). **ผลของกรดแอสคอร์บิคต่อคุณภาพการเก็บรักษาสับปะรดห้วยมุ่นตัดแต่ง.** พิษณุโลก : ภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยนเรศวร.

พรรณจริง วงศ์สวัสดิ์ และคณะ. (2552). **ฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค : ตอนที่ 1 ผลของการใช้ความร้อนและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของฝรั่ง,** 40(3), 25-128.

เพียรใจ กาแก้ว. (2549). **ผลของอุณหภูมิและสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของมะละกอดิบแปรรูปพร้อมบริโภค**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ไพโรจน์ วิริยจารี. (2535). **เครื่องดื่ม**. เชียงใหม่ : ภาควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มณฑาทิพย์ ยุนฉลาด. (2539, มกราคม – มีนาคม). **กรดแอสคอร์บิค และกรดอิริทรอบิก/แอนติออกซิแดนท์**. วารสารอาหาร, 26(1) : 7-13.

มยุรี กระจายกลาง และพนิดดา เมฆทัพ. (2558). **ผลของกรดอสคอร์บิคต่อคุณภาพการเก็บรักษาสับปะรดห้วยมุ้นตัดแต่ง.**พิษณุโลก : ภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วัชรชัย พรมทับและ ลำแพน ขวัญพูล. (2555**). การลดการช้ำและการเกิดสีน้ำตาลในละมุดพันธุ์มะกอกโดย ใช้กรดแอสคอร์บิก.** สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารราชกระบัง.

วาสนา พิทักษ์พล, ณัฐชยา ใจดี, ศรัญญู บุญต่อ และกานต์พิชชา ปัญญา. (2558). **ผลของคลอรีน กรดแอสคอร์บิก และไคโทซานต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาลิ้นจี่**. สาขาเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา.

ศิริชัย กัลยาณรัตน์, วาริช ศรีละออง และเฉลิมชัย วงอารีย์. (2543). **การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวและวิธีการ เก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของฝรั่ง**. กรุงเทพฯ : สายวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศิวพร ศิสเวธ. (2546). **วัตถุเจือปนอาหาร.** นครปฐม : ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนนครปฐม. 181-186.

ศันสนีย์ และธนะชัย. (2550). **ผลของโซเดียมคลอไรด์และกรดแอสคอร์บิกต่อการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลำไยพันธ์อีดอระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ.** เชียงใหม่ : สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สายชล เกตุษา. (2535). **การใช้หน่วยของการวัดความแน่นเนื้อของผักผลไม้.** ข่าวสารชมรมหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน. 2(1-2), 11.

สายสวาท กุลวัฒนาพร และมาลี หนึ่งน้ำใจ. (2549). ข่าวเทคโนโลยีสำหรับชาวชนบท. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย วว.196.

สุนทร โมลาและ คณะ. (2557). **การยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และการเกิดสีน้าตาลในชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ตัดแต่งพร้อมบริโภค.** กรุงเทพฯ : หลักสูตรเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. (2536). **เทคนิคน่ารู้เกี่ยวกับการผลิตฝรั่ง.** เคหะการเกษตร, กรุงเทพฯ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย.

สรัสวดี เผือกสกนธ์. (2542). **สวนฝรั่ง**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ. ฐานเกษตรกรรม.

อรัญญา นิพนธ์ศักดิ์ ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น. (2555, พฤษภาคม - สิงหาคม). **ผลของแคลเซียมคลอไรด์ต่อสารหอมระเหยและคุณภาพทางกายภาพ-เคมี ของทุเรียนตัดแต่งสดระหว่างการเก็บรักษา.** วารสารวิทยาศาสตร์, 43(2), 481 – 484.

อาจินต์ บัญจพรรค์. (2554). **ขุดทองในบ้าน.** กรุงเทพฯ : อนงค์ศิลป์การพิมพ์, หน้า 32

Arther, D. and P.R. Ashurst. 1996. **Fruit Processing: The manufacture of preserves flavourings and dricd fruits**. Cambrideg. 138 p.

Brecht, J.K., Hagenmaier, R.D., Bender, R.J. and Pesis., E.1995. **Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango(Mangifera indica L.) ripening during storage**. Postharvest Biol. Technol. 17: 215-226.

