



รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา
การผลิตซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อ
ด้วยไฟฟ้า
(Production of low-sodium soy sauce using electrodialysis)



รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา สหกิจศึกษา
ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสยาม
ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2559

การผลิตซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อ
ด้วยไฟฟ้า

(Production of low-sodium soy sauce using electrodialysis)

โดย
นางสาว สกาวรัตน์ ไชยถา



รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา สหกิจศึกษา
ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสยาม
ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2559

หัวข้อโครงการ การผลิตซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อ
 ด้วยไฟฟ้า
 (Production of low-sodium soy sauce using electrodialysis)

รายชื่อผู้จัดทำ นางสาว สกวรัตน์ ไชยถา

ภาควิชา เทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ณัฐมล จินดาพรรณ

อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาภาควิชาเทคโนโลยีการ
อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบโครงการ

ณัฐมล จินดาพรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ณัฐมล จินดาพรรณ)

ณัฐริกา ศีลาสาย กรรมการกลาง
(ดร.ณัฐริกา ศีลาสาย)

ปณิธิ พนักงานที่ปรึกษา
(นายปณิธิ ขำเลิศ)

ดร.มารุจ ลิ้มปะวัฒนะ ผู้อำนวยการสำนักสหกิจศึกษา
(ผศ. ดร.มารุจ ลิ้มปะวัฒนะ)

จดหมายนำส่งรายงาน

วันที่ 30 เดือน กันยายน พ.ศ. 2560

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษาภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร

ดร. ณฐมล จินดาพรรณ

ตามที่ได้จัดทำ นางสาวสกวรัตน์ ไชยถา นักศึกษาภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ได้ไปปฏิบัติงานสหกิจศึกษาในระหว่างวันที่ 15 พฤษภาคม 2560 ถึงวันที่ 25 สิงหาคม 2560 ในตำแหน่งนักศึกษาฝึกงาน ณ บริษัท ไมท์ดี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด และได้รับมอบหมายจากพนักงานที่ปรึกษาให้ศึกษาและทำรายงานเรื่อง “การผลิตซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า”

บัดนี้การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดแล้ว ผู้จัดทำจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมกันนี้ จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

สกวรัตน์ ไชยถา

นักศึกษาสหกิจศึกษา

ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร

กิตติกรรมประกาศ

การที่ผู้จัดทำได้มาปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษา ณ บริษัท ไมท์ดี อินเทอร์เน็ต จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนโครงการสหกิจศึกษา ตั้งแต่วันที่ 15 พฤษภาคม 2560 ส่งผลให้ผู้จัดทำได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆที่มีค่ามากมายสำหรับรายงานสหกิจศึกษานี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุน จากหลายฝ่ายดังนี้

1. คุณ สมบัติ วิจันทมุข ตำแหน่ง ผู้อำนวยการทางเทคนิค
2. คุณ ปริญญา ขำเลิศ ตำแหน่ง พนักงานพัฒนาผลิตภัณฑ์

และบุคคลท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำ ให้ข้อมูลและช่วยเหลือในการทำโครงการสหกิจศึกษา ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตของการทำงานจริง นอกจากนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยามทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาโครงการสหกิจศึกษา ตลอดจนการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้



ผู้จัดทำ
สกวรัตน์ ไชยธา
(30/09/2560)

บทคัดย่อภาษาไทย

หัวข้อโครงการ	การผลิตขอสถ์เหลือโซเดียมต่ำโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า
หน่วยกิต	6
โดย	นางสาวสกวรัตน์ ไชยถา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ณฐมล จินดาพรรณ
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.)
สาขา	เทคโนโลยีการอาหาร
คณะ	คณะวิทยาศาสตร์
เทอม / ปีการศึกษา	3 / 2559

บทคัดย่อ

ขอสถ์เหลือเป็นเครื่องปรุงรสชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูง ทำให้ขอสถ์เหลือเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องหลีกเลี่ยงสำหรับผู้บริโภคที่ห่วงใยสุขภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการผลิตขอสถ์เหลือโซเดียมต่ำโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดเกลือออกจากขอสถ์เหลือโดยใช้เครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบซึ่งเดินระบบที่กระแสไฟฟ้าคงที่ 13 แอมแปร์ และใช้สารละลายเข้มข้น (Concentrate solution) เป็นโซเดียมคลอไรด์ซึ่งมีความเข้มข้นต่างกัน 2 ระดับ (ร้อยละ 3 และ 6 โดยปริมาตร) ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพของขอสถ์เหลือซึ่งผ่านกระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าจนกระทั่งเหลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 14, 12, 10 และ 9 โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับขอสถ์เหลือเริ่มต้นซึ่งประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 20 โดยปริมาตร ผลการทดลองพบว่าระบบที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 6 เป็นสารละลายเข้มข้น มีประสิทธิภาพของการกำจัดเกลือสูงกว่าระบบที่ใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 3 นอกจากนี้พบว่าสมบัติทางเคมีกายภาพของขอสถ์เหลือได้แก่ ความเข้มข้นของโปรตีน กรดทั้งหมด น้ำตาลรีดิวซ์ โซเดียมและโพแทสเซียมไอออน รวมทั้งความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในระหว่างกำจัดเกลือโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า สุดท้ายสามารถสรุปได้ว่าขอสถ์เหลือโซเดียมต่ำควรมีโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 10 โดยปริมาตร เมื่อพิจารณาทั้งประสิทธิภาพของการกำจัดเกลือและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพของขอสถ์เหลือโซเดียมต่ำที่ผลิตได้

คำสำคัญ: การกำจัดเกลือ / ขอสถ์เหลือ / โซเดียมต่ำ / โซเดียมคลอไรด์

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Project Title : Production of low-sodium soy sauce using electrodialysis

Credits : 6

By : Sakawrat Chaitha

Advisor : Nathamol Chindapan (D. Eng)

Degree : Bachelor of Science (B.Sc.)

Major : Food Technology

Faculty : Science

Semester / Academic year : 3 /2016

Abstract

Soy sauce is a seasoning containing high sodium chloride. Therefore, this product is unsuitable for a patient with kidney disease and health-concern consumer. The present work was conducted to produce low-sodium soy sauce using electrodialysis (ED). Firstly, salt removal efficiency from soy sauce using pilot-scale electrodialysis at a constant current of 13 A was investigated with different concentrations of concentrate solution (3% and 6% NaCl). Afterwards, changes in physicochemical properties of ED-treated soy sauce with different salt concentrations (14, 12, 10 and 9 % w/v) were determined as compared with original soy sauce having salt concentration of 20 (%w/v). The results indicated that ED system operated using sodium chloride solution of 6% (w/v) as concentrate solution was higher salt removal efficiency than that of 3% (w/v). Moreover, the results showed that physicochemical properties of the ED-treated soy sauce such as protein, total acid, reducing sugar, sodium and potassium ions as well as pH and total soluble solid were significantly changed ($p < 0.05$) during electrodialysis. Finally, the optimum salt concentration of the ED-treated soy sauce should be 10% (w/v), considering both salt removal efficiency of ED system and physicochemical changes of low-sodium soy sauce obtained.

Key words: Low-sodium / Salt removal / Sodium chloride / Soy sauce

Approved by
.....

สารบัญ

หน้า

จดหมายนำส่งรายงาน	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
บทคัดย่อ.....	ค
Abstract.....	ง
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ระยะเวลาการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะนักศึกษาจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและโครงงานที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 ซอสถั่วเหลือง	4
2.1.2 โซเดียม	4
2.1.3 การแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า	5
บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน.....	8
3.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ (แสดงแผนที่ประกอบ)	8
3.2 ลักษณะการประกอบการผลิตภัณฑ์ และการให้บริการหลักขององค์กร	8
3.3 รูปแบบการจัดองค์การและการบริหารงานองค์กร (แสดงผังการจัดองค์กร).....	10
3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย.....	10
3.5 ชื่อและตำแหน่งงานของพนักงานที่ปรึกษา.....	10

3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน.....	10
3.7 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้.....	10
3.8 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	13
3.8.1 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบใน การกำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลือง.....	13
3.8.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพ ของซอสถั่วเหลืองในระหว่าง กำจัดเกลือโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบ...14	14
3.8.3 การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ.....	15
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	19
4.1 วิเคราะห์ด้านกายภาพ.....	19
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและความต่างศักย์ไฟฟ้าของซอสถั่วเหลือง- โซเดียมต่ำระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า.....	19
4.1.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและปริมาตรของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ ในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า.....	20
4.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า.....	21
4.1.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและค่า water activity ของซอสถั่วเหลือง- โซเดียมต่ำในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า.....	22
4.2 การตรวจสอบทางด้านเคมี.....	23
4.2.1 เวลาที่ใช้ในการผลิตและความเข้มข้นของเกลือที่ได้ของซอสถั่วเหลือง- โซเดียมต่ำ	23
4.2.2 ค่าสีและดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ.....	24
4.2.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ.....	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	26
บรรณานุกรม.....	27

ภาคผนวก.....	30
ประวัติผู้จัดทำ.....	31



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 4.1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและความต่างศักย์ไฟฟ้า(Voltage)	
	ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า	19
รูปที่ 4.2	การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและปริมาตรของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ	
	ในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า	20
รูปที่ 4.3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS)	
	ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า.....	21
รูปที่ 4.4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและค่า water activity (a_w) ของซอสถั่วเหลือง-	
	โซเดียมต่ำในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า	22



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการผลิต (ED time) และความเข้มข้นของเกลือที่ได้ (Actual salt concentration) รวมทั้งสมบัติทางกายภาพบางประการของ ซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ	23
ตารางที่ 4.2 ค่าสีและดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index) ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ.....	24
ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ.....	25



