



การพัฒนาแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอดจากวัสดุทางธรรมชาติและสารดูดซับ

โดย

นางสาวนิติพร จำรัสจำเริญดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอดจากวัสดุทางธรรมชาติและสารดูดซับ

โดย

นางสาวนิติพร จำรัสจำเริญดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**DEVELOPMENT OF FRYING OIL FILTER PAPER AND TUBE FROM
AGRICULTURAL MATERIALS AND ADSORBENT**

By

Nitiporn Jumrusjumroendee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2007

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การพัฒนาแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอดจากวัสดุทางธรรมชาติและสารดูดซับ ” เสนอโดยนางสาวนิติพร จำรัสจำเริญดี เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินดวงค์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ฤวิจิตรจารุ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ฉาย ทองปิ่น

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจิระจำเริญ)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข ภาระกุลสุขสถิตย์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินดวงค์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ฉาย ทองปิ่น)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ฤวิจิตรจารุ)
...../...../.....

49403207 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ : เชลลูโลส/ เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว/ โซเดียมไฮดรอกไซด์/ การระเบิดด้วยไอน้ำ/
น้ำมันทอด/ สารดูดซับผสม/ เชลลูโลสอะซิเตท

นิติพร จรัสจำริญดี : การพัฒนาแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอดจากวัสดุทาง
ธรรมชาติและสารดูดซับ. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.บัณฑิต อินดวงศ์,
ผศ.ดร.ปราโมทย์ คุวิจิตรจารุ และ ผศ.ดร.จันทร์ฉาย ทองปิ่น. 100 หน้า.

วัตถุดิบที่ใช้ในการพัฒนาแผ่นกรองจากวัสดุทางธรรมชาติที่เหมาะสมคือเปลือกข้าวโพด
ข้าวเหนียว และเมื่อนำมาทำเป็นเชลลูโลสอะซิเตท พบว่าเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวเกิดเป็นฟิล์ม
ของเชลลูโลสอะซิเตทดีที่สุด และเกิดฟิล์มได้มากที่สุด ส่วนการสกัดเชลลูโลสออกมาจากเปลือก
ข้าวโพดที่ใช้ในการทดลองนี้มี 3 วิธีคือ การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น
1 โมลาร์ การระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดัน 15 บาร์ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1.5
นาทีก และการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.75
โมลาร์ ตามลำดับ ก่อนนำไปผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า ปริมาณโซลเชลลูโลสและปริมาณ
แอลฟา-เชลลูโลสที่ได้จากการสกัดแต่ละวิธีนั้นไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณผลผลิตที่ได้นั้นมีความ
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเยื่อที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
มีความสว่าง (L^*) ของเชลลูโลสที่ได้เพิ่มมากขึ้น โดยวิธีที่ใช้ในการสกัดเชลลูโลสที่ดีที่สุด คือการ
ระเบิดด้วยไอน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการระเบิดด้วย
ไอน้ำและผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ ในการกรองน้ำมันที่ทอด
นักเก็ตเป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่า กระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดที่ผสมสารดูดซับร้อยละ 35
สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ปริมาณสารประกอบที่มีขี้
(TPM) ได้เท่ากับร้อยละ 22.67, 60.16 และ 29.73 ตามลำดับ และมีความเข้มของสีน้ำมันทอดจางลง
เมื่อเทียบกับสถานะควบคุม จึงนำอัตราส่วนของการผสมสารดูดซับนี้ไปใช้ในการผสมกับเชลลูโลส
อะซิเตท และพบว่า กระดาษกรองที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และเชลลูโลสอะซิเตท สามารถ
ปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดได้ดียิ่งขึ้น

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. 2. 3.

49403207 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : CELLULOSE/ CORN HUSK/ SODIUM HYDROXIDE/ STEAM EXPLOSION/
FRYING OIL/ ADSORBENT COMBINATION/ CELLULOSE ACETATE

NITIPORN JUMRUSJUMROENDEE : DEVELOPMENT OF FRYING OIL FILTER
PAPER AND TUBE FROM AGRICULTURAL MATERIALS AND ADSORBENT. THESIS

ADVISORS : ASST.PROF.BHUNDIT INNAWONG, Ph.D., ASST.PROF.PRAMOTE

KHUWIJITJARU, Ph.D., AND ASST. PROF.CHANCHAI THONGPIN, Ph.D. 100 pp.

In this experiment, the corn husk was founded to be the most suitable material for filter paper production due to higher yield of cellulose acetate than other agricultural materials. Three different methods for cellulose extraction from corn husk, comprising of alkaline soaking (A), steam explosion at 200°C, 15 bar for 1.5 min (S), and pretreatment by sodium hydroxide at various concentration (0.25, 0.50, and 0.75 M) prior to steam explosion (AS), were studied. An appropriate cellulose extraction technique was steam explosion. The results showed that α -cellulose and holocellulose contents of all pulp residues were not significant difference among the cellulose extraction techniques. All of extraction treatments except pretreatment with 0.25, and 0.50 M NaOH provided significant difference ($p < 0.05$) in yield pulps. The fiber obtained from steam explosion technique was better in physical property. In addition, the lightness (L^*) of AS pulps at 0.25, 0.50, and 0.75 M NaOH were 46.89, 48.27, and 51.26, respectively. Thus, the AS pulps exhibited lighter in color.

The filtration with corn husk + adsorbent papers (CAC papers) sufficiently decreased the oil deterioration rate and finally extended the oil life cycle. In this experiment, the CAC papers were then mixed with 25%, and 35% of adsorbent combinations in paper pulps. Then, the efficiency of CAC papers was further evaluated by frying chicken nuggets and subsequently filtering the used oil with CAC papers. The oil filtration schedule was applied every 3 hour for 6 days. After 36h continuous frying, the filtrated oil with 35% CAC papers could reduce free fatty acid (%FFA), peroxide value (PV), and total polar material (TPM) as following 22.67%, 60.16%, and 29.73%, respectively. In addition, the filtrated oil with 35% CAC papers were lighter, less yellowness, and redness ($p < 0.05$) than the control.

For the next experiment, the used oil filtrated by using the 35% CAC + cellulose acetate papers (called CACA papers) predominantly improved its overall quality as indicating by %FFA, PV, TPM, and color parameters for L^* , a^* , and b^* . In addition, the CACA papers potentially decelerated the oil deterioration and successfully attained better oil quality than the oil filtered by only CAC papers.

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2007

Student's signature

Thesis Advisors' signature 1. 2. 3.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้น ณ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งความสำเร็จในครั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินดวงศ์ เป็นอย่างยิ่งที่กรุณาให้คำแนะนำที่ดี ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษา และคอยดูแลในการวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ฉาย ทองปิ่น และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วิจิตรจากรุ ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลิขิจำเนียร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข กระจุกสุขสถิต ที่ร่วมให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่ดีต่อการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ รวมถึงอาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และน้องที่ให้ความอบอุ่นและเป็นกำลังใจตลอดมา

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนในงบประมาณในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่อรอุมาและคุณป้าสมส่ง ร้านข้าวโพด โรงอาหารยูนิเอน ที่เอื้อเฟื้อเปลือกข้าวโพดในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่สำนักงานประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านรวมทั้ง เพื่อน พี่ และน้องทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
สมมติฐานการศึกษา.....	2
ขอบเขตการศึกษา	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
คุณสมบัติของวัสดุทางธรรมชาติ	4
องค์ประกอบทางเคมีของพืช	5
เซลลูโลส.....	5
เฮมิเซลลูโลส.....	8
ลิกนิน.....	10
กระบวนการสกัดเซลลูโลส	10
หลักการระเบิดด้วยไอน้ำ	12
เครื่องระเบิดด้วยไอน้ำ.....	13
การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการระเบิดด้วยไอน้ำ.....	15
น้ำมันทอดอาหาร.....	15
คุณลักษณะของน้ำมันและการเสื่อมเสียของน้ำมันทอด	16

บทที่	หน้า
การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันในระหว่างกระบวนการทอด	17
การยืดอายุน้ำมันทอด.....	18
สารดูดซับ	19
เอกสารอ้างอิง	20
3 การศึกษาขั้นตอนการผลิตและชนิดของวัสดุทางธรรมชาติที่เหมาะสมในการผลิต แผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอด	
บทคัดย่อ	24
บทนำ	25
วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง	26
ผลการทดลองและการวิจารณ์	30
สรุปผลการทดลอง.....	38
เอกสารอ้างอิง.....	39
4 การศึกษาผลของวิธีการสกัดเซลลูโลสต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลส	
บทคัดย่อ	41
บทนำ	42
วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง	42
ผลการทดลองและการวิจารณ์	44
สรุปผลการทดลอง.....	49
เอกสารอ้างอิง	50
5 การศึกษาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอดที่ ผสมสารดูดซับผสม	
บทคัดย่อ	51
บทนำ	52
วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง.....	53
ผลการทดลองและการวิจารณ์	56
สรุปผลการทดลอง.....	66
เอกสารอ้างอิง	67

บทที่	หน้า
6 การศึกษาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันที่ผสม สารดูดซับและเซลลูโลสอะซิเตท	
บทคัดย่อ	69
บทนำ	70
วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง	70
ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	74
สรุปผลการทดลอง.....	82
เอกสารอ้างอิง	82
7 บทสรุป	85
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมีของเซลลูโลส	88
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีของน้ำมันทอด	90
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีของน้ำมันทอด	94
ประวัติผู้วิจัย.....	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตที่ได้จากวัตถุดิบต่างๆ ที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมโครอไซด์และการระเบิดด้วยไอน้ำ.....	31
3.2 ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส และแอลฟา-เซลลูโลส ของฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกข้าวโพดไหม้ข้าวโพด ที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์เป็นเวลา 18 ชั่วโมง.....	33
3.3 ร้อยละกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดที่ผสมผงเซลลูโลสอะซิเตทจากวัตถุดิบต่างๆ จากเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	33
3.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมันทอดที่ผสมผงเซลลูโลสอะซิเตทจากเซลลูโลสทางการค้า.....	34
4.1 ร้อยละไฮโดรเซลลูโลสของเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านวิธีการสกัดต่างๆ	45
4.2 ร้อยละแอลฟาเซลลูโลสของเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านวิธีการสกัดต่างๆ	46
4.3 ร้อยละผลผลิตที่ได้ของเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านวิธีการสกัดต่างๆ	47
4.4 ค่าวัดสีของเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านวิธีการสกัดต่างๆ	49
5.1 สรุปความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดที่ระยะเวลา 18 ชั่วโมง และ 36 ชั่วโมง ด้วยการกรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 25 และ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ....	65
6.1 สรุปความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดที่ระยะเวลา 42 ชั่วโมง ด้วยการกรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ และผสมเซลลูโลสอะซิเตท...	81

- 1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วย
กระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 ในระหว่าง
การทอดนักเก็ตไก่เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง..... 94
- 2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษจาก
เปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 ในระหว่างการทอด
นักเก็ตไก่เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง..... 95
- 3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบที่มีขี้ในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วย
กระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35
ในระหว่างการทอดนักเก็ตไก่เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง..... 96
- 4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วย
กระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และสารดูดซับ
ผสมร้อยละ 35 และผสมเซลลูโลสอะซิเตทในระหว่างการทอดนักเก็ตไก่เป็น
ระยะเวลา 42 ชั่วโมง..... 97
- 5 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษ
จากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และสารดูดซับ
ผสมร้อยละ 35 ผสมเซลลูโลสอะซิเตทในระหว่างการทอดนักเก็ตไก่เป็น
ระยะเวลา 42 ชั่วโมง..... 98
- 6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบที่มีขี้ในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วย
กระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และสารดูดซับ
ผสมร้อยละ 35 ผสมเซลลูโลสอะซิเตทในระหว่างการทอดนักเก็ตไก่เป็น
ระยะเวลา 42 ชั่วโมง..... 99

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเซลล์โลส.....	6
2.2 โครงสร้างของเซลล์โลสที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นเซลล์ไปโอส.....	7
2.3 ภาพตัดขวางแสดงโมเลกุลของเซลล์โลสที่จับอยู่กับเฮมิเซลล์โลสและลิกนิน.....	7
2.4 น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของเฮมิเซลล์โลส.....	9
2.5 โครงสร้างของลิกนิน.....	9
2.6 เครื่องระเบิดด้วยไอน้ำ.....	13
2.7 การเปลี่ยนแปลงของลิกโนเซลล์โลส.....	14
3.1 รูปร่างลักษณะของเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ผ่านการสกัดเซลล์โลสด้วยวิธีการต่างๆ.....	35
3.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกระดากเปลือกข้าวโพด	36
3.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกระดากจากฟางข้าว.....	36
3.4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกระดากจากเปลือกข้าวโพด ข้าวเหนียวที่ผสมสารดูดซับปริมาณแตกต่างกัน..	37
5.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดนั้กเกิดไ้เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	58
5.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดนั้กเกิดไ้เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	59
5.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบที่มีขั้วของน้ำมันทอดนั้กเกิดไ้ เป็นเวลา 36 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	61
5.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของน้ำมันทอดนั้กเกิดไ้เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	63
5.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง ของน้ำมันทอดนั้กเกิดไ้ เป็นเวลา 36 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	63
5.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง ของน้ำมันทอดนั้กเกิดไ้ เป็นเวลา 36 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	64
5.7 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันที่กรองระหว่างการทอดเป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง.....	64