Chen, F., H. Llu, H. Yang, S. Lal, X. Cheng, Y. Xin, B. Yang, H. Hou, Y. Yoa, S. Zhang, G. Bu and Y. Dang. (2011). **Quality attibutes and cell wall properties of strawberries (Fragaria annanassa Duch) undsr calcium chloride treatment.** Food chemistry 126: 450-459

Haminiuk, C.W.I., C.R.G. Oliveila, P.S.G Fountoura, R.J.F.S. José, and R.M.V. Bezerra. **(2004).Effect of freezing and osmtic dehydration on strawberry of the "chandler"variety**. Revista Ciências Exatas e Naturais 6: 257-264.

.Imeh, U. Khokhar, S. 2002. **Distribution of conjugates and free phenols in fruits: antioxidant activity and cultivar variations.** Journal of Agricultural and Food Chemistry 50, 6301- 6306.

Jiranade rattanapong, Mongkol lim, and Sayan sadoodee. 1995. **The Effect Calcium Chloride on the Quality of Longkong (Lansium domesticum Corr.) Fruit.** Department of plant Science. Faculty of Songkla University. Hat Yai Songkhla

Karakurt, Y, Huber, D.J., 2003. **Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (Carica papaya) fruit**. Postharvest Biol. Technol. 28, 219–229.

Lee, J. Y., H. J. Park, C. Y. Lee, and W. Y. Choi. (2003). **Extending Shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents LWT-Food-sci**. Technol 36: 323-329

Mercado Silva,E.g Benito Bautista, P. and Garcia Velasco, Ma.de los A. 1998. **Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central mesico**. Postharvest.Biol.Tec. 13:143-150.

Montgomery.M.W. and H.J. Petropakis. (1980). **Inactivation of Bartlett pear polyphenoloxidase with heat in the presence of ascorbic acid**. J. Food Process Pres.17:21-30.

Souty, M.,Breuils, L. and Andre, P. 1981. **Firming apricots halves with calcium salts**. Sciences Aliments. 265p.

Thunberg, R.L., Tran, T.T., Bennett, R.W., Matthews, R.N., Belay, N., 2002. **Microbial evaluation of selected fresh produce obtained at retail markets**. J. Food Prot. 65, 677–682.

Weinert, L. AG. Solm, J. and Escher, F. 1990. **Quality of canned plums with varying degrees of ripeness. ll. Texture measurements and sensory evaluation of texture and color**. Lebensmittel-Wiggenschaft und-Technologie. 23(2):117p

Wills, S. 2000. Fungi. pp. 377-411. In J. Weichmann (ed.). **Postharvest Physiology of Vegetables.** Mercel Dekker, Inc. New York

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี. (2553). **การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดซิตริก.** สืบค้น กรกฎาคม 11,. 2558. จาก k b.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/27640.

กรมวิชาการเกษตร. (2546). **ฐานความรู้ด้านพืชฝรั่ง.** สืบค้น กันยายน 17, 2558. จาก http://www.doa.go.th/Pl_data/20_LOCAL/oard6/Guava/main.htm.

จาตุพงศ์ วาฤทธิ์. 2556. **ผลไม้อบกรอบสุญญากาศ.** สืบค้น กรกฎาคม, 2558. จาก http//www.thanonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=210501:crispy-veg-and-fruit-&catid=232:smes-news&itemid=622#.UvXrdzl_tAE.

ชมรมเทคโนโลยีทางอาหารและชีวภาพ. (2558). **วิตามินซีในอุตสาหกรรมอาหาร.** สืบค้น กรกฎาคม 4, 2558. จาก http://www.sc.chula.ac.th/clubs/FoodClubs/page_12

ประกาศกระทรวงสาธารณะสุข ฉบับที่ 281. (2547). **วัตถุเจือปนอาหาร.** ประกาศ. สืบค้น กรกฎาคม 22, 2558, จาก http:// elib.fda.moph.go.th/fulltext2/กฎหมาย/.../ประกาศกระทรวงสาธารณสุข/106_No281.doc.

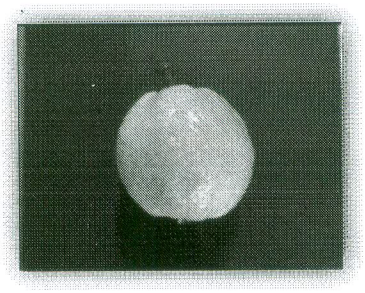
พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2546). **Calcium Salt/เกลือแคลเซียม.** สืบค้น มิถุนายน 22, 2558, จาก http://www.foodnetworksolution.com.