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ซอสถั่วเหลือง (Soy sauce) เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนของถั่วเหลืองหรือส่วนผสมของถั่วเหลืองโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์ หรือการย่อยด้วยสารเคมี โดยอาจมีการปรุงแต่งรสชาติหรือสีด้วยหรือไม่ก็ได้ ข้อกำหนดสำหรับซอสถั่วเหลืองที่ได้จากการย่อยโปรตีนถั่วเหลืองด้วยการหมัก กรณีที่มีได้มีการปรุงแต่งรสหรือสีจะต้องประกอบด้วยโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 ของน้ำหนัก และต้องมีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก หากเป็นชนิดที่มีการปรุงแต่งรสและสี สำหรับซอสถั่วเหลืองที่ได้จากการไฮโดรไลซ์โปรตีนของถั่วเหลืองด้วยสารเคมีต้องมีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนัก นอกจากนี้ต้องมีคุณภาพและมาตรฐานอื่นๆ เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2553)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบและกระบวนการผลิตซอสถั่วเหลือง พบว่าซอสถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง อย่างไรก็ตามซอสถั่วเหลืองก็ประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง) ในปริมาณที่สูงมากเช่นกัน เนื่องจากในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องเติมเกลือร้อยละ 16–20% โดยปริมาตร เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย ทำให้ซอสถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ต้องหลีกเลี่ยงสำหรับผู้บริโภคที่ห่วงใยสุขภาพ เนื่องจากข้อมูลทางการแพทย์พบว่าการบริโภคโซเดียมมากกว่า 2 กรัมต่อวัน (เทียบเท่ากับเกลือแกง 5 กรัมต่อวัน) จะทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูงและเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและโรคหลอดเลือดในสมอง แม้ว่าปัจจุบันนี้จะมีหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและองค์กรอิสระจะพยายามรณรงค์ลดการบริโภคเกลือแล้วก็ตาม แต่จากสถิติที่ผ่านมาพบว่าประชากรส่วนใหญ่ยังคงได้รับโซเดียมโดยการบริโภคเกลือเฉลี่ย 9-12 กรัมต่อวัน ซึ่งคิดเป็น 2 เท่าของค่าสูงสุดที่แนะนำให้บริโภคได้ แนวทางหนึ่งที่บริษัทผู้ผลิตอาหารจะมีส่วนช่วยสนับสนุนนโยบายของภาครัฐได้ คือ การร่วมกันผลิตผลิตภัณฑ์โซเดียมต่ำให้เพิ่มขึ้นในท้องตลาด ดังเช่น ซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำที่ใช้โปแตสเซียมทดแทนโซเดียม อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังคงไม่เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคไต

ด้วยเหตุนี้ บริษัท ไมท์ดี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทหนึ่งที่ทำเนิการธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตเครื่องปรุงรสอาหารชนิดต่าง ๆ จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำเพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ห่วงใยสุขภาพ โดยใช้วิธีแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis) ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่สำคัญความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นระหว่างขั้วแอโนด (Anode) และแคโทด (Cathode) เป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนซึ่งอยู่ในสารละลาย

ผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange membrane) 2 ชนิด ซึ่งวางสลับกันระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองข้างต้น แม้ว่าที่ผ่านมาบริษัทฯ เคยประสบความสำเร็จในการใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้ากำจัดเกลือออกจากน้ำปลาแล้วก็ตาม แต่เนื่องจากประสิทธิภาพของระบบแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า ตลอดจนผลกระทบของกระบวนการที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแยกเกลือออกไปแล้ว ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของเมมเบรนและพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบ (เช่น อัตราการไหล ค่ากระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้า) เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ อีกด้วย ดังนั้นจึงไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าสำหรับผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ ไปใช้กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้โดยตรง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการผลิตซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์/เป้าหมายของโครงการดังระบุในหัวข้อถัดไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบในการกำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลือง
- 2) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพของซอสถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดเกลือโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) ศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลืองโดยใช้เครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบที่เดินระบบที่กระแสไฟฟ้าคงที่ 13 แอมแปร์ และใช้สารละลายเข้มข้น (Concentrate solution) ที่ประกอบด้วยเกลือต่างกัน 2 ความเข้มข้น (3 และ 6 % โดยปริมาตร) จากนั้นติดตามการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าของระบบรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ความเข้มข้นของเกลือ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของซอสถั่วเหลืองที่เวลาต่าง ๆ
- 2) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพของซอสถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดเกลือโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบ จนกระทั่งเหลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 14, 12, 10 และ 9 โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับซอสถั่วเหลืองเริ่มต้นซึ่งประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

1.4 ระยะเวลาการวิจัย

เริ่มวันที่ 15 พฤษภาคม 2560 ถึงวันที่ 25 สิงหาคม 2560

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะบริษัทจะได้รับ

ทางบริษัท ไมท์ดี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด จะสามารถผลิตซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ (Low-salt Soy sauce) โดยใช้เครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบเพื่อจัดจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะนักศึกษาจะได้รับ

- 1) รู้และเข้าใจถึงประสิทธิภาพของเครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบในการกำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลือง
- 2) เข้าใจการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพ ของซอสถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดเกลือโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบ



บทที่ 2

เอกสารและโครงการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ขอสถัวเหลือง

ขอสถัวเหลือง คือผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนถั่วเหลืองหรือส่วนผสมของถั่วเหลือง (Soybean) และแป้งข้าวจ้าว (Wheat flour) โดยการหมักด้วยจุลินทรีย์ หรือการย่อยด้วยสารเคมี อาจมีการปรุงแต่งรสหรือสีด้วยก็ได้ แล้วนำไปผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนระดับการพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization) ก่อนการบรรจุ โดยทั่วไปขอสถัวเหลืองแบ่งตามกรรมวิธีการผลิตเป็น 3 ประเภท คือ 1) ขอสถัวเหลืองชนิดหมัก (Fermented soy sauce) 2) ขอสปรุงรส หรือ ขอสถัวเหลืองเคมี (Chemical soy sauce) และ 3) ขอสถัวเหลืองกึ่งเคมี (Semi-chemical soy sauce) (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2543)

ข้อกำหนดของขอสถัวเหลืองที่ได้จากการย่อยโปรตีนถั่วเหลืองด้วยการหมัก จะต้องประกอบด้วยปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 ของน้ำหนัก (กรณีที่ไม่ได้มีการปรุงแต่งรสหรือสี) และต้องมีปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก (กรณีที่มีการปรุงแต่งรสและสี) สำหรับขอสถัวเหลืองที่ได้จากการย่อยโปรตีนถั่วเหลืองด้วยสารเคมีจะต้องประกอบด้วยปริมาณโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนัก นอกจากนี้ต้องมีคุณภาพและมาตรฐานอื่นๆ เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (2553)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบและกระบวนการผลิตขอสถัวเหลือง พบว่าขอสถัวเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง อย่างไรก็ตามขอสถัวเหลืองก็ประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง) ในปริมาณที่สูงมากเช่นกัน เนื่องจากในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องเติมเกลือร้อยละ 16–20% โดยปริมาตร เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย ทำให้ขอสถัวเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ต้องหลีกเลี่ยงสำหรับผู้บริโภคที่ห่วงใยสุขภาพ

2.1.2 โซเดียม

โซเดียม เป็นเกลือแร่ชนิดหนึ่งที่สำคัญสำหรับร่างกาย ทำหน้าที่ควบคุมการกระจายตัวของน้ำในร่างกาย และส่งผลอย่างมากต่อความดันโลหิต นอกจากนี้ โซเดียมยังมีผลต่อการทำงานของเส้นประสาทและกล้ามเนื้อ รวมทั้งควบคุมการเต้นของหัวใจและชีพจรอีกด้วย อย่างไรก็ตามหากรับประทานโซเดียมเกินความต้องการของร่างกาย จะก่อให้เกิดผลเสียดังนี้

1) ทำให้เกิดการคั่งของเกลือและน้ำในอวัยวะต่าง ๆ โดยเฉพาะในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังและโรคหัวใจ ซึ่งจะทำให้เกิดอาการแขนขาบวม เหนื่อยง่าย แน่นหน้าอก นอนราบไม่ได้และเกิดภาวะหัวใจวายตามมา

2) ทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ คนอ้วน ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังและผู้ป่วยเบาหวาน ส่วนผู้ที่มีโรคความดันโลหิตสูงอยู่แล้ว การกินโซเดียมมากเกินไปจะทำให้ควบคุมความดันได้ยากขึ้น

3) ทำให้เกิดผลเสียต่อไตเนื่องจากไตต้องทำงานหนักมากขึ้น เพื่อเพิ่มการกรองโซเดียมและน้ำส่วนเกินออกจากร่างกาย ผลที่ตามมาคือความดันในหน่วยไตสูงขึ้นและเกิดการรั่วของโปรตีนในปัสสาวะมากขึ้น ทำให้ไตเสื่อมเร็วขึ้นในที่สุด