ภาพที่	หน้า
6.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดนั้กเก็ตไก่ เป็นเวลา 42 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	78
6.2 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดนั้กเก็ตไก่ เป็นเวลา 42 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	78
6.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบที่มีขั้วของน้ำมันทอดนั้กเก็ตไก่ เป็นเวลา 42 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	79
6.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของน้ำมันทอดนั้กเก็ตไก่เป็นเวลา 42 ชั่วโมง ที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	79
6.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดงของน้ำมันทอดนั้กเก็ตไก่เป็นเวลา 42 ชั่วโมง ที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	80
6.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลืองของน้ำมันทอดนั้กเก็ตไก่เป็นเวลา 42 ชั่วโมง ที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน.....	80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

กระบวนการทอดในอุตสาหกรรมอาหารทอดมีการใช้กระดาษกรองเพื่อกรองแยกเศษชิ้นอาหารขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ออกจากน้ำมันทอด แต่เนื่องจากในระหว่างกระบวนการทอดนั้น มีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้น ซึ่งสารเหล่านี้ไม่สามารถจัดหรือแยกออกได้โดยใช้กระดาษกรอง จึงมีสารสะสมอยู่ในน้ำมันทอดและสารเหล่านี้จะเป็นตัวเร่งในการเสื่อมเสียของน้ำมันให้เกิดได้เร็วขึ้น สารต่างๆ เหล่านี้ยังเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคโดยตรง หากสามารถพัฒนาแผ่นกระดาษกรองและไส้กรองน้ำมันที่มีประสิทธิภาพในการกรองสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอด เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน สารพอลิเมอร์ เป็นต้น โดยการนำวัสดุทางธรรมชาติที่เหลือใช้จากการเกษตรมาพัฒนาเป็นกระดาษและไส้กรองน้ำมัน เนื่องจากมีองค์ประกอบของเซลลูโลสจำนวนมาก มาดัดแปลงและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการกรองน้ำมันทอดได้ ก็สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุทางธรรมชาติที่เป็นของเหลือจากการเกษตรได้เป็นอย่างดี กระบวนการทอดนั้นจะมีการใช้น้ำมันในปริมาณมากในการผลิต ดังนั้นถ้าสามารถยืดอายุและรักษาคุณภาพของน้ำมันทอดให้นานมากขึ้นก็จะช่วยทำให้ลดต้นทุนในการผลิตได้อย่างมาก เพราะต้นทุนของการผลิตอาหารทอดนั้นมาจากราคาของน้ำมันทอดประมาณร้อยละ 25 ถึง 30

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีผลิตผลพลอยได้ที่เหลือจากวัสดุทางการเกษตรมากมาย เช่น ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด ชานอ้อย เป็นต้น ในวัสดุทางธรรมชาตินั้นจะมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ถ้าหากสามารถแยกเซลลูโลสจากวัสดุทางธรรมชาติได้ก็จะทำให้ได้แหล่งเซลลูโลสที่มีต้นทุนต่ำ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่นการนำมาผลิตกระดาษ หรือเยื่อกระดาษโดยการแยกส่วนประกอบต่างๆ นั้นสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งมีวิธีที่นิยมใช้กันมากก็คือ วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ และยังมีวิธีอื่นๆ อีกคือ การแยกด้วยกระบวนการใช้กรดอะซิดิก หรือการสกัดด้วยสารละลายต่าง เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตและชนิดของวัสดุทางธรรมชาติที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอด

- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของวิธีการสกัดเซลลูโลสต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลส
- 1.2.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันที่ผสมสารดูดซับผสม
- 1.2.4 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และ เซลลูโลสอะซิเตท

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีการพัฒนาแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอดที่ผสมสารดูดซับซึ่งมีความสามารถในการจับกับอนุภาคทางเคมีต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการทอด ดังนั้นการพัฒนาแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอดจึงเป็นนวัตกรรมใหม่ที่สามารถช่วยยืดอายุน้ำมันในอุตสาหกรรมอาหารทอดได้ เพราะตามปกติแล้วในอุตสาหกรรมอาหารทอดจะใช้กระดาษกรองเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่เกิดจากปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันทอดได้ เนื่องจากในอนุภาคเคมีที่อยู่ในน้ำมันทอดนั้นจะเป็นตัวเร่งการเสื่อมเสียของน้ำมันให้เกิดได้เร็วขึ้น ดังนั้นการใช้ไส้กรองน้ำมันผสมสารดูดซับในกระบวนการกรองน้ำมันจึงเป็นประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมอาหารทอด

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 การศึกษาขั้นตอนการผลิตและชนิดของวัสดุทางธรรมชาติที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอด

ศึกษาชนิดของวัสดุทางธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตแผ่นกระดาษและไส้กรองที่มีลักษณะเส้นใยที่ดีและเหมาะสมที่จะนำเซลลูโลสที่ได้ไปปรับหมักฟังก์ชันเป็นเซลลูโลสอะซิเตทให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นโดยวัสดุทางธรรมชาติที่เลือกมาศึกษามีดังนี้ เปลือกข้าวโพดหวาน เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว ใยมะพร้าว ฟางข้าว และชานอ้อย

1.4.2 การศึกษาผลของวิธีการสกัดเซลลูโลสต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลส

เนื่องจากวิธีการสกัดเซลลูโลสนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ดังนั้นจึงต้องการเปรียบเทียบเพื่อหาวิธีที่มีประสิทธิภาพเพื่อแยกเซลลูโลสออกมาได้ และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปผลิตเป็นกระดาษกรองและไส้กรองน้ำมันต่อไป โดยเลือกวิธีที่นำมาศึกษา คือ การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น การระเบิดด้วยไอน้ำและการใช้วิธีการขั้นต้น (pretreatment) ด้วยการ

ดัมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.50 โมลาร์ก่อนนำไปผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ

1.4.3 การศึกษาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันที่ผสมสารดูดซับผสม

โดยนำแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันที่มีคุณลักษณะที่ดีที่จะนำมาผลิตเป็นแผ่นกรองและไส้กรองโดยเลือกวิธีการผลิตจากข้อ 1.4.2 มาผสมสารดูดซับลงไป

- ชนิดของสารดูดซับที่ใช้มีคุณสมบัติในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดให้ดีขึ้น
- ใช้อัตราส่วนของสารดูดซับผสมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดอนุภาคทางเคมีเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บ และคุณภาพของน้ำมันทอดโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันทอดที่ผ่านการกรอง ซึ่งจะผสมลงไปในช่วงขั้นตอนการขึ้นรูปในปริมาณร้อยละ 25 และ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ

1.4.4 การศึกษาทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และเซลลูโลสอะซิเตท

นำแผ่นกระดาษกรองและไส้กรองน้ำมันที่ผลิตจากเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ และแผ่นกระดาษกรองที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และเซลลูโลสอะซิเตทมาทดสอบประสิทธิภาพในการกรองน้ำมันทอดโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันทอดที่ผ่านการกรอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบการกรองน้ำมันทอดและช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของน้ำมันทอดจึงช่วยลดต้นทุนในการผลิต ทำให้สามารถช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาดได้

1.5.2 จากความรู้ใหม่ที่ได้นี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาระบบการกรองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.5.3 สามารถนำเอาวัสดุทางการเกษตรหรือทางธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพิ่มมากขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของวัสดุทางธรรมชาติ

คุณสมบัติของวัสดุทางธรรมชาติที่สำคัญคือ มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติที่มีมากที่สุดและมีพบกระจายทั่วไปอย่างกว้างขวาง เพราะเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของพืชทุกชนิด โดยแหล่งเซลลูโลสที่สำคัญได้แก่ ใยฝ้าย ไม้ ปอ เป็นต้น (กัญจน, 2533) ในพืชทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลักทางเคมีที่สำคัญ 4 ชนิดคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารแทรก โดยส่วนของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะรวมกันเรียกว่า โฮโลเซลลูโลส ในอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษนั้นโดยทั่วไปต้องการวัตถุดิบที่มีปริมาณโฮโลเซลลูโลสสูงและปริมาณลิกนินต่ำ เพื่อง่ายต่อการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อ (วิทยา, 2541)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงทำให้มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากมายที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้มากมาย เช่น ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด ชานอ้อย ต้นข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันวัสดุทางการเกษตรเหล่านี้มักนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์หรือทำปุ๋ยเท่านั้น (Bandyopad และ Roy, 1992) หากสามารถนำวัสดุทางการเกษตรเหล่านี้มาเพิ่มมูลค่าก็จะเป็นประโยชน์อย่างมาก และเนื่องจากองค์ประกอบที่สำคัญของวัสดุเหล่านี้คือ เซลลูโลส ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษและเยื่อได้ ดังนั้นเราจึงหาวิธีการสกัดเซลลูโลสและนำเซลลูโลสเหล่านี้มาใช้ผลิตเป็นกระดาษเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุทางการเกษตรได้

วิธีการสกัดเซลลูโลสออกมาจากวัตถุดิบทางการเกษตรนั้นสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การสกัดด้วยสารละลายด่างเข้มข้น ได้แก่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งสารละลายด่างเหล่านี้ยังเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการฟอกสีได้อีกด้วย (Pan และคณะ, 1999) ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการสกัดแยกเอาเซลลูโลสออกมา จะต้องกำจัดองค์ประกอบต่างๆ ออกไปด้วยคือ เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งลิกนินจะเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการกำจัดเอาลิกนินออกต้องใช้ตัวทำละลายเช่น สารละลายด่าง เอทานอล หรือตัวออกซิไดซ์ ส่วนเฮมิเซลลูโลสนั้นสามารถละลายน้ำได้

การระเบิดด้วยไอน้ำเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำลายโครงสร้างของวัสดุทางธรรมชาติได้ (Angle และคณะ, 2001) ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการใช้ไอน้ำที่ความดันสูงจึงทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์

เปลี่ยนแปลงทำให้วัตถุกเกิดการแตกหัก โดยบางส่วนจะถูกไฮโดรไลซ์ เช่น เฮมิเซลลูโลส ซึ่งสามารถล้างออกได้ด้วยน้ำ และยังคงเหลือส่วนที่ไม่ละลายน้ำที่ประกอบด้วย เซลลูโลสและลิกนิน ปัจจัยที่สำคัญในการระเบิดด้วยไอน้ำคือ ความดัน อุณหภูมิ และเวลา ที่จะต้องเหมาะสมกับวัตถุดิบที่จะนำมาผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ โดยทั่วไปแล้วสภาวะที่เหมาะสมคือ การระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูง และใช้ระยะเวลาสั้น

และเนื่องจากการกำจัดส่วนประกอบต่างๆ นั้นสามารถที่จะนำวัสดุทางธรรมชาติมาผ่านกระบวนการขั้นต้น (pretreatment) ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีคือ ทางจุลินทรีย์ ทางเคมี และทางกายภาพ เช่น การย่อยด้วยเชื้อรา หรือแบคทีเรีย การใช้สารเคมี และการบดเพื่อลดขนาดของอนุภาคให้เล็กลงเพื่อช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวและการลดความเป็นผลึกของเซลลูโลสได้ (Moniruzzaman, 1996) และเนื่องจากการสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลายต่างและการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นเป็นวิธีการที่จะใช้แยกเซลลูโลสออกมาได้ดี ดังนั้นถ้าหากนำทั้งสองวิธีมารวมกันน่าจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดเซลลูโลสได้

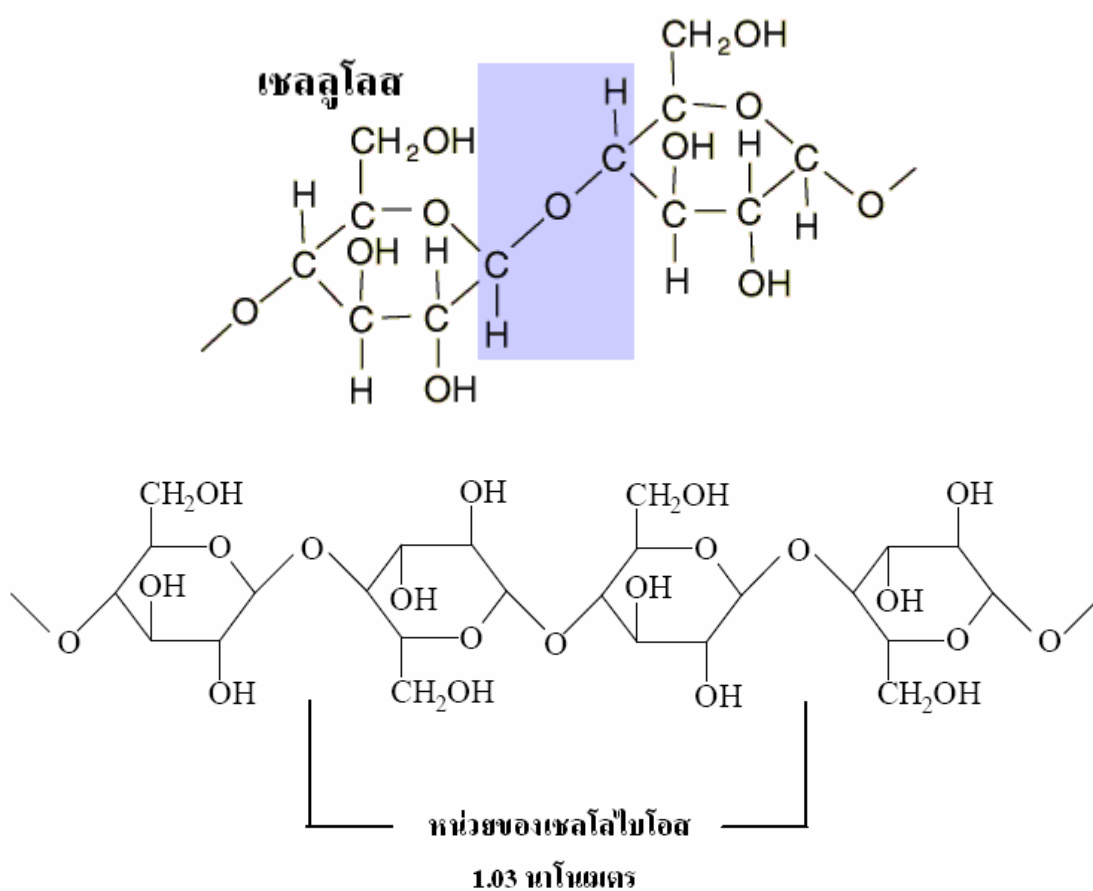
วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นจะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการระเบิดด้วยไอน้ำที่สภาวะของความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้เพื่อแยกส่วนประกอบต่างๆ โดยการย่อยให้เป็นโครงสร้างที่เล็กลง เช่น การทำให้เฮมิเซลลูโลสถูกย่อยออกเป็นน้ำตาล และขั้นตอนการใช้สารละลายต่างเปอร์ออกไซด์เพื่อขจัดส่วนของลิกนินออกมา และส่วนที่เหลืออยู่ที่เป็นกากก็คือเซลลูโลส โดยการแยกหรือสกัดส่วนประกอบต่างๆ เพื่อให้ได้องค์ประกอบของเซลลูโลสที่มีประสิทธิภาพนั้นมีหลายวิธีโดยในแต่ละวิธีก็เพื่อสกัดเอาส่วนที่ไม่ต้องการออกไปและให้คงเหลืออยู่เฉพาะเซลลูโลสที่จะนำไปใช้ในการผลิตเป็นเชื้อกระดากและกระดากได้