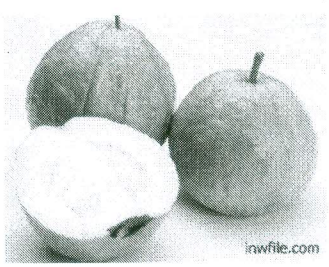
พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป.). **สมบัติทางเนื้อสัมผัส (texture properties).** สืบค้น กรกฎาคม 20, 2558, จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0988/texture-properties.

รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย และนัฏชรี ศรีบูรณศรี. (2548). **การใช้แคลเซียมคลอไรด์ในกระบวนการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลไม้.** สืบค้น มิถุนายน 7, 2558, จาก http://archive.lib.ac.th/food_ch2

ภาคผนวก

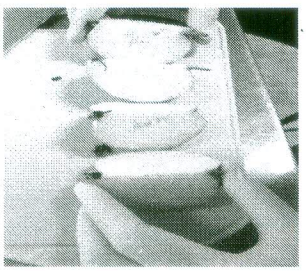
ภาคผนวก ก
ภาพประกอบ



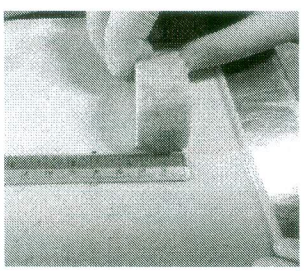


ภาพที่ ก1 ฝรั่งพันธุ์กิมจู

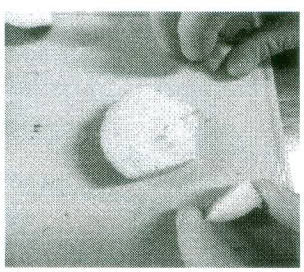
1. เลือกฝรั่งที่สมบูรณ์ไร้ตำหนิมีผิวมันขรุขระเล็กน้อยมี น้ำหนักประมาณ 200-300 กรัม



2. หั่นฝรั่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน

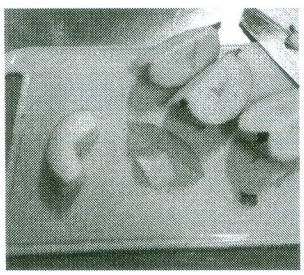


3. นำฝรั่งมาหั่นตามขวางให้มีความหนาประมาณ 2เซนติเมตร เท่ากันทั้งชิ้น ทุกชิ้น

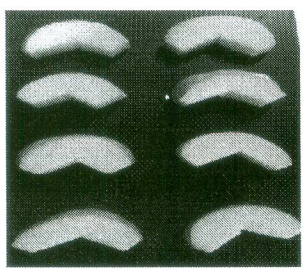


4. นำฝรั่งมาหั่นส่วนปลายทั้ง 2 ข้างๆละ 0.5 เซนติเมตร

ภาพที่ ก2 กระบวนการผลิตฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค



5. นำฝรั่งมาขวานเมล็ดออกเล็กน้อย



6. ในฝรั่ง 1 ลูกจะหั่นได้ประมาณ 8 ชิ้น

ภาพที่ ก2 กระบวนการผลิตฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค (ต่อ)

ภาคผนวก ข
แบบสอบถาม

แบบสอบถาม

การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดย 9-point hedonic scales

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนตามความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

สเกลความชอบ

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

หมายเหตุ : กรุณาบ้วนปากหรือดื่มน้ำก่อนชิมทุกครั้ง

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ				
	153	852	188	392	422
ความแน่นเนื้อ					
ความแข็ง					
สี					
รสชาติ					
ความชอบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

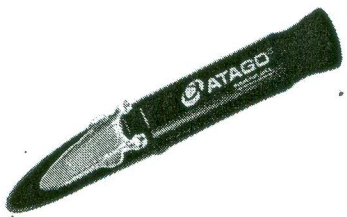
ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1.ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid ; TSS)

1.1 เครื่องมือที่ใช้

เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid ; TSS)



ภาพที่ ค1 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid ; TSS)

1.2 วิธีการวัด

นำตัวอย่างผลไม้ที่ได้ปั่นเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว มาวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ โดยใช้เครื่อง Hand refractometer ซึ่งต้องทำการปรับมาตรฐานของเครื่อง (calibration) โดยใช้น้ำกลั่นปรับเครื่องให้อ่านค่าได้ศูนย์องศาบริกซ์ (°Brix) ก่อนทำการวัดทุกครั้ง