หลักการสำคัญในการลดปริมาณโซเดียมในร่างกาย ได้แก่ หลีกเลี่ยงการใช้เกลือแกง และผงชูรสในการปรุงอาหาร เลือกใช้เครื่องปรุงที่มีปริมาณโซเดียมต่ำ หรืออาจเลือกรับประทานอาหารที่มีหลายรสชาตินอกเหนือจากรสเค็ม เช่น รสหวาน เปรี้ยวหรือเผ็ด เพื่อช่วยเพิ่มรสชาติอีกทางหนึ่ง และควรหลีกเลี่ยงอาหารประเภทดองเค็ม เช่น ไข่เค็ม ปลาเค็ม ปลาแดดเดียว อาหารหมักดองและอาหารแปรรูปชนิดต่างๆ เช่น ไส้กรอก กุนเชียง นอกจากนี้ควรลดปริมาณการรับประทานน้ำซุปรูปต่างๆ เนื่องจากมักมีปริมาณโซเดียมสูง นอกจากนี้เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมปริมาณโซเดียมในร่างกาย ควรตรวจสอบปริมาณโซเดียมต่อหน่วยบริโภคบนฉลากของอาหารสำเร็จรูปก่อนตัดสินใจซื้อ โดยต้องมีความเข้าใจในเงื่อนไขการกล่าวอ้างทางโภชนาการสำหรับอาหารโซเดียมต่ำ ดังนี้

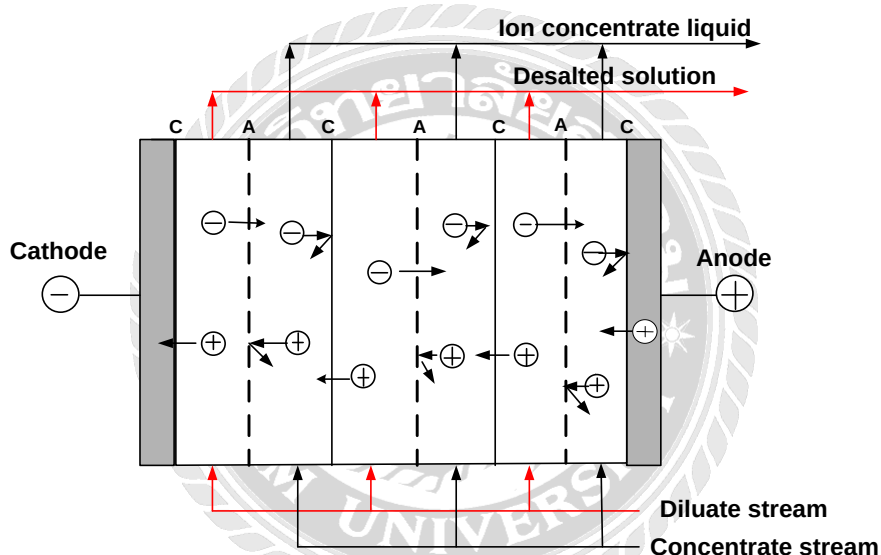
- 1) ผลิตภัณฑ์ปราศจากโซเดียม (ไม่มีโซเดียม) ในอาหาร 100 กรัมหรือ 100 มิลลิลิตร มีปริมาณโซเดียมไม่เกิน 5 มิลลิกรัม
- 2) ผลิตภัณฑ์โซเดียมต่ำมาก ในอาหาร 100 กรัมมีปริมาณโซเดียมไม่เกิน 40 มิลลิกรัม ในอาหาร 100 มิลลิลิตรมีปริมาณโซเดียมไม่เกิน 20 มิลลิกรัม
- 3) ผลิตภัณฑ์โซเดียมต่ำ ในอาหาร 100 กรัมมีปริมาณโซเดียมไม่เกิน 120 มิลลิกรัมในอาหาร 100 มิลลิลิตรต้องมีปริมาณโซเดียมน้อยกว่า 60 มิลลิกรัม
- 4) ผลิตภัณฑ์ลดโซเดียมคือผลิตภัณฑ์ที่ลดปริมาณโซเดียมลงตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไปเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อ้างอิงและปริมาณโซเดียมที่ลดลงจะต้องไม่น้อยกว่า 60 มิลลิกรัม

นอกจากนี้ต้องมีคุณภาพและมาตรฐานอื่นๆ เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข 2553

2.1.3 กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis)

การแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis) เป็นเทคนิคการแยกสารซึ่งอาศัยความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นระหว่างขั้วแอโนด (Anode) และแคโทด (Cathode) เป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการ

แยกสารละลายให้แตกตัวเป็นไอออน และแยกไอออนที่เกิดขึ้นผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange membrane) 2 ชนิด ซึ่งวางสลับกันระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง กระบวนการแยกจะเริ่มจากการป้อนสารละลายเจือจาง (Dilute stream) ซึ่งมีปริมาณไอออนที่ต้องการแยกออกเริ่มต้นสูง และสารละลายเข้มข้น (Concentrate stream) ซึ่งมีปริมาณไอออนที่ต้องการแยกออกเริ่มต้นต่ำเข้าสู่ช่องว่าง (Spacer) ที่อยู่ระหว่างเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนสลับกันดังรูปที่ 1 ไอออนซึ่งมีประจุบวกจะเคลื่อนที่ไปยังแคโทดผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation-exchange membrane, C) และถูกกักไว้โดยเยื่อแลกเปลี่ยนแอนไอออน (Anion-exchange membrane, A) ส่วนไอออนซึ่งมีประจุลบจะเคลื่อนที่ไปหาแอโนดผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนแอนไอออน และถูกกักไว้โดยเยื่อแลกเปลี่ยนแคตไอออน เป็นผลให้ความเข้มข้นของไอออนสูงขึ้นและต่ำลงสลับกันไปในแต่ละช่อง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 2.1 หลักการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis)

ในอดีตกระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าจะเคยถูกนำมาใช้กำจัดเกลือชนิดต่าง ๆ ออกจากผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หลายชนิด เช่น กำจัดเกลือแร่ออกจากเวย์โปรตีน (Johnson และคณะ, 1976; Lonergan และคณะ, 1982; Perez และคณะ, 1993) กำจัดเกลือออกจากน้ำเกลือที่ใช้ดองเห็ดฟริก (Pan และคณะ, 1988) กำจัดเกลือออกจากไข่ขาวหมัก (Huang และคณะ (1999) กำจัดเกลือออกจากน้ำดื่มหอยแมลงภู่ (Cros และคณะ, 2004; Cros และคณะ, 2005) การกำจัดเกลือออกจากน้ำหอยหมัก (Thang, 2005) กำจัดเกลือออกจากน้ำซุปรสผลไม้ (Atungulu, 2007) ตลอดจนกำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลือง (Fidaleo และคณะ, 2012) และน้ำปลา (Chindapan และคณะ, 2009; Chindapan และคณะ, 2011) แต่เนื่องจากประสิทธิภาพของระบบแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า

ตลอดจนผลกระทบของกระบวนการที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแยกเกลือออกไปแล้ว ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของเมมเบรนและพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบ (เช่น อัตราการไหล ค่ากระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้า) เท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ อีกด้วย ดังนั้นจึงไม่สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าสำหรับผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ ไปใช้กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้โดยตรง

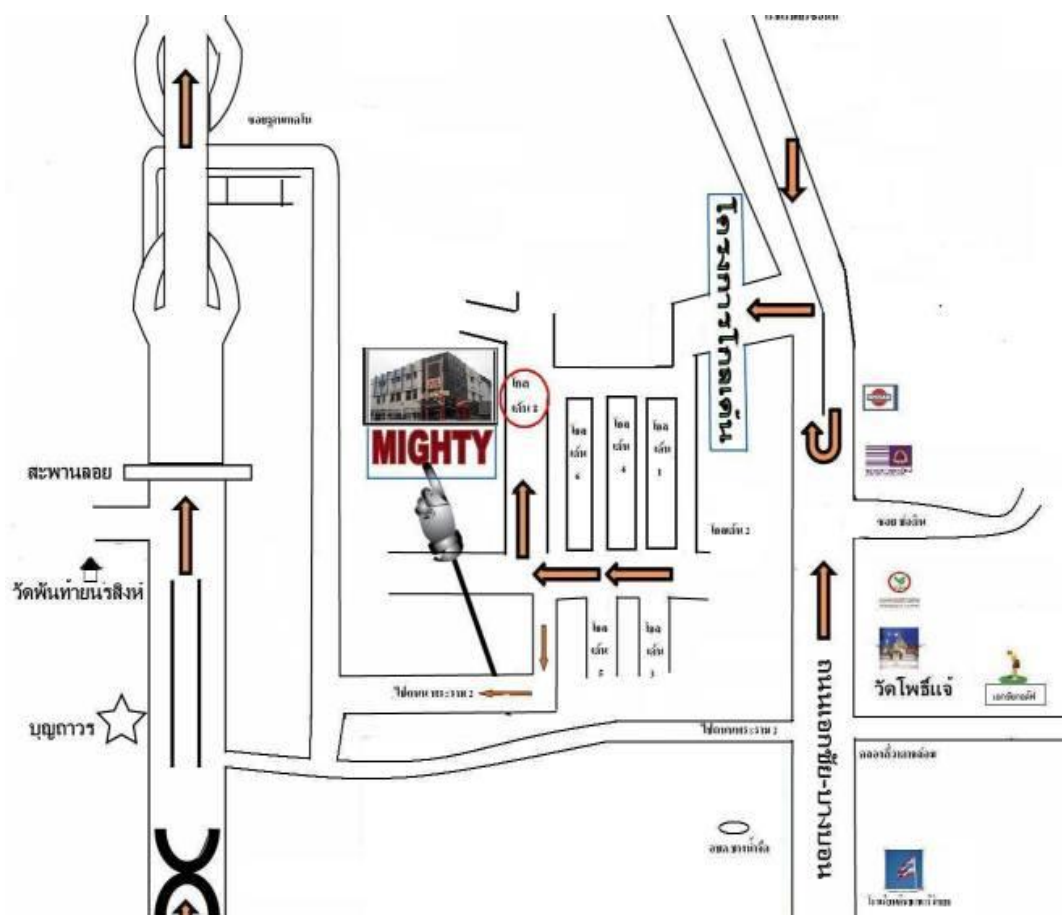


บทที่ 3

รายละเอียดการปฏิบัติงาน

3.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ (แสดงแผนที่ประกอบ)