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของพืช มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

2.2.1 เซลลูโลส

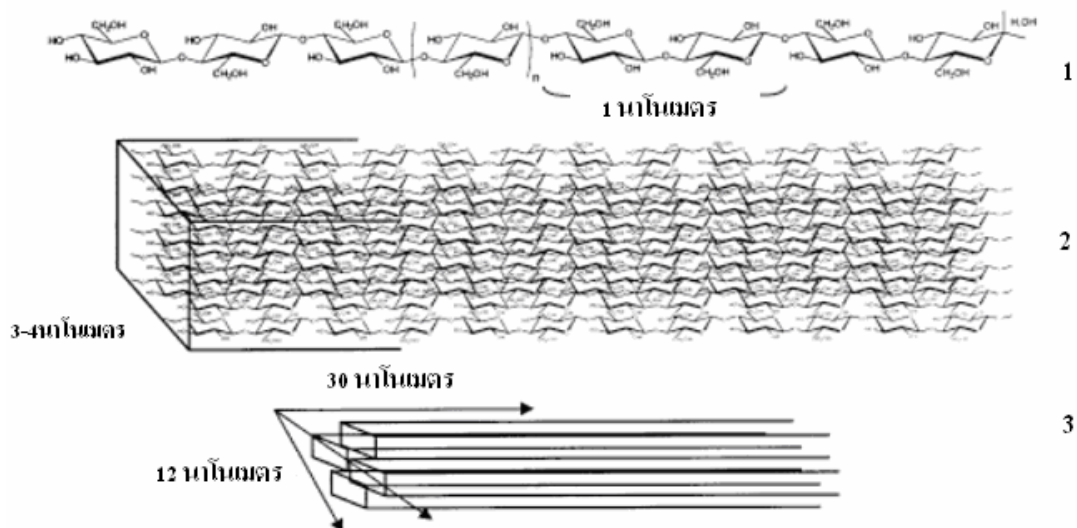
เซลลูโลส (cellulose) เป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นของน้ำตาลกลูโคสที่เป็นสายตรง ซึ่งมีเซลโลไบโอส (cellobiose) เป็นหน่วยที่ซ้ำกัน (repeating Unit) ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในผนังเซลล์ของพืช โดยรวมอยู่กับพวกไซแลน (xylan) และลิกนิน (lignin) เซลลูโลสที่ได้จากแต่ละส่วนของพืชจะมีความแข็งแรง (strength) และความเหนียว (toughness) แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอายุและชนิดของพืช เช่น เส้นใยไม้ ปอ ป่าน และฝ้าย ฯลฯ เป็นส่วนที่มีเซลลูโลสมาก (Roger, 2005) โดยเฉพาะฝ้ายมีเซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 90 เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรดและด่างที่เจือจาง ถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส โดยโมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β -(1 $\rightarrow$ 4) ซึ่งแตกต่างจากโมเลกุลของ

สตาร์ชที่น้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α - (1 $\rightarrow$ 4) โมเลกุลของเซลลูโลสเป็นสายยาวไม่มีแขนง สายยาวจะมาเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลของกลูโคสทำให้โครงสร้างของโมเลกุลแข็งแรงและมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในแนวนานและเกิดเป็นโครงสร้างผลึก (crystalline) เซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 100,000- 2,000,000 คอลตัน

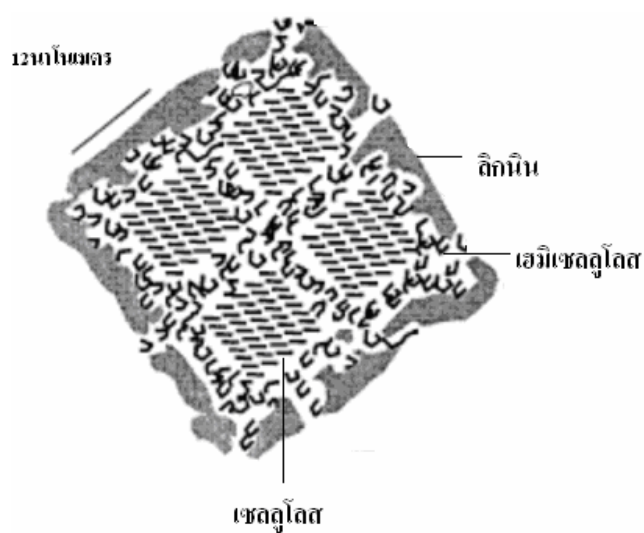


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา : <http://natural-resources.ncsu.edu>



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลสที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นเซลโลไบโอส (cellobiose) (1), การจัดเรียงตัวของเซลลูโลสที่รวมกันเป็นเส้นใย (2) และลักษณะของผลึกเซลลูโลส (cellulose crystalline) (3)
ที่มา : Ramos (2000)



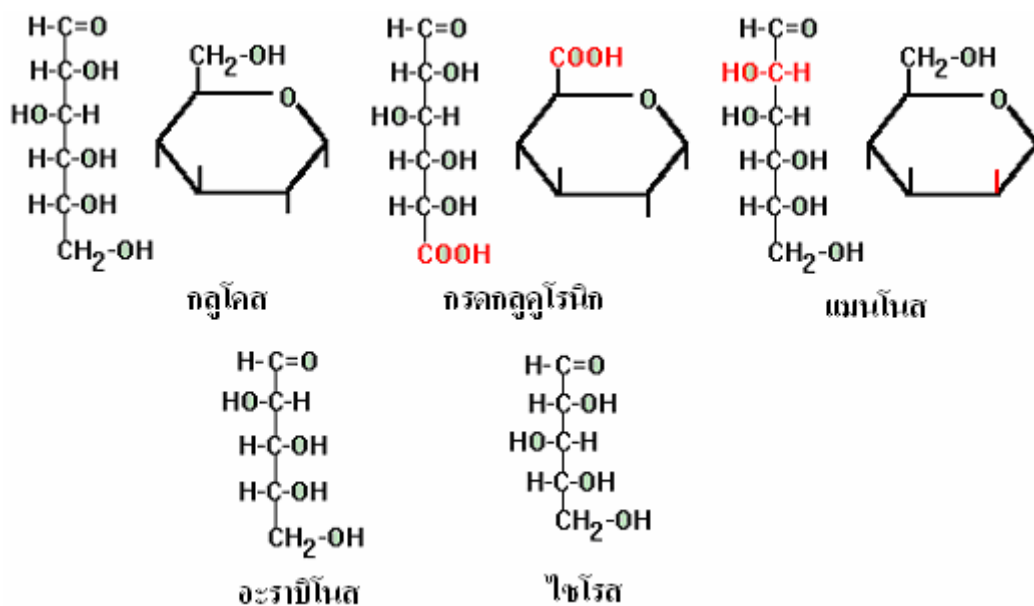
ภาพที่ 2.3 ภาพตัดขวางแสดงโมเลกุลของเซลลูโลสที่จับอยู่กับ
เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน
ที่มา : Ramos (2000)

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นกลุ่มของเฮเทอโรโพลีแซคคาไรด์ที่ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2 ถึง 4 ชนิดขึ้นไป มีทั้งน้ำตาลเฮกโซสและเพนโตส โดยสายโพลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสจะเป็นกิ่งก้านสั้นและเป็นบริเวณอสัณฐาน (amorphous) น้ำตาลที่พบบ่อยคือน้ำตาลไซโลส (D-xylose) และอะราบินโนส (L-arabinose) นอกจากนั้นยังพบน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) แมนโนส (D-mannose) กาแลคโตส (D-galactose) กรดกลูคูโรนิก (D-glucuronic acid) และ (4-O-methyl-D-glucuronic acid) อีกด้วย

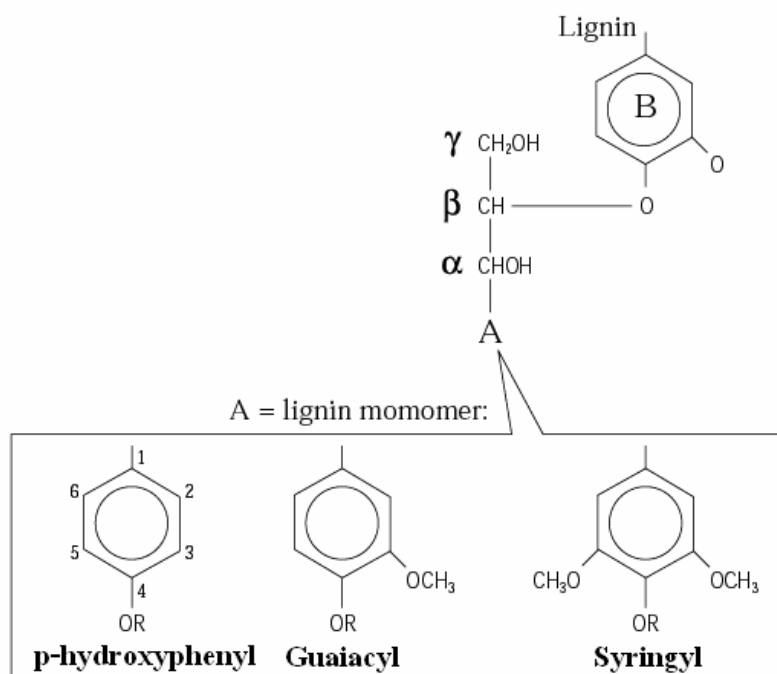
เฮมิเซลลูโลสจำแนกออกตามชนิดของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลได้เป็นไซแลน (xylans) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลส แมนแนน (mannans) เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลแมนโนส กาแลคแตน (galactans) เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลกาแลคโตส อะราบินโนกาแลคแตน (arabinogalactans) กลูโคแมนแนน (glucomannans) และอะราบินโนไซแลน (arabinoxylans) สำหรับไซแลน เป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลไซโลสที่ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β -(1 $\rightarrow$ 4) ดังนั้นเมื่อเฮมิเซลลูโลสถูกไฮโดรไลซ์ (hydrolysed) จะได้น้ำตาล เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์ของพืช โดยรวมอยู่กับลิกนินและเซลลูโลส (Ebringerova และ Heinze, 2000) โดยเฮมิเซลลูโลสจะมีการจัดเรียงตัวได้หลายแบบได้แก่

1. สายที่ไม่แตกกิ่งก้าน เช่น (1,4)-linked xylan or mannan
2. สายเกลียว เช่น 1,3-linked xylans
3. สายที่มีกิ่งก้าน เช่น 1,4-linked galactoglucomannan
4. สารประกอบเพกติก (pectic substance) เช่น โพลิแรมโนกาแลคตูโรแนน (polyrhamnogalacturonans)



ภาพที่ 2.4 น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : <http://natural-resources.ncsu.edu>



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของลิกนิน

ที่มา : <http://natural-resources.ncsu.edu>

2.2.3 ลิกนิน

ลิกนิน (lignin) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในพืช ที่เป็นอาหารสัตว์และจะมีมากขึ้นเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น การสะสมของลิกนิน (lignification) จะทำให้ผนังเซลล์ของพืชถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ได้ยากขึ้น โดยลิกนินเป็นโพลิเมอร์ที่เชื่อมกันเป็นร่างแหที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ดังภาพที่ 2.5 เป็นเส้นใยที่เหนียวประกอบไปด้วย guaiacyl, syringyl, และ hydroxyphenyl (Sun และคณะ, 2004; Xiao และคณะ, 2001)

2.3 กระบวนการสกัดเซลลูโลส

วิธีการแยกองค์ประกอบของเซลลูโลส สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งเป็นวิธีการแยกชีวมวลของเซลลูโลส (cellulosic biomass) เพื่อให้ได้เป็นเส้นใย โดยมีขั้นตอนเพื่อแยกองค์ประกอบต่างๆ ด้วยวิธีการดังนี้

- การใช้วิธีทางกล เช่น การบด การโม่
- การใช้กรด (Acid treatment) เช่น กรดซัลฟิวริกเจือจางหรือเข้มข้น (Pan และคณะ, 1998; Grohmann และคณะ, 1985)
- การใช้ด่าง (Alkali treatment) เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนีย ด่างเปอร์ออกไซด์ (alkaline peroxide) (Doner และ Hicks, 1997)
- ออโตไฮโดรไลซิส (Autohydrolysis) เช่น การใช้ไอน้ำร่วมกับความดัน การระเบิดด้วยไอน้ำและการใช้น้ำร้อน