2. ปริมาณน้ำหนักที่สูญเสีย (weight loss)

2.1 เครื่องมือที่ใช้

เครื่องชั่งปริมาณน้ำหนักที่สูญเสีย (Weight loss)

ภาพที่ ค2 เครื่องชั่งปริมาณน้ำหนักที่สูญเสีย (Weight loss)

2.2 วิธีการวัด

นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักสดก่อนการเก็บรักษาและหลังการเก็บรักษา นำน้ำหนักที่ได้มาคิดเป็นร้อยละการสูญเสียน้ำหนักโดยให้การสูญเสียน้ำหนักก่อนการเก็บรักษามีค่าเท่ากับร้อยละ 0 โดยคำนวณดังนี้

$$\text{*ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา} \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}}$$

3 การวัดค่าสี L* a* b* โดยระบบ CIE

3.1 เครื่องมือที่ใช้

เครื่องวัดค่าสี Hunter lab ระบบ CIE

ภาพที่ ค3 เครื่องวัดค่าสี Hunter lab ระบบ CIE

L* คือ ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0-100

a* คือ เมื่อ a มีค่าเป็นบวก เป็นสีแดง และ เมื่อ a มีค่าเป็นลบ เป็นสีเขียว

b* คือ เมื่อ b มีค่าเป็นบวก เป็นสีเหลือง และเมื่อ b มีค่าเป็นลบ เป็นสีน้ำเงิน

ก่อนการวัดค่าสีทุกครั้งต้องทำการปรับค่ามาตรฐาน (Calibration) โดยใช้ Caribration plate แผ่นสีขาวมาตรฐาน และทำการนำฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคมาทำการวัดค่าสี

3.2 วิธีการวัด

นำตัวอย่างฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภคมาวางลงบนพอร์ต ของเครื่องวัดค่าสี Hunter lab แล้วปิดฝาครอบเพื่อไม่ให้แสงรบกวนจากภายนอก เริ่มวัดค่าสี โดยเลือก read sample และรอจนเครื่องอ่านค่าเสร็จ โดยจะอ่านค่าออกมาเป็น L* a* b*

4 การวัดค่าความแน่นเนื้อ (Firmness)

4.1 เครื่องมือที่ใช้

เครื่องวัดลักษณะเนื้อเนื้อสัมผัส (Texture analyzer)

ภาพที่ ค4 เครื่องวัดลักษณะเนื้อเนื้อสัมผัส (Texture analyzer)

4.2 วิธีการวัด

โดยใช้เครื่อง Texture analyzer เพื่อวัดหาค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) โดยใช้หัววัด P/6 เพื่อที่จะใช้ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Texture exponent

1) เปิดเครื่อง Computer
2) เปิดเครื่อง Texture analyzer
3) เข้าโปรแกรม Texture exponent 32
4) เปิด By product ⟶ Fruit ⟶ Apple
5) Caribrate force สังเกตว่าถูกต้องหรือไม่⟶ next ⟶ พิมพ์น้ำหนักลูกตุ้ม ที่ใช้วางตุ้มน้ำหนัก Next Finish
6) Calibrate height ควรตั้ง reture distance สูงกว่าความสูงของตัวอย่าง
7) T.A. setting เลือก library เพื่อกำหนดรูปแบบการวัดและตั้งค่า Value เพื่อกำหนดการเคลื่อนที่ของ probe
8) T.A. run a test
   - เขียนรายละเอียดและเลือก drive ที่ต้องการบันทึกข้อมูลเพื่อให้สามารถเรียกใช้ได้

- เลือกชนิด probe ให้ตรงกับ probe เสมอ
- เลือก parameter ที่ต้องการวัดขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่ต้องวัด
- เลือก data acquisition เพื่อกำหนดอัตราการเก็บข้อมูล (point per sec.)