บริษัท ไมท์ตี้ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด เลขที่ 35/151 โครงการโกลเด้นแฟคตอรี ถนนเอกชัย ต.บางน้ำจืด อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000



รูปที่ 3.1 แผนที่บริษัท ไมท์ตี้ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

3.2 ลักษณะการประกอบกิจการและการให้บริการหลักขององค์กร

บริษัท ไมท์ตี้ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารและวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยผลิตเครื่องปรุงรสอาหารชนิดแห้ง ผลิตภัณฑ์อบแห้งจากกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อน (Air dry) การอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dry) และการอบแห้งแบบพ่นฝอย

(Spray dry) ผลิตภัณฑ์ Dried mix ชนิดต่างๆ นอกจากนี้บริษัทฯ ยังรับเป็นผู้บรรจุหีบห่ออาหาร (Packing), Outsource และ Subcontractor ในผลิตภัณฑ์ประเภท Butter Oil Substitute, Bakery Ingredients, Cultures and Probiotics, Dairy-based Ingredients, Flavors and Flavor Enhancers, Gelatins and Collagen Peptides, Health and Supplementary Ingredients, Herb and Plant Extracts การดำเนินงานของบริษัทเป็นการผลิตตามใบสั่งซื้อเฉพาะของลูกค้า ภายใต้ลิขสิทธิ์เฉพาะของลูกค้า รวมทั้งภายใต้ตราสินค้าของบริษัทฯ เพื่อขายในประเทศและต่างประเทศซึ่งบริษัทฯ ประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดีและได้รับความน่าเชื่อถือจากลูกค้ามาโดยตลอด

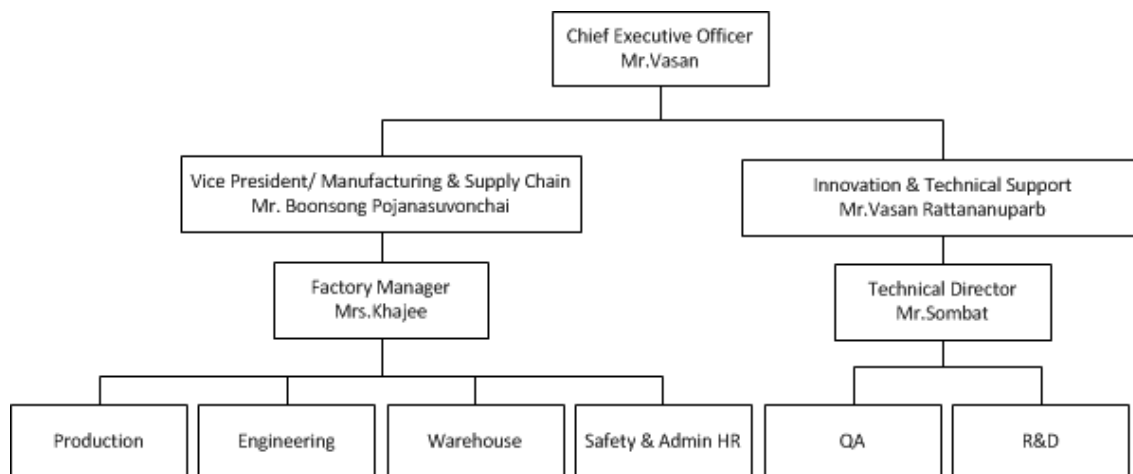
บริษัท ไมท์ตี้ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ได้รับการรับรองคุณภาพจากมาตรฐานที่สำคัญ อาทิเช่น GMP (Good Manufacturing Practice), HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point), ISO 9001:2008, HALAL, FSSC 22000:2010 (Food Safety System Certification) และ Pas 220



รูปที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์ของบริษัท ไมท์ตี้ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

3.3 รูปแบบการจัดองค์กรและการบริหารงานองค์กร (แสดงผังการจัดองค์กร)

บริษัท ไมท์ดี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด ได้ก่อตั้งขึ้นในวันที่ 19 ตุลาคม 2532 บนเนื้อที่ 5.9 ไร่ มีพนักงานทั้งสิ้นประมาณ 98 คน มีวันทำงานจันทร์-เสาร์ หยุดวันอาทิตย์ (ทำงาน 6 วัน:สัปดาห์ เฉลี่ยวันละ 8 ชม.)



รูปที่ 3.3 ผังการจัดองค์กรของบริษัท ไมท์ดี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด

3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย

นักศึกษาฝึกสหกิจแผนกพัฒนาผลิตภัณฑ์ งานที่ได้รับมอบหมาย คือ ศึกษาการผลิตขอสถ์หล่อโซเดียมต่ำ โดยนำขอสถ์หล่อซึ่งประกอบด้วยเกลือประมาณร้อยละ 20 มากำจัดเกลือออกโดยเครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis) เพื่อจำหน่ายให้ผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพหรือผู้ป่วยที่จำเป็นต้องควบคุมปริมาณเกลือ (โซเดียม)

3.5 พนักงานที่ปรึกษา

คุณปริญญา ขำเลิศ ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่ฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์

3.6 ระยะเวลาปฏิบัติงาน

15 พฤษภาคม 2560 ถึง 25 สิงหาคม 2560

3.7 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

วัสดุ-อุปกรณ์

1. บิวเรต (Burette)

2. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50, 100, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
3. กระบอกตวง (Graduated cylinder) ขนาด 50, 100 และ 500 มิลลิลิตร
4. ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100, 250, 600 และ 1000 มิลลิลิตร
5. ขวดรูปชมพู่ (Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. หลอดทดลอง (Test tube)
7. ที่ใส่หลอดทดลอง (Rack)
8. ขวดดุกรานสีชา (Duran bottle amber) ขนาด 500 มิลลิลิตร
9. ขวดดุกราน (Duran bottle) ขนาด 500 มิลลิลิตร
10. ลูกยางดูดปิเปตต์ (Rubber bulb)
11. Glass Cuvette
12. ช้อนตักสาร (Spatula)
13. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
14. หลอดหยดสาร (Dropper tube)
15. กระบอกน้ำกลั่น (Wash bottle)
16. ปิเปต (Pipet) ขนาด 1, 5, 10 และ 25 มิลลิลิตร
17. ขาตั้ง (Base and Stand)
18. แคลมป์จับ (Clamp)

สารเคมี

1. Nitric acid (HNO_3)
2. Ammonium thiocyanate (NH_4SCN)
3. Silver nitrate (AgNO_3)
4. Ammonium ferric sulphate ($\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)
5. Sodium hydroxide (NaOH)
6. Hydrochloric acid (HCl)
7. Sulfuric acid (H_2SO_4)
8. Boric acid (H_3BO_3)
9. 3,5-Dinitrosalicylic acid ($\text{C}_7\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_7$)
10. Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)
11. Sodium potassium tartrate ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

12. Sodium bisulphite
13. Phenol
14. Methyl red
15. Methyl blue

เครื่องมือ

1. เครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับ
โรงงานต้นแบบ
 - 1.1. เซลล์แยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า
จำนวน 41 คู่เซลล์ โดยมีพื้นที่
แลกเปลี่ยนไอออนทั้งหมด 8 ตาราง
เมตร ประกอบด้วย
 - เยื่อแลกเปลี่ยนแคทไอออน ชนิด PC-MT จำนวน 42 แผ่น
 - เยื่อแลกเปลี่ยนแอนไอออน ชนิด PC-WT จำนวน 41 แผ่น
 - ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วไทเทเนียมเคลือบด้วยแพลทินัม (Pt-coated titanium)
 - 1.2. ปุ่มสำหรับสารละลายเข้มข้น ยี่ห้อ Inoxpa รุ่น EFI-2003 เมือง Banyoles ประเทศ สเปน ขนาดกำลัง 0.37 กิโลวัตต์
 - 1.3. ปุ่มสำหรับสารละลายเจือจาง ยี่ห้อ Inoxpa รุ่น EFI-2003 เมือง Banyoles ประเทศ สเปน ขนาดกำลัง 0.37 กิโลวัตต์
 - 1.4. ปุ่มสำหรับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ยี่ห้อ Sanso รุ่น PMD-1531 เมือง Himeji ประเทศ ญี่ปุ่น ขนาดกำลัง 0.25 กิโลวัตต์
 - 1.5. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ยี่ห้อ East รุ่น WYK-6020 เมือง Guangdong ประเทศจีน ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด 60 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 20 แอมแปร์

2. เครื่องวัดสี (Colorimeter) Hunterlab ยี่ห้อ Color Flex รุ่น 45/0 ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Water activity) ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น Series 3 TE ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน ประกอบด้วย
 - เครื่องย่อย SpeedDigester ยี่ห้อ Buchi รุ่น K-436 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
 - เครื่องดักไอรอด ยี่ห้อ Buchi รุ่น K-415 เมือง Flawil ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
 - เครื่องกลั่น Distillation Unit ยี่ห้อ Buchi รุ่น K-314 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
5. เตาให้ความร้อน (Hot plate) ยี่ห้อ Ika รุ่น C-MAG HS7 ประเทศไทย
6. เครื่อง Vortex mixer ยี่ห้อ Wisemix รุ่น VM-10 ประเทศเกาหลี
7. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น Schutzart ประเทศเยอรมัน
8. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Metter รุ่น AE-200 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
9. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Metter รุ่น ML3002 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
10. pH meter ยี่ห้อ Eutech Instruments รุ่น 12-CHM-3206 ประเทศมาเลเซีย
11. Spectrophotometer ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น Genesys 20 ประเทศสหรัฐอเมริกา
12. Refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น S-28 เมือง Tokyo ประเทศญี่ปุ่น

3.8 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.8.1 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบในการกำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลือง

บรรจุสารละลายโซเดียมคลอไรด์ จำนวน 40 ลิตร (แปรความเข้มข้นเป็นร้อยละ 3 และ 6 ตามลำดับ) ลงในถังสารละลายเข้มข้น (Concentrate tank) และบรรจุซอสถั่วเหลืองจำนวน 40 ลิตร ลงในถังสารละลายเจือจาง (Dilute tank) ในส่วนของถังบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเติมด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.25 โมลต่อลิตรซึ่งถูกปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยกรดซัลฟิวริกจนมี pH เท่ากับ 2.5 จำนวน 40 ลิตร จากนั้นเปิดปั๊มเพื่อดูดสารละลายทั้ง 3 ชนิด ผ่านเซลล์แยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าและหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังประมาณ 1 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศ ศึกษาอัตราการกำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลืองโดยควบคุมการทำงานแบบจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ ที่ระดับร้อยละ 80 ของกระแสสูงสุดที่ระบบรับได้ จากนั้นบันทึกความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมระบบและปริมาตรของซอสถั่วเหลืองทุกๆ 15 นาที

นอกจากนี้ระหว่างการทำทดลองจะทำการสุ่มตัวอย่างซอสถั่วเหลืองออกมาจากระบบทุก ๆ 30 นาที เพื่อนำมาวัดปริมาณต่าง ๆ ดังนี้

- (1) ปริมาณเกลือ โดยใช้วิธี Volhard method (AOAC, 2000)
- (2) ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดโดยใช้ Hand-held refractometer
- (3) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี โดยใช้ Water activity meter

หลังจากทำการทดลองเสร็จจะล้างระบบด้วยวิธีการทำความสะอาดภายใน (Clean-in-Place) ตามวิธีการของ เจนวิทย์ จันดี (2554)

3.8.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพ ของซอสถั่วเหลืองในระหว่างกำจัดเกลือโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบ

นำซอสถั่วเหลืองจำนวน 40 ลิตร มากำจัดเกลือที่ระดับร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของปริมาณเกลือเริ่มต้น โดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบ (ที่เดินเครื่องด้วยระบบที่ให้ประสิทธิภาพการแยกสูงสุดโดยพิจารณาจากผลการทดลองในข้อ 3.8.1) จากนั้นนำซอสถั่วเหลืองซึ่งผ่านกระบวนการแล้วไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ดังนี้

- (1) ปริมาณเกลือโดยใช้วิธี Volhard method (AOAC, 2000)
- (2) ความเข้มข้นของโซเดียมและโปแตสเซียมไอออน โดยใช้เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AOAC, 2000)
- (3) ค่าสีโดยใช้ Colorimeter

- (4) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH meter
- (4) ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดโดยใช้ Hand-held refractometer
- (5) ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) โดยใช้ Titration method (AOAC, 2000)
- (6) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) โดยใช้ DNS method (Miller, 1959)
- (7) ปริมาณไนโตรเจนและโปรตีน โดยใช้วิธี Kjeldahl method (AOAC, 2000)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) และทำการทดลองอย่างน้อย 2 ซ้ำ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range tests ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS 16.0 for Windows®

3.8.3 การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

- (1) ปริมาณเกลือโดยใช้วิธี Volhard method (AOAC, 2000)

เจือจางซอสถั่วเหลืองด้วยน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:2 เท้า จากนั้นปิเปตซอสถั่วเหลืองเจือจางปริมาตร 1 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml เติม 0.1 M Silver nitrate ปริมาตร 25 ml จากนั้นเติม conc. Nitric acid ปริมาตร 10 ml นำไปต้มบน Hot plate เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นและเติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 ml เติม Ferric indicator ปริมาตร 5 ml นำมาไตเตรตกับ 0.1 M Ammonium Thiocyanate จนได้สีน้ำตาลอ่อนถาวร จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณเกลือ

$$\text{สูตรคำนวณหาปริมาณเกลือ} = \frac{(\text{Blank} - \text{ตัวอย่าง}) \times 0.1 \times 0.0585 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

- (2) การวัดค่าสีด้วย Colorimeter

นำตัวอย่างซอสถั่วเหลืองมาวัดตามระบบ CIE L^*, a^*, b^* โดยใช้เครื่องวัดสี (ยี่ห้อ Color Flex รุ่น 45/0 ประเทศสหรัฐอเมริกา) เติมซอสถั่วเหลืองลงในแก้วสำหรับใส่ตัวอย่าง ที่มีขนาด 1 นิ้ว เป็นตัวกำหนดความสูงของตัวอย่าง ปิดทับด้วยแผ่นเซรามิกสีขาว จากนั้นวางตัวอย่างลงบนแท่นวางของเครื่องวัดสี ปิดทับด้วยฝาครอบดำสนิท วัดค่าสีของตัวอย่าง โดยเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่ D65 บันทึกค่าสีในเทอมของ L^*, a^* และ b^* (โดยที่ ค่า L^* แสดงค่าความสว่างของสีซึ่งมีค่า 0-100 ที่ 0 แสดงถึงสีดำ และที่ 100 แสดงถึงสีขาว, $\pm a^*$ คือค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว และ $\pm b^*$ คือค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน)

สูตรการคำนวณค่าสี

$$\Delta E^* = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (1)$$

$$C^* (\text{Chroma}) = \frac{(a^*)^2 + (b^*)^2}{2} \quad (2)$$

$$\text{Hue angle} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (3)$$

$$\text{BI (Browning Index)} = \frac{(100 \times (X - 0.31))}{0.172} \quad (4)$$

กำหนดให้

L = ค่า L* ที่อ่านได้จาก Colorimeter ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ

L₀ = ค่า L* ที่อ่านได้จาก Colorimeter ของซอสถั่วเหลืองดั้งต้น

a = ค่า a* ที่อ่านได้จาก Colorimeter ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ

a₀ = ค่า a* ที่อ่านได้จาก Colorimeter ของซอสถั่วเหลืองดั้งต้น

b = ค่า b* ที่อ่านได้จาก Colorimeter ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ

b₀ = ค่า b* ที่อ่านได้จาก Colorimeter ของซอสถั่วเหลืองดั้งต้น

$$X = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)}$$

(3) ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) โดยใช้ Titration method (AOAC, 2000)

เจือจางซอสถั่วเหลืองโดยปิเปตซอสถั่วเหลืองปริมาตร 10 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นวัดค่า pH และบันทึก pH เริ่มต้น นำไปไทเทรตกับ 0.1 N โซเดียมไฮดรอกไซด์จนได้จุดยุติที่ pH 8.2 ± 1 นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณกรด

สูตรการหาปริมาณกรดในอาหาร

$$\text{Lactic acid (g/10ml)} = \frac{N \times V_1 \times \text{Eq.wt}}{V_2 \times 1000} \times 100 \times \text{Dilution Factor}$$

กำหนดให้

N = normality ของ โซเดียมไฮดรอกไซด์

V₁ = ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต

V₂ = ปริมาตรตัวอย่าง

Eq.wt = น้ำหนักโมเลกุลหารอัตราส่วนจำนวนโมล NaOH ต่อกรดในอาหาร(กรดแลคติก = 90)

Dilution Factor = อัตราส่วนที่เจือจางตัวอย่าง (เจือจาง 1:10 = 10)

(4) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) โดยใช้ DNS method (Miller, 1959)

ปิเปตซอสถั่วเหลืองปริมาตร 1 ml นำมาปรับปริมาตรเป็น 10 ml ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปิเปตซอสถั่วเหลืองซึ่งเจือจางแล้วปริมาตร 3 ml ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DNS Reagent ปริมาตร 1 ml ปิดฝาและนำไปเขย่าด้วยเครื่อง Vortex mixer จากนั้นนำไปต้มที่ 90°C เป็นเวลา 15 นาที (เกิดสีน้ำตาลแดง Red-Brown Color) ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติม 40% Potassium tartrate ปริมาตร 1 ml เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 575 nm และคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ในซอสถั่วเหลืองโดยใช้กราฟมาตรฐาน

สูตรการคำนวณหาความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์

$$y = ax$$

กำหนดให้

$$\begin{aligned} y &= \text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 575 nm} \\ a &= \text{ค่าความชันของกราฟมาตรฐาน} \\ x &= \text{ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์} \end{aligned}$$

(5) ปริมาณไนโตรเจนและโปรตีน โดยใช้วิธี Kjeldahl method (AOAC, 2000)

- ขั้นตอนการย่อย

ปิเปตซอสถั่วเหลืองปริมาตร 1 ml ลงใน Kjeldahl tube เติมสารเร่งปฏิกิริยา (Kjeltabs Cu 3.5) 1 เม็ด ใส่ Glass bead 2-3 เม็ด เพื่อป้องกันการเดือดรุนแรงระหว่างการย่อย จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 25 ml นำไปย่อยโปรตีนด้วยเครื่องย่อยยี่ห้อ Buchi SpeedDigester รุ่น K-436 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ย่อยจนกระทั่งตัวอย่างเป็นสารละลายสีเขียวใส (ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง)

- ขั้นตอนการกลั่น

นำตัวอย่างที่ย่อยเสร็จมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 ml จากนั้นนำหลอดย่อยต่อเข้าเครื่องกลั่น Buchi Didtillation Unit รุ่น K-314 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% w/v จนกลายเป็นสีดำเตรียมขวดรูปชมพู่ที่มีกรดบอริก 4% ปริมาตร 50 ml ซึ่งเติม Methyl red – methyl blue 2-3 หยด เพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นกลั่นตัวอย่างจนสารละลายในขวดรูปชมพู่มีปริมาตร 200 ml นำมาไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น

0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสีชมพู(ม่วงอ่อน) แล้วนำค่าที่ได้
คำนวณหาปริมาณโปรตีน