Montane และคณะ (1998)พบว่า ในขั้นตอนเริ่มแรก (pretreatment) ของการแยกองค์ประกอบต่างๆ ของเซลลูโลสและลิกนินรวมถึงองค์ประกอบอื่นนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ไฮโดรไลซ์ส่วนต่างๆ ได้ง่าย ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีคือ

1. กระบวนการขึ้นต้นด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biological pretreatment) เป็นการแยกเอาส่วนของลิกนินออกโดยการใช้จุลินทรีย์ที่ย่อยลิกนินได้เช่น รา แบคทีเรีย ที่สามารถลดปริมาณของลิกนินลงร้อยละ 65 แต่วิธีนี้จะใช้เวลานาน
2. กระบวนการขึ้นต้นด้วยวิธีทางเคมี (Chemical pretreatment) เป็นการใช้สารเคมีเพื่อละลายหรือแยกเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออก เพื่อให้เหลือเพียงเซลลูโลส เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เอทานอล
3. กระบวนการขึ้นต้นด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical pretreatment) เป็นการใช้วิธีทางกายภาพ เช่น การบดหรือการใช้ไมโครเวฟ เพื่อช่วยเสริมให้สามารถไฮโดรไลซ์ได้ดี

โดยทั่วไปแล้ววิธีการที่ดีที่สุดในการแยกองค์ประกอบ คือการใช้วิธีทางกายภาพและเคมีร่วมกัน (Wood และ Saddler, 1988) และวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำก็เป็นวิธีหนึ่งที่นิยม โดยการใช้ไอน้ำที่ความดันสูงจะทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดการแตกหัก มีบางส่วนถูกไฮโดรไลซ์ เช่น เฮมิเซลลูโลส ซึ่งสามารถล้างออกได้ด้วยน้ำและแยกเอาส่วนที่ไม่ละลายน้ำออกไปได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสอีกเล็กน้อย ซึ่งสามารถสกัดได้ด้วยค่า ไอออกเซนด เอทานอล หรือตัวออกซิไดซ์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของค่า โซเดียมคลอไรด์ (Excoffer และคณะ, 1991)

กระบวนการที่ใช้ในการแยกเส้นใยจากพืชที่นิยมกันมาก คือการระเบิดด้วยไอน้ำ (steam explosion) ซึ่งจะทำให้ได้เส้นใยที่มีคุณภาพดี วิธีการนี้สามารถกำจัดสารต่างๆ ที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกได้ นอกจากนี้ การระเบิด (explode) ยังเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งสามารถนำเส้นใยมาทำการปรับแต่งและประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น จากคุณสมบัติของเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำจะมีพื้นที่ผิวที่มากขึ้นนั้นทำให้สามารถดัดแปรเส้นใยให้มีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ได้มากขึ้น และจากคุณสมบัติที่สำคัญนี้เองจะทำให้สามารถผลิตเส้นใยของเซลลูโลสสายสั้นที่มีหมู่ฟังก์ชันมากและสามารถนำมาประยุกต์เป็นแผ่นเยื่อกรอง (membrane) ที่ใช้ในการแยกและกรองน้ำมันจากอุตสาหกรรมอาหารทอดได้เป็นอย่างดีวิธีการแยกเซลลูโลสออกจากวัสดุทางธรรมชาตินั้นสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. การระเบิดด้วยไอน้ำ เพื่อแยกองค์ประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในวัสดุทางธรรมชาติ โดยการสกัดเพื่อแยกเอาเซลลูโลสที่เราต้องการออกมา เนื่องจากองค์ประกอบที่มีอยู่ในวัสดุทางธรรมชาติมีดังนี้ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและอื่นๆ ในระหว่างขั้นตอนการระเบิดด้วยไอน้ำ เฮมิเซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลซ์ แล้วหลังจากนั้นต้องมีการใช้สารละลายต่างเพื่อสกัดเอาลิกนินออกมา และหลังจากการสกัดแล้วจะเหลือกากที่จะเป็นส่วนของเซลลูโลส ในการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นจะต้องเลือกความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้ได้เซลลูโลสที่ดี (Moniruzzaman, 1996)

2. การใช้สารละลายต่าง เพื่อสกัดเอาองค์ประกอบต่างๆ ออกมา Xiao และคณะ (2001) รายงานว่าการใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย เนื่องจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นพวกที่ชอบสารที่มีขั้ว (hydrophilic) ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ ในขณะที่ลิกนินเป็นพวกที่ชอบสารที่ไม่มีขั้ว (hydrophobic) ที่ไม่ละลายน้ำจึงต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัด Biswas และคณะ (2005) รายงานว่ามีการนำรำข้าว เส้นใยข้าวโพด ฟางข้าวสาลี มาผลิตเป็นเซลลูโลสอะซิเตทโดยนำมาทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางเพื่อไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาล แล้วนำเซลลูโลสที่ได้มาทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์และเร่งปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกเพื่อให้เซลลูโลสเป็นเซลลูโลสอะซิเตทซึ่งจะทำให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

2.3.1 หลักการการระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam explosion)

Sun และคณะ (2005) รายงานว่าการแยกองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) (ซึ่งประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ด้วยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นเป็นวิธีที่รู้จักกันดี เนื่องจากการระเบิดด้วยไอน้ำจะสามารถไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลที่สามารถละลายในน้ำได้และยังคงเหลือส่วนของลิกนินอยู่ จึงต้องใช้ตัวทำละลายเช่น สารละลายด่างเอทานอล เพื่อแยกเอาลิกนินออกมาได้เพราะลิกนินสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ โดยในขั้นตอนของการระเบิดด้วยไอน้ำจะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ

- วิธีการขั้นต้น (Pretreatment) ด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำที่สภาวะของความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสม
- วิธีการต่อมา (Post-treatment) ด้วยการใช้สารละลายด่างเปอร์ออกไซด์

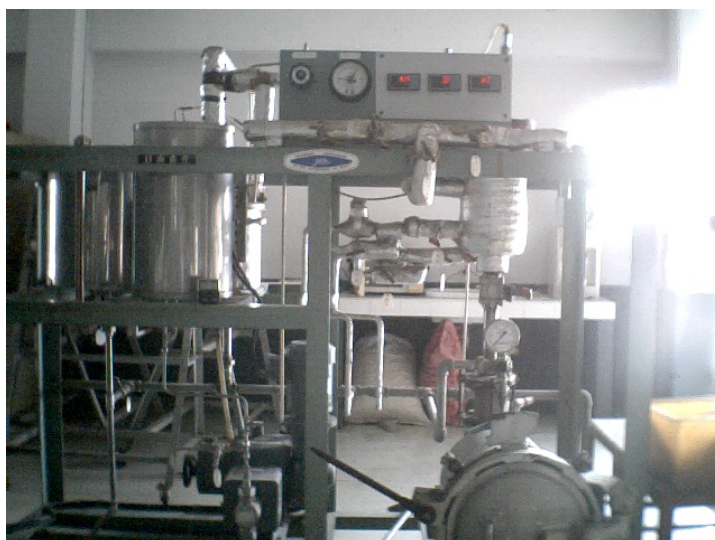
วัตถุประสงค์ของการแยกลิกโนเซลลูโลสนั้นมีเป้าหมายของการสกัดที่มีประสิทธิภาพด้วยการทำลายตัวอย่างที่น้อยและมีคุณค่าที่สูญเสียที่น้อยเพื่อให้ได้เซลลูโลสที่ดี โดยการนำลิกโนเซลลูโลสมาผ่านการให้ไอน้ำที่ความดันสูงซึ่งเป็นวิธีการขั้นต้นสำหรับการแยกองค์ประกอบหลัก 3 อย่างและเพื่อให้เซลลูโลสที่ดีและมีประสิทธิภาพ ซึ่งตามวิธีของ Mason (1929) ที่ใช้ในไม้ชิ้นเล็กๆ ที่ผ่านการให้ไอน้ำที่ความดันสูงและการปล่อยความดันอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาของ Mason (1929) จึงทำให้วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำจึงเป็นวิธีที่รู้จักสำหรับการแยกวัตถุที่เป็นลิกโนเซลลูโลส

(lignocellulosic material) หรือการทำลายชีวมวลที่มีองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยกระบวนการนี้มีประสิทธิภาพในการแยกเฮมิเซลลูโลส และหลังจากการระเบิดด้วยไอน้ำแล้วขั้นตอนต่อมาคือการใช้สารละลายด่างเปอร์ออกไซด์ เพื่อสกัดลิกนินออกมาด้วยน้ำและตัวทำละลายแอลกอฮอล์ เพื่อให้ได้เซลลูโลสที่มีคุณภาพออกมา ในกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำนั้น สภาวะที่เหมาะสมของการระเบิดด้วยไอน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดซึ่งจะประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความดัน และเวลา เครื่องระเบิดด้วยไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วน ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 2.6 โดยสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สารตั้งต้นดีที่สุดสำหรับการไฮโดรไลซิสเพื่อให้มีการสูญเสียวัตถุดิบน้อยที่สุด การทำปฏิกิริยา เช่น การคั่งน้ำออก และการทำลายการเชื่อมของคาร์โบไฮเดรตที่เพียงพอทำให้เกิดการปลดปล่อยของเฮมิเซลลูโลสที่อยู่ในสารละลายและแยกเซลลูโลสออกมา

(Moniruzzaman และคณะ, 1992)

2.3.2 เครื่องระเบิดด้วยไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. เครื่องผลิตไอน้ำ (steam generator)
2. ที่บรรจุตัวอย่าง (pressurized reactor) ที่จะรักษาความดันภายในเครื่องโดยมีตัวกันความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่ โดยจะมีความสามารถในการทำงาน (ความจุ ความดัน และอุณหภูมิสูงสุดของเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำ) ที่แตกต่างกัน เช่นมีความจุเท่ากับ 1.2 ลิตร ทำงานได้สูงสุดที่ความดัน 6 เมกกะปาสคาล และอุณหภูมิ 275 องศาเซลเซียส
3. ภาชนะรองรับผลิตภัณฑ์ (receiver)
4. เครื่องทำให้อไอน้ำกลายเป็นของเหลวหรือการควบแน่นเพื่อกำจัดเสียงที่ดังเมื่อปล่อยไอน้ำออกสู่สภาวะบรรยากาศ



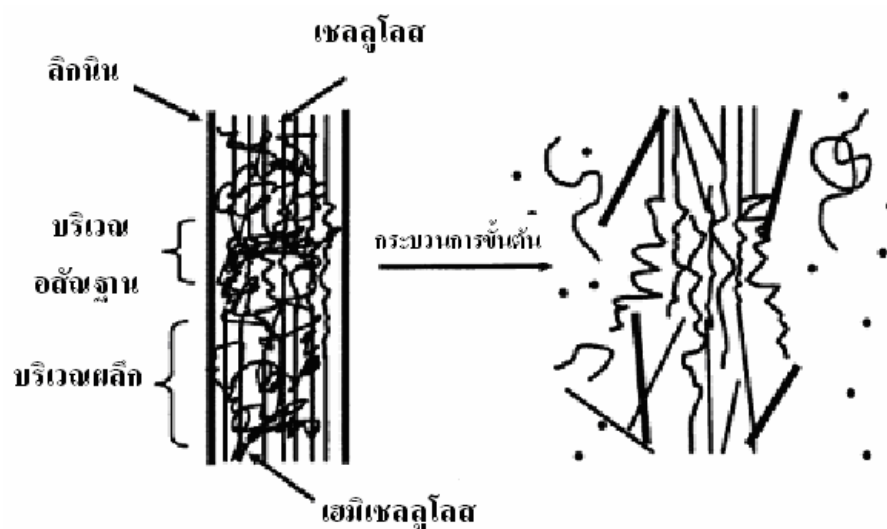
ภาพที่ 2.6 เครื่องระเบิดด้วยไอน้ำขนาดความจุ 2.5 ลิตร ที่มีการทำงานเป็นครั้ง (batch) ของบริษัท Niitto Koatsu ประเทศญี่ปุ่น

Moniruzzaman (1996) พบว่าวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ มีดังนี้ นำตัวอย่างวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินมาแยกองค์ประกอบด้วยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำโดยใส่ลงในที่บรรจุตัวอย่าง (pressurized reactor) ประมาณ 100 ถึง 200 กรัมแล้วให้ไอร้อนเข้าไป โดยจะมีเวลาในการเพิ่มความร้อนที่แตกต่างกันอาจใช้เวลาประมาณ 10 ถึง 20 วินาที ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเริ่มต้นการทำงาน และเมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วก็ปล่อยไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิที่ต้องการเข้าสู่ที่บรรจุตัวอย่าง จนกระทั่งได้เวลาในการให้ไอน้ำที่ต้องการ (โดยไม่รวมเวลาของการเพิ่มความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ) และเปิดวาล์วทางด้านล่างของที่

บรรจุตัวอย่างทันทีเพื่อปล่อยออกมาสู่สภาวะบรรยากาศอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะมีทั้งส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวและถูกเก็บสะสมอยู่ในอุปกรณ์รองรับ ส่วนที่เป็นก๊าซจะผ่านจากด้านบนของอุปกรณ์รองรับ (receiver) ไปยังเครื่องควบแน่น (condenser) เพื่อเปลี่ยนก๊าซให้เป็นของเหลว โดยในกระบวนการระบิดด้วยไอน้ำนั้นจะต้องมีสภาวะของการระบิดด้วยไอน้ำคือ เวลา อุณหภูมิ และความดันในการให้ไอน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาด้วย (Sun และคณะ, 2005) โดยกระบวนการระบิดด้วยไอน้ำจะมีผลต่อโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic) คือ