การกำหนดค่าของเครื่อง Texture analyzer

Calibrate Force

Force = 1000 กรัม

Calibrate Height

Retrun Distance = 10 มิลลิเมตร

Simple Projects

Apple

TA

1) TA Setting Mode
2) Option = Return to start
3) Special test = Apple
4) Advanced Opyions = on
5) Pre-test speed = 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที
6) Test-speed = 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที
7) Post-test speed = 5.0 มิลิเมตรต่อวินาที
8) Target mode = Distance
9) Strain = 10 มิลลิเมตร
10) Time = 10 วินาที
11) Trigger type = Auto force
12) Trigger force = 5.0 กรัม

Run a test

1) Probe selsction = P/6
2) Run a test

การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1 การหาปริมาณกรดทั้งหมด (Total titrable acidity)

สารเคมี

1. 0.1 นอร์มอล NaOH (ที่ผ่านการ Standardized)
2. ร้อยละ 1 Phenolphthalein indicator

1.1 วิธีการ

นำน้ำคั้นจากฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค 5 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทกับสารละลายกับ NaOH ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยมีสารละลาย ร้อยละ× 1 Phenolphthalein เป็น indicator ไตเตรทจนถึงจุดยุติคือ เมื่อสารละลายมีสีชมพูนานอย่างน้อย 30 วินาทีหรือ ไตเตรทแล้วอ่านค่าความเป็นกรด-ด่างที่ pH 8.1คำนวณปริมาณกรดที่ไตเตรทได้เป็นกรดซิตริก ดังสมการ

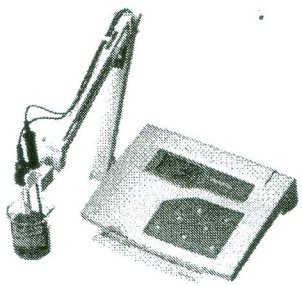
$$\text{ร้อยละ Tritratable acidity (TA)} = \frac{(\text{ml NaOH})(0.1)(0.064)\times 100}{\text{ml of sample}}$$

ml NaOH = ปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

ml of sample = ปริมาตรน้ำคั้นของผลไม้ที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

2.1 เครื่องมือที่ใช้



ภาพที่ ค4 เครื่อง pH meter

2.2 วิธีการ

นำน้ำคั้นจากฝรั่งตัดแต่งพร้อมบริโภค 5 มิลิลิตร จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง เพื่อแยกตะกอนออก แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง pH meter เพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่าง

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

1 การนับจำนวนจุลินทรีย์ (Enumeration of microorganism)

1.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1) ตัวอย่างอาหารที่ต้องการศึกษา (ถ้าเป็นของแข็งใช้ 25 กรัม ของเหลว 1 มิลลิลิตร)

2) ร้อยละ 0.85NaCl ฆ่าเชื้อ (ถ้าเป็นของแข็งใช้ 225 มิลลิลิตร ของเหลว 9 มิลลิลิตร)

3) ร้อยละ 0.85NaCl ฆ่าเชื้อ ใช้เป็น control กลุ่มละ 1 หลอด (9 มิลลิลิตร)

4) อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar 120 มิลลิลิตร

5) ปิเปตฆ่าเชื้อ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร 6อัน

6) ตะเกียงแอลกอฮอล์

7) จานเพาะเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้วพร้อมฝา 10 จาน

1.2 การเก็บตัวอย่างอาหาร

ตัวอย่างอาหารที่นำมาตรวจต้องเป็นตัวแทนของอาหารทั้งหมด เก็บโดยเทคนิคปลอดเชื้อและสารเคมีปนเปื้อน ควรเก็บรักษาสภาพตัวอย่างอาหารที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส ภาชนะเก็บตัวอย่างควรเป็นแก้วมีฝาปิดมิดชิด

1.3 การเจือจางตัวอย่าง

1) อาหารแข็ง ต้องชั่งอาหารมา 25 กรัม (น้ำหนักของตัวอย่างไม่ควรน้อยกว่า 10 กรัม) ละลายในน้ำเกลือที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 225 มิลลิลิตร จากนั้นผสมในเครื่องปั่นจนเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้ความเจือจาง 1:10 จากนั้นทำการเจือจางในน้ำเกลือที่ผ่านการฆ่าเชื้อต่อไปเรื่อยๆ

2) อาหารเหลว อาจใช้ตัวอย่างน้ำ 1 มิลลิลิตร เติมลงในน้ำเกลือที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 9 มิลลิลิตร ก็จะได้ความเจือจางเริ่มต้น 1:10 เช่นเดียวกันจากนั้นทำการเจือจางในน้ำเกลือที่ผ่านการฆ่าเชื้อต่อไปเรื่อยๆ

3) ใช้ปิเปตที่ฆ่าเชื้อแล้วดูดสารละลายเชื้อที่ความเจือจางที่เหมาะสม อาจเลือกความเจือจาง $1:10^2$,$1:10^3$ และ $1:10^4$ ความเจือจางละ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ 2 จาน(ทำ 2 ซ้ำ ,Duplicate)