สูตรคำนวณหาปริมาณโปรตีนในอาหาร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} &= \frac{(A-B) \times N \times 1.4}{\text{ปริมาตรของตัวอย่าง}} \\ \text{ปริมาณโปรตีน (\%)} &= \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} \times 6.25 \end{aligned}$$

กำหนดให้

$$\begin{aligned} A &= \text{ปริมาตร (ml) ของกรดที่ไตเตรตกับตัวอย่าง} \\ B &= \text{ปริมาตร (ml) ของกรดที่ไตเตรตกับ Blank} \\ N &= \text{normality ของกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน} \end{aligned}$$

(6) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH meter

เทซอสถ้วเหลียงลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml ปริมาตร 20 ml จากนั้นนำไปวัดค่า pH
ด้วยเครื่อง pH meter ยี่ห้อ Eutech Instruments รุ่น 12-CHM-3206 ประเทศ
มาเลเซีย บันทึกค่า pH ของซอสถ้วเหลียง

(7) การวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ โดยใช้ Water activity meter

เทซอสถ้วเหลียงลงในกล่องใส่ตัวอย่างให้เต็มพื้นที่หน้าตัด (วงกลม) จากนั้นนำ
ตัวอย่างไปวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ ด้วยเครื่องวัดวอเตอร์แอกทิวิตี้ ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น
Series 3 TE ประเทศ สหรัฐอเมริกา

(8) ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดโดยใช้ Hand-held refractometer

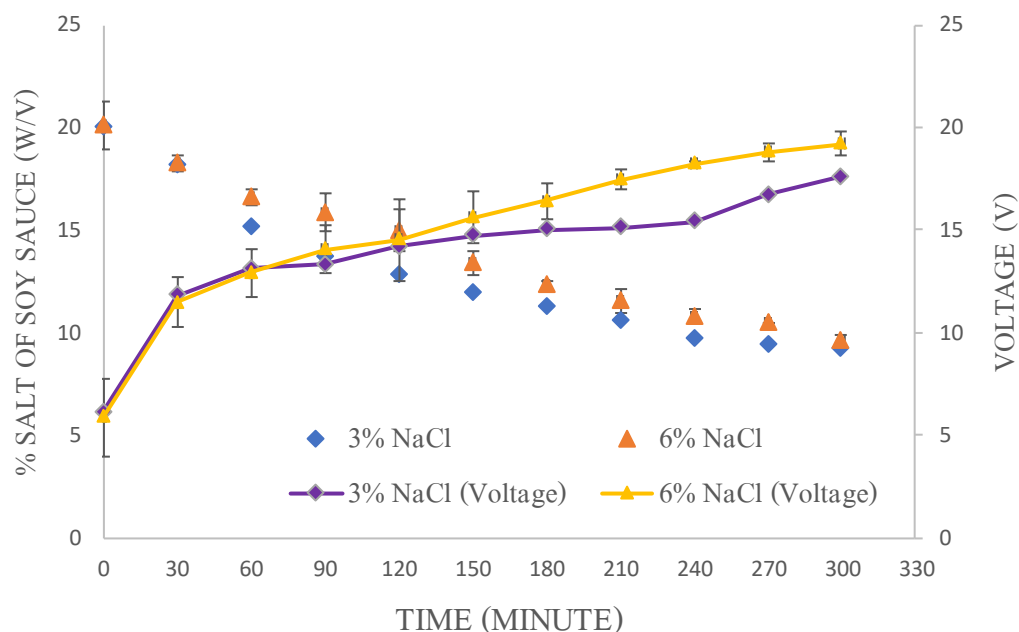
หยดซอสถ้วเหลียงตัวอย่าง 1-2 หยด ลงบนที่ใส่ตัวอย่าง ปิดทับด้วยที่ปิดตัวอย่าง
ของ Hand-held refractometer จากนั้นอ่านค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด
และจดบันทึก

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

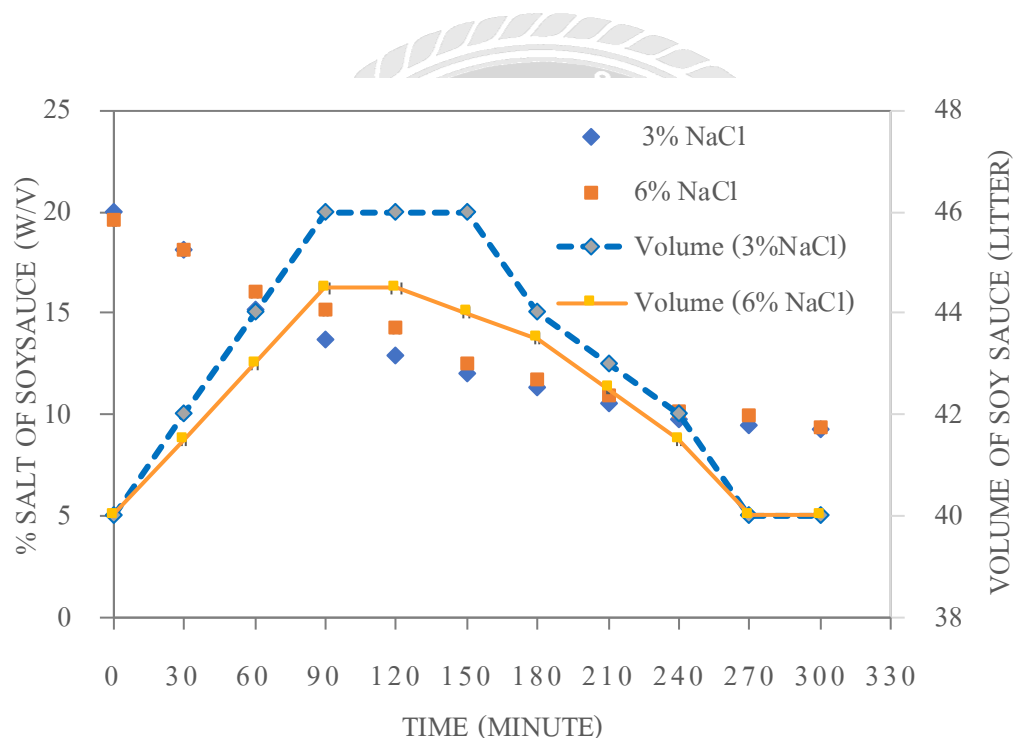
4.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบในการกำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลือง

จากผลการทดลองแยกเกลือออกจากซอสถั่วเหลืองซึ่งประกอบด้วยเกลือ (โซเดียมคลอไรด์) เริ่มต้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 40 ลิตร โดยใช้เครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าซึ่งใช้ concentrate เป็นสารละลายโซเดียมคลอไรด์เริ่มต้นที่ร้อยละ 3 และ 6 และจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ 13 แอมแปร์ เป็นเวลา 300 นาที จากนั้นติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ (voltage) ที่ตกคร่อมระบบ รวมทั้งความเข้มข้นของเกลือ (Salt concentration) ปริมาตร (Volume) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) และค่า water activity (a_w) ของซอสถั่วเหลือง (ซึ่งเรียกว่า Diluate) ได้ดังรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและความต่างศักย์ไฟฟ้า(Voltage) ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า

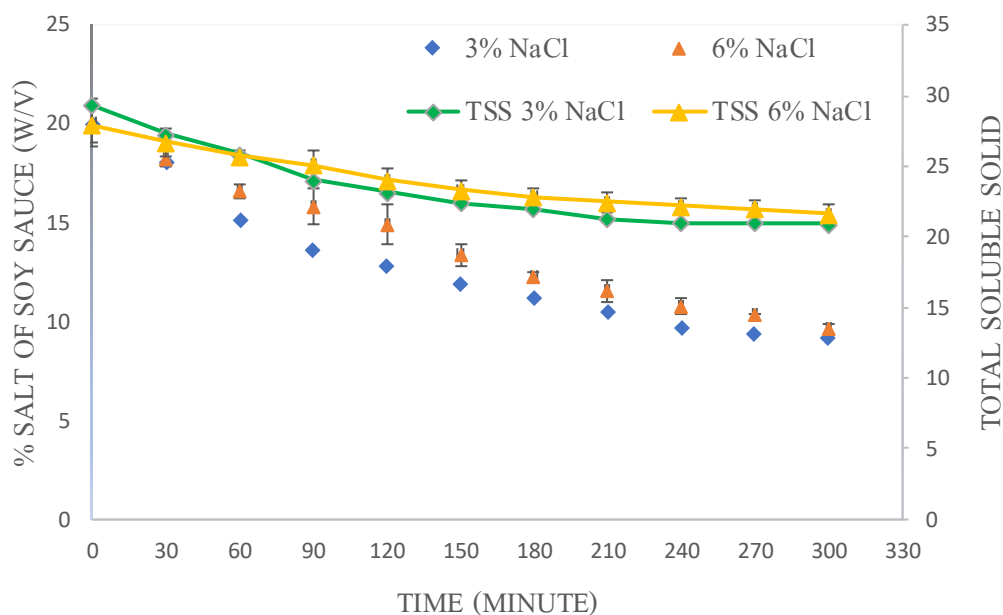
จากรูปที่ 4.1 พบว่าปริมาณเกลือในซอสถั่วเหลืองลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า เนื่องจากโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนจะเคลื่อนที่ออกจากซอสถั่วเหลืองผ่านเมมเบรนได้โดยอาศัยแรงขับ (driving force) ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าแอโนด (anode) และ แคโทด (cathode) อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ 3% NaCl เป็น concentrate ทำให้ความเข้มข้นของเกลือในซอสถั่วเหลืองลดลงได้เร็วกว่าการใช้ 6% NaCl เป็น concentrate เล็กน้อย แม้ว่าระบบที่ใช้ 6% NaCl เป็น concentrate จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความต่างศักย์ไฟฟ้ามากกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะการลดลงของความเข้มข้นของเกลือในซอสถั่วเหลืองมิได้เกิดขึ้นโดยการแยกโซเดียมไอออนออกจากซอสถั่วเหลืองเนื่องจากแรงขับของกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลจากการเจือจางด้วยโมเลกุลของน้ำที่เคลื่อนที่เข้ามาในซอสถั่วเหลืองเนื่องจาก osmotic pressure ด้วย