- การแตกออกของพันธะไกลโคซิดิกของเฮมิเซลลูโลส
- การแตกออกของพันธะที่เชื่อมด้วยพันธะอีเทอร์ (ether linkage) ของลิกนิน
- การแตกออกของพันธะที่เชื่อมระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรต
- ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของลิกนิน

การแยกองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยที่ผ่านการระบิดด้วยไอน้ำแล้วต้องทำการแยกส่วนที่สามารถละลายได้ในน้ำคือเฮมิเซลลูโลสที่ถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นน้ำตาล และนำเส้นใยที่เหลือหลังจากการระบิดด้วยไอน้ำที่มีลิกนินคงเหลืออยู่มากซึ่งสามารถละลายได้ในตัวทำละลาย หรือ ค้างโดยลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเมื่อผ่านการระบิดด้วยไอน้ำดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic)

ที่มา : Mosier และคณะ (2005)

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการระเบิดด้วยไอน้ำ

ในวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นในขั้นตอนแรกเป็นการระเบิดด้วยไอน้ำที่สภาวะของความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้นั้น ซึ่งจะได้เฮมิเซลลูโลสที่ถูกไฮโดรไลซ์ออกมาเป็นน้ำตาลที่ละลายได้ โดยกรดอินทรีย์ซึ่งโดยส่วนมากคือกรดอะซิติก ที่ได้จากการอะเซทิลเลท (acetylated) ของเฮมิเซลลูโลส โดยหมู่อะเซทิลในเฮมิเซลลูโลสจะแตกออกเป็นกรดอะซิติกที่ทำให้ค่าพีเอชในระหว่างการระเบิดด้วยไอน้ำรักษาค่าพีเอชที่ต่ำประมาณ 3-4 และเฮมิเซลลูโลสก็จะถูกย่อยให้เล็กลง ที่การระเบิดด้วยไอน้ำภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูงและเวลานานจะได้เฮมิเซลลูโลสที่ละลายได้ในรูปของเฟอฟูรอล (furfural) และไฮดรอกซีเมทิล-เฟอฟูรอล (hydroxymethyl furfural) จากการไฮโดรไลซ์ของพันธะไกลโคซิดิกในเฮมิเซลลูโลส และ β -O-4 ether bond ในลิกนินที่ถูกเร่งด้วยกรดอะซิติกที่อุณหภูมิสูงจากหมู่อะเซทิลในเฮมิเซลลูโลส คือการเกิดออโตไฮโดรไลซิส (autohydrolysis) และลิกนินจะถูกย่อย (depolymerized) ให้กลายเป็นน้ำตาล และสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำแล้วส่วนที่เหลืออยู่จะประกอบไปด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนมาก ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสที่เหลืออยู่อีกจำนวนเล็กน้อย และส่วนของลิกนิน เฮมิเซลลูโลสที่เหลืออยู่นั้นจะสกัดออกมาได้โดยการสกัดด้วยสารละลายต่าง (Sun และคณะ, 2005)

2.4 น้ำมันทอดอาหาร

ไขมันหรือน้ำมันที่ใช้สำหรับทอดอาหารที่นิยมใช้กันมากคือ น้ำมันหมู หรือน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับความนิยมของผู้บริโภค ในการทอดอาหารน้ำมันจะเป็นตัวนำความร้อนทำให้อาหารสุก ช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะขณะทอด ทำให้อาหารมีสีและเพิ่มรสชาติ สมบัติของไขมันหรือน้ำมันทอดอาหารที่ดีต้องมีความคงตัว มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทนทานต่อความร้อนได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 325 ถึง 375 องศาฟาเรนไฮต์ และต้องมีสมบัติสัมพันธ์กับอาหารที่ใช้ทอด เพราะกลิ่นและรสชาติของไขมันหรือน้ำมันจะติดไปกับอาหารที่ทอดแล้วด้วย

ไขมันหรือน้ำมันที่มีโมโน- หรือไดกลีเซอไรด์ หรือกรดไขมันอิสระผสมปะปนอยู่ด้วย จะทำให้เกิดควันได้ง่าย และทำให้อาหารทอดมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ติดไป ไขมันหรือน้ำมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนจะมีความคงตัวเพิ่มขึ้น แต่ทำให้จุดหลอมเหลวสูงด้วย กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย เพื่อให้มีจุดหลอมเหลวต่ำมีความคงตัวดีโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจน แต่ก็มีข้อเสียคือ สามารถเกิดการหืน เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ง่ายและทำให้อมกลิ่นหืนติดไปกับอาหารที่ทอดแล้วด้วย

น้ำมันพืชส่วนใหญ่จะมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมาก ซึ่งจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หากไม่มีการเติมสารต้านออกซิเดชันลงไป ในน้ำมันนั้นๆ อย่งไรก็ตามในน้ำมัน

พืชตามธรรมชาติจะมีสารต้านออกซิเดชันธรรมชาติ เช่น วิตามินอี หรือโทโคฟีรอล และ โทโคไตรอินอล (tocotrienols) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันให้แก่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้

การทอดอาหารประเภทที่ต้องใช้น้ำมันมากๆ เรียกว่า การทอดแบบจุ่ม (deep fat frying) หากใช้ความร้อนสูงมากหรือใช้น้ำมันทอดอาหารซ้ำหลายๆ ครั้ง วิตามินอีจะถูกทำลายหมด ทำให้เกิดกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดส์และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ง่าย โดยเฉพาะการทอดอาหารที่มีน้ำมันมากเช่น การทอดไก่ ผลของปฏิกิริยาจะมีสารประกอบชนิดใหม่เกิดขึ้น ซึ่งสารที่เกิดขึ้นใหม่เหล่านี้เป็นสารพิษต่อร่างกายและบางชนิดก็เป็นสารก่อมะเร็งด้วย ดังนั้นน้ำมันที่เคยใช้ทอดอาหารมาแล้ว 2 ถึง 3 ครั้ง หรือผ่านความร้อนสูงๆ มาแล้ว หากเหลือใช้ควรทิ้งไม่ควรนำกลับมาใช้ทอดอาหารซ้ำแล้วซ้ำอีก เพราะจะทำให้สารก่อมะเร็งติดปะปนอยู่ในอาหารที่ทอด ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งได้ (นิธิยา, 2548)

2.5 คุณลักษณะของน้ำมันและการเสื่อมเสียของน้ำมันทอด

ในอุตสาหกรรมการทอดนั้นจะมีการใช้กระดวยกรองเพื่อกรองแยกเศษอาหารและช่วยให้น้ำมันมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น เพราะถ้าไม่มีการกรองแยกกากหรือเศษอาหารออกไปจากน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารจะทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว การทอดเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะช่วยเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของอาหารทำให้เกิดลักษณะทางกายภาพที่ดีในผลิตภัณฑ์เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสาร (Fellows, 2000) ในระหว่างการทอดนั้นจะมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานจึงทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาเคมีต่างๆเกิดขึ้น เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) เพราะที่บริเวณผิวหน้าของอาหารจะมีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารไม่มีกลิ่นและสารนี้เองจะนำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันโดยเกิดจากปฏิกิริยาดังนี้

1. การเกิดฟิชชัน (Fission) เป็นการแตกตัวอย่างรวดเร็วของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์เมื่อแตกตัวแล้วจะให้สารจำพวก แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ กรด และไฮโดรคาร์บอน
2. การเกิดดีไฮเดรชัน (dehydration) ในสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ทำให้ได้สารคีโตน
3. การเกิดอนุมูลอิสระ (free radical formation) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดต่อเนื่องจากการเกิดฟิชชัน

จากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้ได้สารหลายชนิด เช่น ออกซิไดส์โมโนเมอร์ ออกซิเดทีฟไดเมอร์ ไตรเมอร์ อีพอกไซด์แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอน และพอลิเมอร์ ซึ่งสารต่างๆที่เกิดขึ้นเหล่านี้เกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติในน้ำมัน

สารประกอบต่างๆที่ได้จากปฏิกิริยาการสลายตัวของน้ำมันอาจเป็นพิษต่อร่างกายและทำให้น้ำมันมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง ดังนั้นในกระบวนการทอดจึงต้องมีระบบสำหรับทำความสะอาดน้ำมันโดยระบบที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการทอดคือระบบการกรอง โดยใช้วัสดุการกรองจำพวกกระดาษกรอง (filter paper) หรือตะแกรงสแตนเลสที่มีขนาดประมาณ 5 ไมโครเมตร ซึ่งวัสดุดังกล่าวจะทำหน้าที่กรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูของวัสดุที่ใช้กรอง สำหรับอนุภาคที่เล็กกว่า 5 ไมโครเมตร รวมทั้งสารประกอบต่างๆที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของน้ำมันก็ยังคงเหลืออยู่และแขวนลอยอยู่ในน้ำมันส่งผลให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียได้อย่างรวดเร็ว

2.6 การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันในระหว่างกระบวนการทอด

การใช้ไขมันหรือน้ำมันในการทอดอาหาร ระหว่างที่ไขมันและน้ำมันได้รับความร้อนและขณะทอด จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ทำให้เกิดการสลายตัวที่มีความซับซ้อนเกิดขึ้น เนื่องจากเทอร์โมไลติก (Thermolytic) และปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ (Oxidative Reaction) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อ

1. คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมัน ไขมันและน้ำมันที่ผ่านความร้อนสูงอาจทำให้เกิดความเป็นพิษได้ (toxic effect)
2. คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำมันทอดและอาหารที่ทอดในน้ำมัน

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับไขมันหรือน้ำมันในขณะทอดอาหารที่เห็นได้ชัดเจนคือน้ำมันมีสีคล้ำมากขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น จุดเกิดควัน (smoke point) ลดลง และเกิดฟองมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีปฏิกิริยาของเคมีเกิดขึ้นกับไขมันหรือน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนคือ

1. ไขมันและน้ำมันถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ โมโน- และไดเอซิลกลีเซอรอล
2. ไขมันถูกออกซิไดส์ ได้เป็นสารประกอบชนิดใหม่ ได้แก่ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์

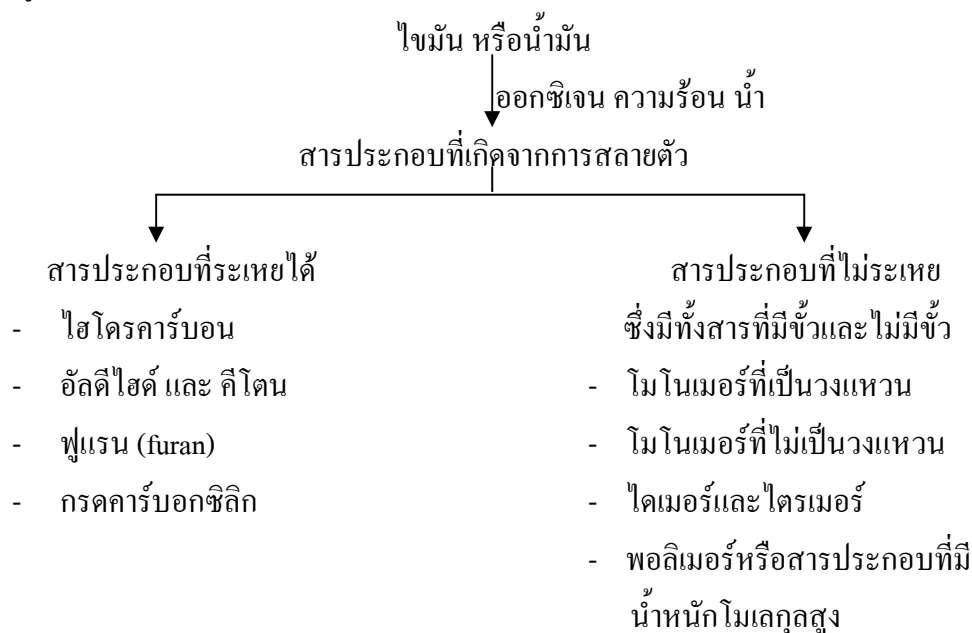
(hydroperoxides) อีพอกไซด์ (epoxides) ไฮดรอกไซด์ (hydroxides) คีโตน และ conjugated dienoic acid สารประกอบเหล่านี้อาจเกิดจากการฟิชั่นได้เป็นส่วนหนึ่งของโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง หรืออาจยังคงอยู่เป็นส่วนหนึ่งในโมเลกุลไตรเอซิลกลีเซอรอล หรืออาจมาจับตัวรวมกัน (cross-link) ทำให้เกิดเป็นไดเมอร์ (dimeric) และพอลิเมอร์ (polymeric triacylglycerols)

สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าว สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- 1) สารประกอบที่ระเหยได้
- 2) สารประกอบที่เป็นโมโนเมอร์
- 3) สารประกอบที่เป็นพอลิเมอร์

3. ไขมันและน้ำมันสามารถเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน (C-C) ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนได้ ซึ่งถ้าเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนภายในโมเลกุลของกรดไขมันเดียวกันจะทำให้เกิดวงแหวน (cyclic fatty acid) ถ้าเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนจากกรดไขมันต่างโมเลกุลกันจะทำให้เกิดไดเมอร์ หรืออาจเกิดขึ้นได้ระหว่างกรดไขมันที่อยู่ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เดียวกันหรือต่างโมเลกุลกันก็ได้ ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (นิธิยา, 2548)