*ควรจดวันที่หมายเลขตัวอย่างและลำดับการเจือจางผู้ทดลองหรือกลุ่มการทดลองบนจานเพาะเชื้อก่อนทำการเทอาหารเลี้ยงเชื้อให้ชัดเจนและไม่หลุดลอกง่าย

4) เทอาหาร Plate count agar 15 มิลลิลิตร โดยประมาณ ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

5) หมุนจานเพาะเชื้อเบาๆ ไปตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้เชื้อกระจายทั่วทั้งอาหารเลี้ยงเชื้อระวังอย่าให้อาหารกระจายออกมาที่ขอบของจานเพาะเชื้อ จากนั้นทิ้งไว้จนอาหารวุ้นแข็งตัว

6) นำไปบ่ม โดยคว่ำจานเพาะเชื้อลง (ให้ฝาอยู่ด้านล่าง) ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่กำหนดนาน 24 ชั่วโมง

การตรวจผล

7) การนับจำนวนโคโลนี ให้เลือกเฉพาะจานที่มีโคโลนีเจริญอยู่ประมาณ 30-300 โคโลนี จากความเจือจางเดียว ถ้าทำ 2 ซ้ำ รวมจำนวนโคโลนีทั้ง 2 จานเพาะเชื้อเข้าด้วยกัน แล้วหารด้วย 2 จะเท่ากับจำนวนเฉลี่ยของโคโลนีที่นับได้ต่อ 1 ความเจือจางต่อจาน

8) คำนวณจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม หรือ 1 มิลลิลิตร ไดดังตัวอย่างดังนี้

สมมุติว่านับจำนวนตัวอย่างของโคโลนีแบคทีเรียเท่ากับ 47.9โคโลนี โดยนับที่ความเจือจาง $1:10^4$

ดังนั้น จำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม หรือ 1 มิลลิลิตรคำนวณได้ดังนี้

ตัวอย่าง $1/10^4$ กรัม นับแบคทีเรียได้ = 47.9×10^4 โคโลนี

ตัวอย่าง 1 กรัม นับแบคทีเรียได้ = 47.9×10^5 โคโลนี

นิยมรายงานผลเป็น โคโลนี/กรัม หรือ โคโลนี/มิลลิลิตร

2 การตรวจสอบรา และยีสต์ในอาหาร

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่เตรียมและผ่านการฆ่าเชื้อ

2) น้ำกลั่นหรือ ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่เตรียมและผ่านการฆ่าเชื้อสำหรับเจือจางตัวอย่างอาหารตามวิธีในเรื่องการตรวจนับเชื้อแบคทีเรีย

3) จานเพาะเชื้อที่ฆ่าเชื้อแล้ว

4) ปิเปตขนาด 10,1 มิลลิลิตร

5) ตัวอย่างอาหาร

6) กรดทาทาร์ลิกเข้มข้นร้อยละ10

7) แล็กโตฟีนอล

2.2 วิธีการทดลอง

1) เจือจางตัวอย่างอาหาร 1 กรัม ในน้ำกลั่นหรือบัฟเฟอร์ 99 มิลลิลิตรทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำ 1 มิลลิลิตร ไปเจือจางในน้ำกลั่นหรือบัฟเฟอร์ 9 มิลลิลิตรทำต่อไปจนได้ความเข้มข้น10^{-4}

2) ดูดตัวอย่างแต่ละความเจือจางละ 1 มิลลิลิตร ใส่ในจานเพาะเชื้อทุกความเจือจาง 2 ซ้ำ

3) เติมกรดทาทาร์ลิก 1 มิลลิลิตร ใน PDA 100 มิลลิลิตร ที่หลอมเหลวแล้วปล่อยให้มีอุณหภูมิลดลงเหลือ 45 องศาเซลเซียส

4) เทอาหารเลี้ยงเชื้อลงในจานเพาะเชื้อทุกจานทันที เอียงจานไปมาให้อาหารเลี้ยงเชื้อกับตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกันเข้าด้วยกัน ปล่อยให้อาหารแข็ง

5) บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 2-5 วัน

6) นับจำนวนโคโลนีของราและยีสต์ที่เกิดขึ้นแล้วคำนวณเป็นจำนวนในอาหาร 1 กรัม