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและปริมาตรของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า

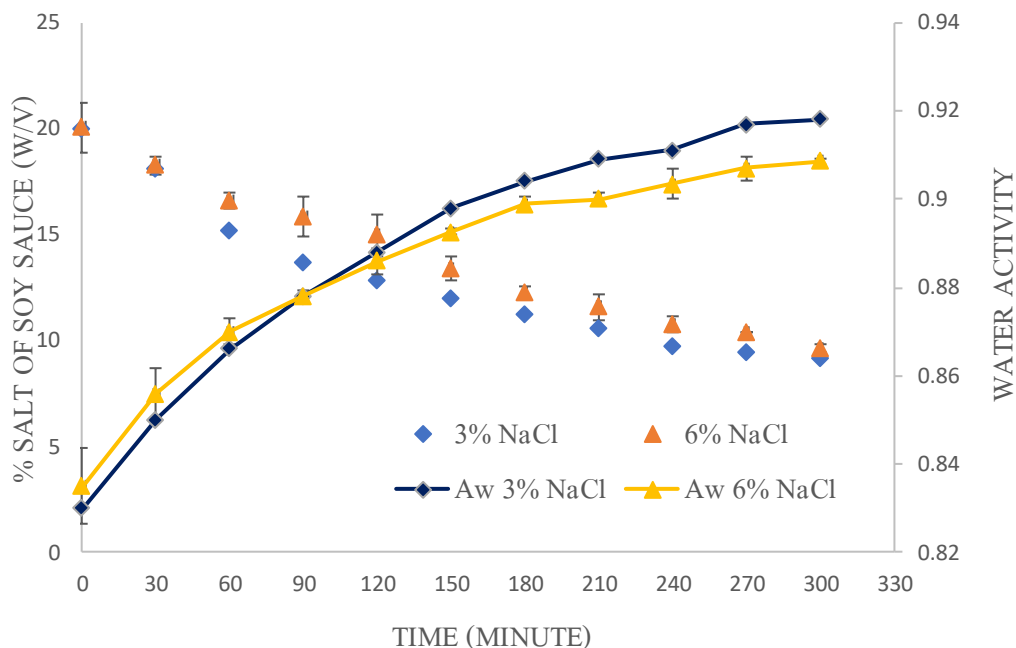
จากรูปที่ 4.2 พบว่าปริมาณเกลือในซอสถั่วเหลืองลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการใช้ 3% NaCl เป็น concentrate ส่งผลให้ความเข้มข้นของเกลือในซอสถั่วเหลืองมีอัตราการลดลงได้เร็วกว่าการใช้ 6% NaCl เป็น concentrate เล็กน้อย และเมื่อพิจารณาปริมาตรของซอสถั่วเหลืองใน diluate tank พบว่าในช่วง 90 นาทีแรก ปริมาตรของซอสถั่ว

เหลือจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เพราะมีการไหลของน้ำจากช่อง concentrate เข้าสู่ช่อง diluate เนื่องจาก osmotic pressure อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นว่ากระบวนการซึ่งใช้ 6% NaCl เป็น concentrate ทำให้ปริมาตรของซอสถั่วเหลือง (diluate) เพิ่มขึ้นน้อยกว่ากระบวนการซึ่งใช้ 3% NaCl เป็น concentrate ทั้งนี้เป็นเพราะแรงดันออสโมติกในช่อง concentrate ของกระบวนการที่ใช้ 6% NaCl เป็น concentrate มีค่าต่ำกว่าการใช้ 3% NaCl เป็น concentrate



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.3 พบว่าขณะที่ปริมาณเกลือในซอสถั่วเหลืองลดลงในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าส่งผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ของซอสถั่วเหลืองลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการที่ใช้ 3% NaCl และ 6% NaCl เป็น concentrate พบว่ากระบวนการที่ใช้ 6% NaCl เป็น concentrate มีอัตราการลดลงของปริมาณ TSS น้อยกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการลดลงของปริมาณน้ำเนื่องจากกระบวนการออสโมซิสเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการที่ใช้ 3% NaCl เป็น concentrate



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือและค่า water activity (a_w) ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.4 พบว่าขณะที่ความเข้มข้นของเกลือในซอสถั่วเหลืองลดลงระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า ส่งผลทำให้ค่า water activity ของซอสถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามหลังจากกระบวนการแยกผ่านไป 90 นาที พบว่าค่า water activity ของซอสถั่วเหลืองที่ใช้ 6% NaCl เป็น concentrate ต่ำกว่าซอสถั่วเหลืองที่ใช้ 3% NaCl เป็น concentrate ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ TSS ของซอสถั่วเหลืองที่ได้จากการใช้ 6% NaCl เป็น concentrate มีค่าสูงกว่าซอสถั่วเหลืองที่ได้จากการใช้ 3% NaCl เป็น concentrate

4.2 ผลศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพ ของซอสถั่วเหลืองในระหว่างกำจัดเกลือ โดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบ

จากผลการทดลองแยกเกลือออกจากซอสถั่วเหลืองซึ่งประกอบด้วยเกลือเริ่มต้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 40 ลิตร โดยใช้เครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าซึ่งใช้ Concentrate เป็นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 6 และจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ 13 แอมแปร์ เพื่อให้ได้ซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำซึ่งประกอบด้วยเกลือร้อยละ 14, 12, 10 และ 9 โดยปริมาตรตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำแสดง ดังตารางที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการผลิต (ED time) และความเข้มข้นของเกลือที่ได้ (Actual salt concentration) รวมทั้งสมบัติทางกายภาพบางประการของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ

Targeted salt concentration	ED Time (Minute)	Actual salt concentration (%w/v)	pH	TSS
CS*	-	10.004 ± 0.08	3.94 ± 0.007	31.0 ± 0.21
20% salt	0	19.72 ± 0.68 ^a	4.14 ± 0.02 ^c	27.9 ± 1.27 ^a
14% salt	150	13.38 ± 0.55 ^b	4.27 ± 0.01 ^b	23.3 ± 0.71 ^b
12% salt	210	11.56 ± 0.58 ^c	4.39 ± 0.01 ^a	22.5 ± 0.71 ^b
10% salt	270	10.41 ± 0.00 ^{cd}	4.43 ± 0.04 ^a	22.0 ± 0.56 ^b
9% salt	300	9.63 ± 0.22 ^d	4.46 ± 0.01 ^a	21.7 ± 0.63 ^b

* CS คือ ซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำทางการค้า

จากตารางที่ 4.1 พบว่าสมบัติทางกายภาพของซอสถั่วเหลืองเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า โดยพบว่าการลดลงของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระหว่างกระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า ส่งผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ในซอสถั่วเหลืองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในทางตรงกันข้ามกลับทำให้ pH ของซอสถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าไม่เพียงกำจัดเกลือหรือโซเดียมคลอไรด์ออกจากซอสถั่วเหลืองเท่านั้น แต่อาจทำให้มีการสูญเสียกรดอินทรีย์บางชนิดได้ด้วย

ตารางที่ 4.2 ค่าสีและดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index) ของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ

Targeted salt concentration (%w/v)	Color value				Chroma	Hue angle	Browning Index
	L*	a*	b*	ΔE^*	C*		
CS*	9.73±0.01	3.21±0.09	-1.96±0.13	-	-	-	-
20	9.60±0.01	3.25±0.01	-1.79±0.65	-	6.17	-22.26	9.42
14	10.02±0.43	3.45±0.35	-1.44±0.09	0.58	6.98	-22.65	9.30
12	9.82±0.75	3.59±0.71	-1.78±0.17	0.41	8.03	-26.37	7.56
10	9.74±0.74	3.34±0.57	-1.68±0.08	0.20	6.99	-26.70	6.98
9	9.91±0.55	3.04±0.43	-1.66±0.19	0.39	5.99	-28.64	5.23

*CS คือ ซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำทางการค้า

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสีของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำเปรียบเทียบกับซอสถั่วเหลืองซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบ (20% salt) พบว่าค่าสีได้แก่ L*, a* และ b* ของซอสถั่วเหลืองเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อผ่านกระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า

โดยพบว่าซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำซึ่งประกอบด้วยเกลือร้อยละ 14 มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม (ΔE^*) สูงที่สุด จากนั้นค่า ΔE^* มีแนวโน้มลดลงแม้ว่าความเข้มข้นของเกลือในซอสถั่วเหลืองยังคงลดต่ำลงจาก 14 % เป็น 10 % นอกจากนี้พบว่าค่า ΔE^* จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อซอสถั่วเหลืองมีความเข้มข้นของเกลือเหลือ 9% โดยสังเกตเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของค่า ΔE^* เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของทั้งค่า L* a* และ b* ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำ

Targeted salt concentration	Ion concentration		Protein Content (g/100ml)	Total acidity (g/100ml)	Reducing Sugar (g/100ml)
	Na ⁺ g/kg	K ⁺ g/kg			
CS*	29.81±0.76	3.21±0.08	9.36 ± 0.25	21.2 ± 0.09	0.42 ± 0.00
20% salt	70.78±13.28	1.75±0.18	7.22 ± 0.12 ^a	11.5 ± 0.15 ^a	0.35 ± 0.01 ^c
14% salt	36.16±2.47	0.89±0.01	4.88 ± 0.09 ^c	8.8 ± 0.22 ^b	0.45 ± 0.00 ^b
12% salt	32.31±2.87	0.73±0.01	5.12 ± 0.22 ^{bc}	8.7 ± 0.23 ^b	0.46 ± 0.00 ^b
10% salt	28.98±2.56	0.64±0.00	5.34 ± 0.06 ^b	8.6 ± 0.32 ^b	0.47 ± 0.00 ^b
9% salt	29.81±1.55	0.62±0.01	5.43 ± 0.06 ^b	8.5 ± 0.32 ^b	0.48 ± 0.01 ^a

* CS คือ ซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำทางการค้า

จากตารางที่ 4.3 พบว่าการลดลงของปริมาณเกลือ (โซเดียมคลอไรด์) โดยการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า ส่งผลทำให้มีปริมาณโปรตีนและปริมาณกรดทั้งหมดในซอสถั่วเหลืองมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในซอสถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้น การลดลงของปริมาณโปรตีนและกรดสามารถเกิดจากการเจือจางด้วยน้ำเนื่องจากกระบวนการออสโมซิส นอกจากนี้ยังอาจมีการสูญเสียกรดอะมิโนและกรดอินทรีย์ขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านเยื่อเมมเบรนได้โดยอาศัยแรงขับ (driving force) ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้า เช่นเดียวกับไอออนของโซเดียมและคลอไรด์ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าระหว่างกระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า อาจมีโปรตีนบางส่วนเกิดการเสียสภาพและการเกิดตกตะกอนบนผิวหน้าของเยื่อเมมเบรน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลประสิทธิภาพของเครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบในการกำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลือง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบในการกำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลืองพบว่าช่วง 90 นาทีแรก ปริมาตรของซอสถั่วเหลืองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เพราะมีการไหลของน้ำจากช่อง concentrate เข้าสู่ช่อง diluate เนื่องจาก osmotic pressure พบว่าการใช้ 6% NaCl เป็น concentrate ทำให้มีน้ำเข้ามาเจือจางซอสถั่วเหลืองน้อยกว่าการใช้ 3% NaCl เป็น concentrate ดังนั้นจึงเลือกใช้ 6% NaCl เป็น concentrate ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพของซอสถั่วเหลืองระหว่างกำจัดเกลือโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า

5.2 สรุปผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี-กายภาพ ของซอสถั่วเหลืองในระหว่างกำจัดเกลือโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้าระดับโรงงานต้นแบบ

จากการทดลองพบว่าสมบัติทางเคมี-กายภาพของซอสถั่วเหลืองมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างกำจัดเกลือโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า และเมื่อพิจารณากระบวนการที่ใช้กำจัดเกลือออกจากซอสถั่วเหลือง (40 ลิตร) ร้อยละ 50 ของปริมาณเกลือเริ่มต้นพบว่าใช้เวลาทั้งสิ้น 270 นาที ผลลัพธ์ที่ได้จะมีเกลือเหลือประมาณ 10 g/100ml และประกอบด้วยโซเดียมและโปแตสเซียมไอออนประมาณ 27.170 g/Kg และ 0.642 g/Kg ตามลำดับ (ความเข้มข้นของโซเดียมและโปแตสเซียมไอออนในซอสถั่วเหลืองเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 80.186 g/Kg และ 1.625 g/Kg ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จะมี TSS ปริมาณโปรตีน และปริมาณกรดลดลงขณะที่มี pH และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับตัวอย่างซอสเริ่มต้น

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพของซอสถั่วเหลืองทางการค้าเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ได้จากงานวิจัยนี้ด้วย นอกจากนี้ควรมีการปรับปรุงรสชาติรวมทั้งอายุการเก็บรักษาของซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำนี้ให้เทียบเคียงได้กับซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำทางการค้า

บรรณานุกรม

- กระทรวงสาธารณสุข. (2541). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ฉลากโภชนาการ*. เข้าถึงได้จาก <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2541/D/047/23.PDF>
- กระทรวงสาธารณสุข. (2543). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ผลิตภัณฑ์ปรุงรสที่ได้จากการย่อยโปรตีนของถั่วเหลือง*. เข้าถึงได้จาก [http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/CANCEL/Cancel_%20\(173\).PDF](http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/CANCEL/Cancel_%20(173).PDF)
- กระทรวงสาธารณสุข. (2553). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ผลิตภัณฑ์ปรุงรสที่ได้จากการย่อยโปรตีนถั่วเหลือง*. เข้าถึงได้จาก http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/P317_MOPH.PDF
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2549). *น้ำขอสปรุงรส*. เข้าถึงได้จาก http://www.fio.co.th/web/tisi_fio/fulltext/TIS8-2549.pdf
- Association of Official Analytical Chemists. (2000). *Official methods of analysis of AOAC international 17th edition (17th ed)*. Washington, DC: Association of official analytical chemists
- Atungulu, G., Koide, S., Sasaki, S. & Cao, W. (2007). Ion-exchange membrane mediated electrodialysis of scallop broth: Ion, free amino acid and heavy metal profiles *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1285-1290. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.12.036.
- Bontenbal, E. & de Bert, T. V. (2006). Use of glycine and/or glycine derivatives as antibacterial agent against gram negative bacterial pathogens in foods and/or drinks. United States Patent, No. US 2006/0127546 A1
- Chindapan, N., Devahastin, S. & Chiewchan, N. (2009). Electrodialysis desalination of fish sauce: Electrodialysis performance and product quality. *Journal of Food Science*, 74(7), E363-E371. doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01267.x
- Chindapan, N., Devahastin, S., Chiewchan, N. & Sablani, S. S. (2011). Desalination of fish sauce by electrodialysis: Effect on selected aroma compounds and amino acid compositions. *Journal of Food Science*, 76(7), S451-S457. doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02296.x
- Cros, S., Lignot, B., Razafintsalama, C., Jaouen, P. & Bourseau, P. (2004). Electrodialysis desalination and reverse osmosis concentration of an industrial mussel cooking

- juice: Process impact on pollution reduction and on aroma quality. *Journal of Food Science*, 69(6), C435-C442. doi: 10.1111/j.1365-2621.2004.tb10985.x
- Cros, S., Lignot, B., Bourseau, P., Jaouen, P. & Prost, C. (2005). Desalination of mussel cooking juices by electrodialysis: Effect on the aroma profile. *Journal of Food Engineering*, 69(4), 425-436. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.08.036
- Fidaleo, M., Moresi, M., Cammaroto, A., Ladrang, N. & Nardi, R. (2012). Soy sauce desalting by electrodialysis. *Journal of Food Engineering*, 110(2), 175-181. doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.06.002
- Harrigan, W. F. (1998). *Laboratory Methods in Good Microbiology* (3rd ed.). San Diego: Academic Press.
- Huang, J-J., Tsai, J-S. & Pan, B. S. (1999). Pickling time and electrodialysis affects functional properties of salted duck egg white. *Journal of Food Biochemistry*, 23(6), 607-618. doi:10.1111/j.1745-4514.1999.tb00589.x
- Huang, T-C. & Teng, D-F. (2004). Soy sauce: Manufacturing and biochemical changes. In Hui, Y. H., Meunier-Goddik, L., Josephsen, J., Nip, W-K. & Stanfield, P. S. (Eds.), *Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology* (pp. 569-610). Boca Raton: CRC Press
- Johnson, K. T., Charles, G. H. & Amundson, C. H. (1976). Electrodialysis of raw whey and whey fractionated by reverse osmosis and ultrafiltration. *Journal of Food Science*, 41(4), 770-777. doi: 10.1111/j.1365-2621.1976.tb00721_41_4.x
- Lonergan, D. A., Fennema, O. & Amundson, C. H. (1982). Use of electrodialysis to improve the protein stability of frozen skim milks and milk concentrates. *Journal of Food Science*, 47(5), 1429-1434. doi:10.1111/j.1365-2621.1982.tb04954.x
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428. doi:10.1021/ac60147a030
- Pan, W. D., Chiang, B. H. & Chiang, P. C. (1988). Desalination of spent brine from pickled prunes processing by electrodialysis. *Journal of Food Science*, 53(1), 134-137, 164. doi:10.1111/j.1365-2621.1988.tb10193.x
- Pérez, A., Andrés, L. J., Álvarez, R., Coca, J., Hill Jr., C. G. (1993). Electrodialysis of whey permeates and retentates obtained by ultrafiltration. *Journal of Food Process Engineering*, 17(2), 177-190. doi:10.1111/j.1745-4530.1994.tb00334.x

Thang, V. H., Koschuh, W. & Novalin, S. (2005). Electrodialysis versus chromatography for desalting silage juice: comparison of both processes with regard to energy consumption. *Journal of Membrane Science*, 256(1-2), 78-88.

doi:10.1016/j.memsci.2005.01.044

Toldrá, F. & Barat, J. M. (2009). Recent patents for sodium reduction in foods. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 1(1), 80-86.

doi:10.2174/2212798410901010080



ภาคผนวก



ขั้นตอนการประกอบ membrane stack

ประวัติผู้จัดทำ



รหัสนักศึกษา : 5704700015

ชื่อ-นามสกุล : น.ส.สการรัตน์ ไชยธำ

คณะ : วิทยาศาสตร์

สาขาวิชา : เทคโนโลยีการอาหาร

ที่อยู่ : 35/2 หมู่ 3 แขวง บางหว้า เขต ภาษีเจริญ

จ.กรุงเทพมหานคร 10160

E-mail : sak_chaitha@siam.edu

ผลงาน โครงการสหกิจศึกษา เรื่อง การผลิตซอสถั่วเหลืองโซเดียมต่ำโดยใช้กระบวนการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า