แผนภูมิการเกิดสารประกอบชนิดใหม่ระหว่างการใช้ไขมันหรือน้ำมันทอดอาหาร มีดังนี้



2.7 การยืดอายุน้ำมันทอด

กระบวนการกรองเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการช่วยยืดอายุน้ำมันทอด การกรองด้วยตะแกรงสเตนเลสเพื่อกรองแยกเศษอาหารหรืออนุภาคขนาดใหญ่ออกจากราน้ำมันทอด ซึ่งสามารถกรองโดยใช้กระดาษกรองหรือตะแกรงสเตนเลส แต่อนุภาคขนาดเล็กจะยังคงอยู่ในน้ำมันและอนุภาคเล็กเหล่านี้เองที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันทอด

ในปัจจุบันได้มีผู้สนใจศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการใช้สารดูดซับ ในการยืดอายุน้ำมัน เช่น สารดูดซับที่มีองค์ประกอบจำพวกซิลิกา สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระ สี และ กลิ่นได้ (Robert, 1991) และ John (1998) ได้ทำการทดลองโดยใช้สารผสมกันระหว่างซิลิกา แมกนีเซียมซิลิเกต ไดอะโทไมท์ และซิลิกาอลูมินา พบว่าการใช้สารเหล่านี้ผสมร่วมกัน สามารถยืดอายุการทิ้งของน้ำมันที่ใช้แล้ว และปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันเก่าให้ดีขึ้น ตลอดจนสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระและสารอื่นที่เกิดจากการแตกตัวของผลิตภัณฑ์อาหารทอดได้ ในการศึกษาและโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมียุทธศาสตร์การหลากหลายวิธีในการพัฒนาระบบของการใช้น้ำมันทอดให้คุ้มค่ามากที่สุด

โดยที่คุณภาพของอาหารที่ทอดยังคงดีอยู่ เนื่องจากมีหลายวิธีที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอด ได้แก่ การกรองแบบธรรมดา การกรองโดยใช้ไคอะตอมมาเซียสเอิร์ท (diatomaceous earth) การนำน้ำมันทอดมาผสมด้วยสารดูดซับซึ่งประกอบด้วย อะลูมินา แมกนีเซียมซิลิเกต และอื่นๆ ตามด้วยการกรอง, การเติมสารแอนติออกซิแดนท์เพื่อช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน เช่น โทโคเฟอรอล

2.8 สารดูดซับ

Davidson และ McMurry (2000) กล่าวว่าไว้ว่า การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของของเหลว หรือ แก๊สสัมผัสและติดบนพื้นที่ผิวของแข็ง ของแข็งที่มีการดูดซับขึ้นได้ เรียก สารดูดซับ (adsorbent) วัสดุที่จะถูกดูดซับ เรียก สารแขวนลอย (adsorptive) และวัสดุที่ถูกดูดซับติดบนผิวของแข็งเรียกตัวถูกดูดซับ (adsorbate) กระบวนการดูดซับนั้นแบ่งได้เป็นการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี โดยจะมีกลไกเป็นอย่างใดขึ้นอยู่กัชนิดสารดูดซับและตัวถูกดูดซับ ตามปกติการดูดซับทางกายภาพ (Physical absorption) เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีการเชื่อมติดกับพื้นที่ผิวของแข็งด้วยแรงวานเดอร์วาลส์ (van der Waals forces) ส่วนการดูดซับทางเคมี (Chemical absorption) จะเกิดขึ้นเมื่อมีพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) หรือพันธะไอออนิก (ionic bond) ระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและพื้นที่ผิวของแข็งและเกิดพันธะที่เกิดขึ้นนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ระหว่างพันธะที่เกิดขึ้นของกระบวนการดูดซับทางเคมีจะมีค่าสูงกว่าการดูดซับทางกายภาพ ความรู้และเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะโดยทั่วไปของสารดูดซับเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับนักวิจัยเพราะทำให้สามารถเลือกใช้ชนิดของสารดูดซับได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ตัวอย่างคุณสมบัติที่สำคัญของสารดูดซับที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้ ได้แก่ capacity, selectivity, regenerability, kinetic, compatibility และราคา (cost) เป็นต้น

เบนโทไนต์ (Bentonite) ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกสีน้ำมันพืช โครงสร้างของสารดังกล่าวเป็นผลึกที่มีโครงร่าง 3 มิติขนาดไม่แน่นอน สามารถจับกับสารที่ไม่มีขั้วได้และมีคุณสมบัติเป็นสารแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) และสารดังกล่าวยังมีคุณสมบัติในการจับตัวกับแอมโมเนียและนำมาใช้ในฟาร์มหมู จากการที่แก๊สแอมโมเนียซึ่งผลิตจากเชื้อแบคทีเรียและเอนไซม์ส่งผลให้อากาศในฟาร์มหมูเป็นพิษ และยังทำให้ดินบริเวณใกล้เคียงมีความเป็นกรด จากผลการศึกษาโดยเติมสารซีโอไรท์ในฟาร์มหมู เป็นเวลา 14 วัน พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลงจาก 1100 มิลลิกรัมต่อลิตรลดลงมาถึงประมาณ 450 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอคทีเวเทดคาร์บอน (Activated carbon) เป็นสารดูดซับที่ได้จากธรรมชาติโดยการเผาไหม้วัสดุธรรมชาติ เช่น เปลือกไม้เนื้อแข็ง และเปลือกมะพร้าว เป็นต้น สารชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้ใน

อุตสาหกรรมน้ำมัน อาหารและเครื่องดื่ม และการควบคุมมลพิษ โดยมีคุณสมบัติช่วยในการฟอกสี อีกทั้งยังสามารถกำจัดสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ในอาหารได้ เนื่องจากโครงสร้างของ แอคติเวเทคคาร์บอนมีขนาดโครงสร้างขนาดใหญ่ (macro structure) ปัจจุบันยังมีการประยุกต์ใช้ใน อุตสาหกรรมฟอกสีของน้ำตาล กลไกในการทำงานของแอคติเวเทคคาร์บอน คือ การที่สารแอคติเวเทคคาร์บอนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (non-polar) จึงสามารถจับกับสารที่ไม่มีขั้ว เช่น ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ได้ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals forces) ส่วนใหญ่มีพื้นที่ผิวประมาณ 300 ถึง 1500 ตารางเมตรต่อกรัม

สารแอคติเวเทคคาร์บอน จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ แหล่งที่มา และกรรมวิธีการผลิต จะเห็นได้ว่าสารดูดซับแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่เป็นจุดเด่นแตกต่างกันไป ดังนั้นการนำสารแต่ละชนิดมาผสมรวมกันทำเป็นสารดูดซับผสมจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพยิ่งขึ้นไป

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้มีของเหลือจากการเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตรซึ่งมีปริมาณมากในแต่ละปี โดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนั้นอาจนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น ใช้ฟางข้าวเตรียมดินเพื่องานเกษตรกรรมต่างๆ ใช้ทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังคงมีวัสดุทางการเกษตรเป็นจำนวนมากที่เหลือให้เรานำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่าได้ เป็นที่ทราบกันดีว่า ส่วนประกอบสำคัญที่อยู่ในพืชคือ เซลลูโลส (cellulose) ถ้าหากสามารถแยกเซลลูโลสจากพืชได้จะทำให้มีแหล่งของเซลลูโลสที่มีต้นทุนต่ำ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง นอกจากฟางข้าวแล้วยังมีวัสดุทางธรรมชาติที่เป็นสิ่งที่เหลือจากการเกษตรที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสอยู่จำนวนมากได้แก่ ชานอ้อย เปลือกข้าวโพด ไหมข้าวโพด เป็นต้น

วิธีหนึ่งที่สามารถช่วยยืดอายุของน้ำมันทอดได้ คือ การพัฒนาระบบการกรองน้ำมันทอด ซึ่งตามปกติแล้วในอุตสาหกรรมอาหารทอดจะใช้กระดาษกรองเพียงอย่างเดียวเท่านั้นเพื่อแยกชิ้นเศษอาหารที่มีขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ออกจากน้ำมันทอด อย่างไรก็ตามในระหว่างการทอดจะเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่ทำให้น้ำมันสลายตัวเป็นอนุภาคเคมีขนาดเล็ก เช่น อนุมูลอิสระ อัลดีไฮด์ คีโตน และสารพอลิเมอร์ เป็นต้น สารเหล่านี้ไม่สามารถขจัดแยกและกรองออกโดยใช้กระดาษกรอง จึงเกิดการสะสมอยู่ในน้ำมันทอดและเป็นตัวเร่งการเสื่อมเสียของน้ำมันให้เกิดขึ้นเร็วขึ้น อีกทั้งจากงานวิจัยต่างๆ พบว่าสารเหล่านี้ยังเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคโดยตรง ประกอบกับปัญหาทางภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันส่งผลให้ราคาม้วนกระดาษที่ใช้ในระบบการกรองมีราคาแพงมาก ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุสิ้นเปลืองในอุตสาหกรรมอาหารทอด เนื่องจากกระดาษกรองเหล่านี้ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ และเมื่อใช้ในการกรองแล้วไม่สามารถนำมาใช้ได้อีก ดังนั้นถ้าหากสามารถพัฒนาไส้กรองน้ำมันทอดจากวัสดุธรรมชาติภายในประเทศ เช่น ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด ชานอ้อย โดย

ผสมกับสารดูดซับชนิดต่างๆทำให้ได้ไส้กรองน้ำมันที่มีคุณสมบัติในการจับตัวกับอนุภาคเคมีต่างๆที่เกิดจากการเสื่อมเสียของน้ำมันทอดได้ และมีความทนทานในการใช้งานสูง ก็จะลดการนำเข้าวัสดุกระดาษกรองจากต่างประเทศ จึงเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศ และเสริมสร้างการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศต่อไป

2.9 เอกสารอ้างอิง

- กัญญา ตระกูลกู. 2533. เทคโนโลยีโพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอกซ์เพรส มีเดีย. 304หน้า.
- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2526. โพลีเมอร์เชิงพาณิชย์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 471หน้า.
- นิธิยา รัตนปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า155-158, 160-178.
- นิธิยา รัตนปนนท์. 2539. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. หน้า173-174, 176-177.
- วิทยา ปันสุวรรณ. 2541. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36 กุมภาพันธ์ 2541. กรุงเทพฯ. หน้า 271.
- Angle, M.N., Ferrando, F., Farriol, X., Salvado, J. 2001. Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels. Effect of the pre- treatment severity and lignin addition. Biomass and Bioenergy. 21: 211-224.
- Bandyopadhyay, S., and Roy, N.C. 1992. Brief outline of rice processing industry-its products and by-products. In Rice Processing Technology. New Delhi : Oxford and IBH Publishing.
- Biswas, A., Saha, B.C., Lawton, J.W., Shagren, R.L. and Willett, J.L. 2005. Process for obtaining cellulose acetate from agricultural by-products. Carbohydrate Polymer: 1-4.
- Davidson, J.H., and McMuury, P.H. 2000. Adsorption. ME5115.
- Doner, L.W., and Hicks, K. 1997. Isolation of hemicellulose from corn fiber by alkaline hydrogen peroxide extraction. Cereal Chem. 74: 176-181.
- Ebringerova,A., and Heinze,T. 2000. Xylan and xylan derivatives-biopolymers with valuable

- properties, I. Natural occurring xylans structures, isolation procedures and properties. *Macromol. Rapid Commun.* 21: 542-556.
- Excoffier, G., Peguy, A., Rinaudo, A., and Vignon, M.R. 1991. Evolution of lignocellulosic components during steam explosion. Potential applications. In :Focher, B. Maretti, A., Crescenzi, V. (Eds.), *Steam Explosion Techniques Fundamentals and Industrial Applications*. Gordon and Breach Science Publisher. Philadelphia. pp.8-95.
- Fellows, P.J. 2000. *Food Processing Technology*. 2nd edition. Woodhead Publishing Limited. Washington. pp.355-362.
- Grohmann, K., Torget, R., and Himmel, M. 1985. Optimizing of dilute acid pretreatment of biomass. *Biotechnology and Bioengineering Symposium*. 15: 59-80.
- Mason, W.H. 1929. Apparatus and process of explosion defibration of lignocellulosic material. U.S. Patent No. 1655618.
- Moniruzzaman, M. 1996. Saccharification and alcohol fermentation of steam-exploded rice straw. *Bioresource Technology*. 55: 111-117.
- Moniruzzaman, M., Nakamura, Y., and Sawada, T. 1992. Analysis of mathematical model in degradation of lignocellulose by steam explosion. 5th International Conference on Biotechnology in the pulp and paper Industry. Kyoto, Japan. pp.291-296.
- Montane, D., Farriol, X., Salvado, J., Jollez, P., and Chornet, E. 1998. Application of steam explosion to the fractionation and rapid vapor-phase alkaline pulping of wheat straw. *Biomass and Bioenergy*. 14(3): 261-276.
- Montane, D., Farriol, X., Salvado, J., Jollez, P., and Chornet, E. 1998. Fractionation of wheat straw by steam-explosion pretreatment and alkali delignification cellulose pulp and byproducts from hemicellulose and lignin. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 18: 171-191.
- Pan, G.X., Bolton, J.L., Leary, G.J. 1999. Reactivity of ferulic acid and its derivatives toward hydrogen peroxide and peracetic acid. *J. Agric. Food Chem.* 47: 3325-3331.
- Pan, X.J., Sano, Y., Nakashima, H., and Uraki, Y. 1998. Atmospheric acetic acid pulping of rice straw I: pulping conditions and properties of pulp (in Japanese). *Japan Tappi Journal*. 52: 408-415.
- Roger M. Rowell. 2005. *Hand book of Wood Chemistry and wood composite*. CRC

Press. USA. pp.35-71.

- Sun, X.F., Xu, F., Sun, R.C., Fowler, P. and Baird, M.S. 2005. Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw. *Carbohydrate Research*. 340: 97-106.
- Sun, X.F., Xu, F., Sun, R.C., Geng, Z.C., Fowler, P. and Baird, M.S. 2005. Characteristics of degraded hemicellulosic polymers obtained from steam-exploded wheat straw. *Carbohydrate Polymers*. 60: 15-26.
- Sun, X.F., Xu, F., Sun, R.C., Wang, Y.X., Fowler, P. and Baird, M.S. 2004. Characteristics of degraded lignin obtained from steam-exploded wheat straw. *Polymers Degradation and Stability*. 59: 107-115.
- Wood, T.M., and Saddler, J.N. 1988. Increasing the availability of cellulose in biomass materials. *Methods in Enzymology*. 160: 3-11.
- Xiao, B., Sun, X.F., and Sun, R.C. 2001. Chemical, Structural, and thermal characterizations of alkali-soluble lignins and hemicelluloses, and cellulose from maize stems, rye straw, and rice straw. *Polymer Degradation and Stability*. 74:307-319.

บทที่ 3

การศึกษาขั้นตอนการผลิตและชนิดของวัสดุทางธรรมชาติที่เหมาะสมในการผลิตแผ่น กรองและไส้กรองน้ำมันทอด

3.1 บทคัดย่อ

การสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 1 โมลาร์ ลักษณะของเซลลูโลสที่ได้จะค่อนข้างแข็งคงรูปร่าง ส่วนเซลลูโลสที่ได้จากการระเบิดด้วยไอน้ำของเปลือกข้าวโพดหวาน ไหมข้าวโพด เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว และชานอ้อย พบว่า เซลลูโลสที่สกัดได้จะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มมาก เนื่องจากการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 198 ถึง 218 องศาเซลเซียส แต่วิธีการสกัดด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นมีข้อดีคือใช้เวลาเพียง 1.5 ถึง 5 นาทีเท่านั้นเอง และเมื่อนำมาทำเป็นเซลลูโลสอะซิเตทพบว่าเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวเกิดเป็นฟิล์มของเซลลูโลสอะซิเตทดีที่สุดและเกิดฟิล์มได้มากที่สุด รองลงมาคือเปลือกข้าวโพดหวาน และฟางข้าว แต่เปลือกข้าวโพดหวานจะเกิดสีน้ำตาลเข้มมาก วัตถุดิบที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และการระเบิดด้วยไอน้ำ คือเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว รองลงมาคือฟางข้าว และเมื่อนำมาทำเป็นเซลลูโลสอะซิเตทพบว่าเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวเกิดเป็นฟิล์มของเซลลูโลสอะซิเตทดีที่สุดและเกิดฟิล์มได้มากที่สุด รองลงมาคือเปลือกข้าวโพดหวาน และฟางข้าว และเมื่อนำเซลลูโลสอะซิเตทมาผสมลงในน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วมาวัดปริมาณกรดไขมันอิสระพบว่า สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้มาก

คำสำคัญ : เซลลูโลส เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว โซเดียมไฮดรอกไซด์ การระเบิดด้วยไอน้ำ

3.2 บทนำ

ส่วนประกอบที่สำคัญที่อยู่ในพืชคือ เซลลูโลส ถ้าหากสามารถแยกเซลลูโลสจากวัสดุทางธรรมชาติหรือทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว เปลือกข้าวโพด ชานอ้อย เป็นต้น ก็จะทำให้มีแหล่งของเซลลูโลสที่มีต้นทุนต่ำ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง และกระบวนการที่ใช้ในการแยกเส้นใยจากพืชที่นิยมกันมากคือ การระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam explosion) ซึ่งจะทำได้เส้นใยที่มีคุณภาพดี วิธีการนี้สามารถกำจัดสารต่างๆ ที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไปได้ นอกจากนี้แล้วการระเบิดด้วยไอน้ำยังเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งเราสามารถที่จะนำเอาเส้นใยเซลลูโลสที่ได้มาใช้ได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น จากคุณสมบัติในการที่มีพื้นที่ผิวที่มากขึ้นจึงทำให้สามารถดัดแปรเส้นใยให้มีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ได้มากขึ้น และสามารถที่จะนำมาผลิตเป็นแผ่นกรองที่ใช้ในการแยกและกรองน้ำมันจากอุตสาหกรรมอาหารทอดได้เป็นอย่างดี

วิธีการแยกองค์ประกอบของเซลลูโลส สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้วิธีทางกล คือ การบด การ โม่ การใช้กรด เช่น กรดซัลฟิวริกเจือจางหรือเข้มข้น (Pan และคณะ, 1998; Grohmann และคณะ, 1985) การใช้ด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ แอมโมเนีย ด่างเปอร์ออกไซด์ (Doner และ Hicks, 1997) หรือวิธีออตไฮโดรไลซิส เช่น การใช้ไอน้ำร่วมกับความดัน การระเบิดด้วยไอน้ำ และการใช้น้ำร้อน

การระเบิดด้วยไอน้ำนั้นจะต้องเลือกความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมกับชนิดของวัสดุทางธรรมชาติ เพื่อให้ได้เซลลูโลสที่ดี (Moniruzzaman, 1996)

การใช้สารละลายด่าง เพื่อสกัดเอาองค์ประกอบต่างๆ ออกมา Xiao และคณะ (2001) รายงานว่า การใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย เนื่องจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นพวกที่ชอบสารที่มีขั้ว (hydrophilic) ซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ ในขณะที่ลิกนินเป็นพวกที่ชอบสารที่ไม่มีขั้ว (hydrophobic) ที่ไม่ละลายน้ำจึงต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัดแยกเซลลูโลสออกมา

ดังนั้นการทดลองนี้จึงต้องการศึกษาหาวิธีและชนิดของวัสดุทางธรรมชาติที่เหมาะสมในการสกัดเยื่อเซลลูโลสเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นกระดาษกรองและไส้กรองน้ำมันทอด

3.3 วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

การคัดเลือกขั้นตอนการผลิตและชนิดของวัสดุทางธรรมชาติที่เหมาะสม

การสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำและการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมื่อผ่านกระบวนการสกัดเซลลูโลสในขั้นต้นแล้วจึงกำจัดการประกอบอื่นๆ คือ เสมิเซลลูโลส ลิกนินออก และวิเคราะห์ร้อยละปริมาณผลผลิตที่ได้ (%yield) ปริมาณเซลลูโลส เพื่อเลือกวิธีการ สกัดที่ได้คุณลักษณะของเซลลูโลสที่ดีที่สุด และนำเซลลูโลสมาทำการปรับหมู่ฟังก์ชันภายใน โครงสร้างของเซลลูโลสเพื่อให้ได้เส้นใยที่มีความสามารถในการเกาะจับกับสารดูดซับผสมที่จะ เติมลงไปฝังตัวอยู่ได้ ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ โดยการทำให้ปฏิกิริยาอะเซทิลเลชัน (acetylation) เพื่อให้ ได้เซลลูโลสอะซิเตทและทดลองผสมเซลลูโลสอะซิเตทลงไปในแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอด และนำมาตรวจสอบโครงสร้างและคุณสมบัติของแผ่นกรองและไส้กรองที่ผลิตขึ้นมาได้ โดยการ ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของแผ่นกรองและไส้กรองที่ได้โดยการตรวจสอบ โครงสร้างด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

วิธีการสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่างวัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด ประกอบด้วย เปลือกข้าวโพดหวาน เปลือกข้าวโพด ข้าวเหนียว ไหมข้าวโพดข้าวเหนียวที่เหลือจากกระบวนการผลิตข้าวโพดคั่วจากร้านค้าใน มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม ฟางข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวข้าว และ ขานอ้อยที่เหลือจากการคั้นน้ำอ้อยสด มาทำแห้งโดยการตากแดดที่อุณหภูมิประมาณ 30 ถึง 35 องศาเซลเซียสประมาณ 1 วัน และเก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน เป็นระยะเวลา 1 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด มาต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทำการผึ่งให้แห้งโดยวางลงบนตะแกรงและผึ่งลมให้แห้งพอหมาด และนำมาอบใน ตู้อบลมร้อน (WTB binder รุ่น ED 53, Germany) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตัวอย่างวัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดที่อบแห้งมีความชื้นประมาณร้อยละ 7 ถึง 8 โดย น้ำหนักแห้ง มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ความยาวประมาณ 1 ถึง 2 เซนติเมตร และนำมาปั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ด้วยเครื่องปั่น (Moulinex รุ่น DDF 341, France) และชั่งตัวอย่างประมาณ 20 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร เติมน้ำทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากครบ 1 ชั่วโมงแล้วนำตัวอย่างมาแช่ ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร เป็นเวลา 18 ถึง 20 ชั่วโมง ล้างตัวอย่างเยื่อเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่นจนหมดสภาพความเป็นด่าง โดยการทดสอบ ด้วยการวัดด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่างให้มีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 7 ถึง 8 และนำมา อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ด้วยตู้อบลมร้อน เมื่อได้เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด

หวาน เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว ไหมข้าวโพดข้าวเหนียว ฟางข้าว และขานอ้อยแล้วจึงนำตัวอย่างเซลลูโลสที่ได้มาดัดแปลงโครงสร้างด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ เพื่อให้ได้เซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate)

วิธีการสกัดเซลลูโลสด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam Explosion)

ตัวอย่างวัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด ประกอบด้วย เปลือกข้าวโพดหวาน เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว ไหมข้าวโพดข้าวเหนียวที่เหลือจากกระบวนการผลิตข้าวโพดคั่วจากร้านค้าในมหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม ฟางข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวข้าว และขานอ้อยที่เหลือจากการคั้นน้ำอ้อยสดมาทำแห้งโดยการตากแดดที่อุณหภูมิประมาณ 30 ถึง 35 องศาเซลเซียสประมาณ 1 วัน และเก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน เป็นระยะเวลา 1 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด มาต้มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทำการผึ่งให้แห้งโดยวางลงบนตะแกรงและผึ่งลมให้แห้งพอหมาด และนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงตัวอย่างวัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดที่อบแห้งมีความชื้นประมาณร้อยละ 7 ถึง 8 โดยน้ำหนักแห้ง ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ความยาวประมาณ 3 ถึง 5 เซนติเมตร นำไปผ่านกระบวนการระเบิดด้วยไอน้ำด้วยเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำขนาดความจุ 2.5 ลิตร ที่มีการทำงานเป็นครั้ง (batch) ของบริษัท Nütto Koatsu ประเทศญี่ปุ่น โดยมีสถานะในการระเบิดด้วยไอน้ำดังนี้ ความดัน 15 บาร์ อุณหภูมิ 198 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 นาที สำหรับตัวอย่างเปลือกข้าวโพดหวาน เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว ไหมข้าวโพดข้าวเหนียว และ ระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดัน 21 บาร์ อุณหภูมิ 215 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที สำหรับตัวอย่างฟางข้าว และขานอ้อยนำตัวอย่างที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำมาแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเฮมิเซลลูโลสที่ไฮโดรไลซ์ออกมา และนำมาอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 7 โดยน้ำหนักแห้ง คำนวณหาร้อยละผลผลิตที่ได้

ตัวอย่างวัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและอบแห้งแล้วปริมาณ 25 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โดยใช้ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 กรัม ต่อกรัมของตัวอย่าง) ดังนั้นจึงใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 2.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร และนำตัวอย่างที่แช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์วางในอ่างน้ำ (STUART SCIENTIFIC รุ่น SBS 30, UK) ที่อุณหภูมิ 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากครบเวลา 1 ชั่วโมงแล้วล้างตัวอย่างเชื้อเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่น จนหมดสภาพความ

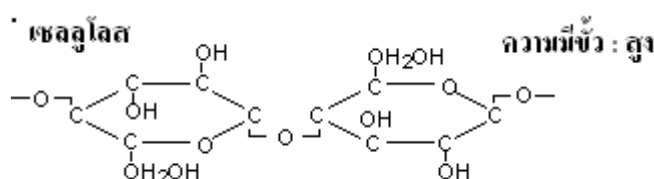
เป็นค่า และอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะได้ตัวอย่างเซลลูโลส แล้วนำตัวอย่างเซลลูโลสที่ได้มาดัดแปลงโครงสร้างด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ เพื่อให้ได้เซลลูโลสอะซิเตท

ขั้นตอนการผลิตเซลลูโลสอะซิเตทจากเยื่อเซลลูโลสธรรมชาติ

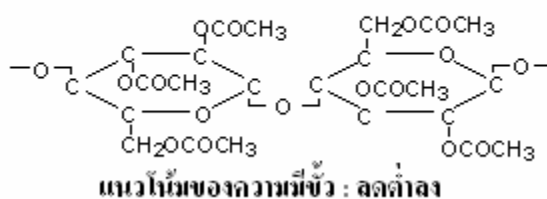
เยื่อเซลลูโลสนำมาอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบดด้วยครกหินและร่อนผ่านตะแกรง เก็บตัวอย่างที่บดได้บรรจุในถุงโพลีเอทิลีน เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำเยื่อเซลลูโลสที่บดได้มาผลิตเซลลูโลสอะซิเตทด้วยการทำปฏิกิริยาอะเซทิลเลชัน (acetylation) โดยนำตัวอย่างเยื่อที่บดประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม (round bottom flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติก 0.5 กรัม อะซิติกแอนไฮไดรด์ 5 กรัม เมทิลลีนคลอไรด์ 30 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริก 0.04 กรัม หลังจากนั้นเขย่าผสมให้เข้ากันและนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง เมื่อครบแล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และกรองด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ (EYELA รุ่น Aspirator A-3S, Japan) โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman International Ltd., England) และเก็บสารละลายที่กรองได้ไว้ในบีกเกอร์

การสกัดเซลลูโลสอะซิเตทที่อยู่ในสารละลายที่กรองได้ด้วย คลอโรฟอร์มปริมาตร 60 มิลลิลิตร เติมนลงไปในช่วงก้นกลม และผสมด้วยการกวนเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วกรองด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ (EYELA รุ่น Aspirator A-3S, Japan) โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No.1) ส่วนกากที่อยู่บนกระดาษกรองให้ทิ้งไป และนำสารละลายที่กรองได้ใส่ลงในขวดก้นกลมแล้วระเหยส่วนที่กรองได้ให้แห้งโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศ (BUCHI Vac[®] รุ่น V-500) เพื่อให้ได้เซลลูโลสอะซิเตทที่เป็นฟิล์มเคลือบอยู่ในขวดหลังจากนั้นใช้เอทิลแอลกอฮอล์เพื่อแยกฟิล์มของอะซิเตทออกมาจากขวด แล้วกรองด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อให้ได้เซลลูโลสอะซิเตทที่สะสมอยู่ในกระดาษกรอง และนำมาระเหยให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ตามวิธีของ Biswas และคณะ, 2005)

การเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลเซลลูโลสไปเป็นเซลลูโลสอะซิเตดดังนี้



ไตรอะซิเตด (อัตราการผลิตปฏิกิริยาร้อยละ 92)



ขั้นตอนการผลิตเซลลูโลสแซนเทท (Cellulose xanthate) จากฟางข้าวที่มีลักษณะเป็นฟองน้ำ

การเตรียมสารละลายหนืดขั้นตอนเริ่มแรกนำฟางข้าวบดประมาณ 10 กรัม ผสมกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 18 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที ขั้นตอนต่อไปนำ สารละลายไปกรองโดยกากที่กรองได้นำไปใส่ลงในบีกเกอร์แล้วปิดด้วยแผ่นพาราฟิน บ่มทิ้งไว้ที่ อุณหภูมิห้อง 20 ชั่วโมง เมื่อครบแล้วให้นำมาเติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ปิดด้วยแผ่นพาราฟินและบ่มต่ออีก 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 4 หลังจากนั้นบ่มต่ออีก 22 ชั่วโมง เมื่อบ่มเสร็จแล้วจะได้สารละลายหนืด

ขั้นตอนต่อไปคือ การสร้างฟองน้ำเซลลูโลสโดยนำสารละลายหนืดผสมกับโซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) แล้วเทสารละลายลงในแม่พิมพ์ และนำแม่พิมพ์แช่ลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มี ความเข้มข้นร้อยละ 10 จะได้ฟองน้ำเส้นใยธรรมชาติจากเซลลูโลสฟางข้าว

ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีดังนี้

1. Cellulose fiber + NaOH $\longrightarrow$ alkali cellulose + water
R-OH + H₂O
2. Alk. Cellulose $\longrightarrow$ Aged $\longrightarrow$ alkali cellulose aging
3. Aged AlkaliCellulose + CS₂ $\longrightarrow$ R_{cellulose}OCSSNa
4. Cellulose Xanthate + Dilute NaOH $\longrightarrow$ Viscous
R_{cellulose}OCSSNa
5. Viscous + H₂SO₄ $\longrightarrow$ 2R_{cellulose}OH + 2CS₂

การทดสอบผสมเซลล์โลสอะซิเตทธรรมชาติจากวัสดุทางธรรมชาติลงในน้ำมันทอดเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพของการช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)

โดยการนำเซลล์โลสอะซิเตทจากวัตถุดิบเปลือกข้าวโพดหวาน เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว ใหม้ข้าวโพดข้าวเหนียว ฟางข้าว ชานอ้อย ที่บดให้เป็นผงปริมาณร้อยละ 1 ของปริมาณน้ำมัน แล้วผสมลงในน้ำมันทอดปริมาตร 20 มิลลิลิตร กวนด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำน้ำมันทอดที่ผสมผงเซลล์โลสอะซิเตทไปกรอง แล้วนำน้ำมันที่กรองได้มาหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SAS เวอร์ชัน 8.0 และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีผลต่างน้อยที่สุด (Least Significant Difference, LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

3.4 ผลการทดลองและการวิจารณ์

จากการทดลองนำวัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิด คือ เปลือกข้าวโพดหวาน เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว ใหม้ข้าวโพดข้าวเหนียว ฟางข้าว และชานอ้อย มาสกัดเพื่อแยกส่วนของเซลล์โลสออกมาจากวัตถุดิบโดยวิธีการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ และวิธีการระเหิดด้วยไอน้ำและกำจัดส่วนของเฮมิเซลล์โลสและลิกนินออก โดยการล้างด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ พบว่าวิธีการระเหิดด้วยไอน้ำนั้นสามารถทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 เท่า ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งวิธีการระเหิดด้วยไอน้ำนั้นเป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้สารเคมีแต่จะใช้ไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงและมีความดันสูง เพื่อช่วยทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์เกิดการแตกหักและทำให้องค์ประกอบของโครงสร้างก็คือ เซลล์โลส เฮมิเซลล์โลส และลิกนินแตกแยกออกและสามารถที่จะแยกส่วนของเซลล์โลสออกมาได้ ซึ่งจากลักษณะของเซลล์โลสจากวัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นจะมีลักษณะของเส้นใยที่มีโครงสร้างที่เหนียวและแข็ง และปริมาณผลผลิตที่ได้มีปริมาณน้อย ส่วนเส้นใยเซลล์โลสที่ได้จากวิธีการระเหิดด้วยไอน้ำนั้นจะได้เป็นเส้นใยที่ดีเพราะโครงสร้างของเส้นใยที่ได้นั้นถูกทำลายโครงสร้างและเมื่อผ่านการระเหิดด้วยไอน้ำแล้วส่วนของเฮมิเซลล์โลสจะถูกไฮโดรไลซ์ออกมา และจะยังคงเหลือส่วนของลิกนินและเซลล์โลสอยู่โดยเฮมิเซลล์โลสนั้นล้างออกได้ด้วยน้ำ และลิกนินจะล้างออกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เนื่องจากการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นใช้อุณหภูมิและความดันที่สูงจึงทำให้วัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดเมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วจะมีสีน้ำตาลเข้ม โดยเฉพาะเปลือกข้าวโพดหวานและชานอ้อยที่จะมีสีน้ำตาลคล้ำมาก เนื่องมาจาก เมื่ออุณหภูมิในการระเบิดด้วยไอน้ำที่สูงประมาณ 200 องศาเซลเซียสนั้น ส่วนของเฮมิเซลลูโลสจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยเฮมิเซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นโมโนแซคคาไรด์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ ที่ละลายได้ โดยกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติกที่ได้มาจาก เฮมิเซลลูโลสที่ถูกอะเซทิลเลท โดยหมู่อะเซทิล ในเฮมิเซลลูโลสถูกแยกออก (cleaved) จึงทำให้มีค่าความเป็นกรดต่างในระหว่างการระเบิดด้วยไอน้ำอยู่ที่ประมาณ 3 ถึง 4 และเกิดการสร้างสารอนุพันธ์ของเฟอฟูรอล (furfural) เช่น เฟอฟูรอลจากไซโลซิล (xylosyl) และ 5-ไฮดรอกซีเมทิล และสารเหล่านี้เองจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ทำให้มีสีน้ำตาลคล้ำในตัวอย่างที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ pseudo-melanoidins ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่สร้างขึ้นในการระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูง (Nergro และคณะ, 2003) ซึ่งจะทำให้เกิดสารสีเกิดขึ้นจึงทำให้มีสีน้ำตาลคล้ำ และในวัสดุแต่ละชนิดนั้นก็จะมีสถานะในการระเบิดด้วยไอน้ำที่เหมาะสมต่อวัสดุทางธรรมชาติแต่ละชนิดที่แตกต่างกันเนื่องจากความแข็งแรงของโครงสร้างที่ไม่เท่ากัน โดยจากผลการทดลองจะพบว่าเซลลูโลสจากไหมข้าวโพดนั้นได้ปริมาณผลผลิตที่ได้มากที่สุดแต่จากลักษณะเส้นใยที่ได้ไหมข้าวโพดข้าวเหนียนั้นโครงสร้างเป็นเส้นใยที่เล็กอยู่แล้วถึงแม้ว่าจะผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูงก็ยังไม่สามารถทำลายโครงสร้างให้เล็กลงกว่านี้ได้อีก และวัสดุทางธรรมชาติที่ให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ที่ดีและได้เป็นเส้นใยที่ีรื่องลงมาคือ เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตที่ได้ (% Yield) จากวัตถุดิบต่างๆที่ได้จากวิธีการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และการระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam Explosion)

ตัวอย่าง	ร้อยละผลผลิตที่ได้ของเซลลูโลส	
	การสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์	การสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ
เปลือกข้าวโพดหวาน	35.05	51.24
เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว	36.40	54.12
ไหมข้าวโพดข้าวเหนียว	39.45	77.16
ฟางข้าว	46.40	46.44
ชานอ้อย	39.80	51.08

หลังจากนั้นจึงนำเซลลูโลสที่ได้มาหาปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและปริมาณแอลฟาเซลลูโลส ดังตารางที่ 3.2 ก็พบว่าวัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลสที่สูงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นกระดาษกรองต่อไปได้ ซึ่งควรจะมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสที่สูง และการปรับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำเซลลูโลสแซนเทท (cellulose xanthate) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นฟองน้ำ โดยเมื่อทดลองทำเซลลูโลสแซนเททก็พบว่า ลักษณะของเซลลูโลสที่ได้จะคล้ายฟองน้ำและมีความเป็นรูพรุนมากเกินไป จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นแผ่นกระดาษกรอง ดังนั้นจึงนำเซลลูโลสจากวัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดมาปรับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสด้วยปฏิกิริยาอะเซทิลเลชัน (acetylation) เพื่อให้ได้เป็นเซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate) ซึ่งจะได้เป็นลักษณะเป็นฟิล์ม ซึ่งวัสดุทางธรรมชาติที่สามารถเกิดฟิล์มได้ดีที่สุดและผลผลิตที่ได้มากคือ เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว และบดให้เป็นผงเพื่อที่จะใช้ผสมลงไปแผ่นกระดาษกรองเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการจับกับสารเคมีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในน้ำมันทอดอาหาร จึงทำการทดสอบนำเซลลูโลสอะซิเตทจากวัสดุทางธรรมชาติทั้ง 5 ชนิดคือ เปลือกข้าวโพดหวาน เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว ไหมข้าวโพดข้าวเหนียว ฟางข้าว และชานอ้อย ทดลองผสมลงในน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วนำน้ำมันที่ผสมผงเซลลูโลสอะซิเตทมาวัดปริมาณกรดไขมันอิสระดังตารางที่ 3.3 ก็พบว่าสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงได้ ดังนั้นจึงนำเซลลูโลสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวซึ่งเกิดเป็นฟิล์มของเซลลูโลสอะซิเตทที่ดีและได้ปริมาณมากมาทดลองผสมลงไปแผ่นกระดาษกรองที่จะผลิตขึ้นที่จะมีการผสมสารดูดซับผสมลงไปด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วให้ดีขึ้น

และการทดลองนำเซลลูโลสทางการค้ามาปรับหมู่ฟังก์ชันให้ได้เป็นเซลลูโลสอะซิเตทดังตารางที่ 3.4 จะพบว่า เซลลูโลสทางการค้านั้นเมื่อนำมาผลิตเป็นเซลลูโลสอะซิเตทจะเกิดฟิล์มได้ไม่ดีเท่ากับเซลลูโลสที่ได้จากวัสดุทางธรรมชาติและลักษณะของเซลลูโลสอะซิเตทที่ได้ยังมีลักษณะเป็นผงสีขาวและเป็นแผ่น โดยเซลลูโลสอะซิเตทจากวัสดุทางธรรมชาติที่ผลิตได้จะมีค่าระดับของการแทนที่ (degree of substitution; DS) ประมาณ 1.62 ถึง 1.93 ส่วนเซลลูโลสอะซิเตทที่ได้จากเซลลูโลสทางการค้าจะมีค่าระดับของการแทนที่ประมาณ 1.05 ถึง 1.23 เมื่อทดลองนำมาผสมลงในน้ำมันที่ผ่านการทอดและวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันก็พบว่า น้ำมันทอดที่ผสมผงเซลลูโลสอะซิเตททางการค้าสามารถลดปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณสารประกอบที่มีขี้ขาวได้ แต่จะไม่มีผลต่อการลดของปริมาณกรดไขมันอิสระ แต่เมื่อเทียบกับเซลลูโลสอะซิเตทจากวัสดุทางธรรมชาติแล้วเซลลูโลสอะซิเตทจากวัสดุทางธรรมชาติจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าและสามารถเกิดปฏิกิริยาอะเซทิลเลชันได้ดีกว่า ซึ่งการปรับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสให้เป็นเซลลูโลสอะซิเตทนั้นเนื่องจาก

โครงสร้างของเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่ 3 หมู่ที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งปฏิกิริยาอะเซทิลเลชันจะทำให้มีหมู่ -OCOCH₃ เข้าไปแทนที่หมู่ -OH ทำให้ความมีขี้ของโมเลกุลลดน้อยลง ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันทอดได้

ตารางที่ 3.2 ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส และแอลฟา-เซลลูโลส ของ ฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกข้าวโพด ข้าวโพดคั่วเหนียว ใหม้ข้าวโพดคั่วเหนียว เปลือกข้าวโพดหวาน ใหม้ข้าวโพดหวาน

ตัวอย่าง	ร้อยละไฮโดรเซลลูโลส	ร้อยละแอลฟา-เซลลูโลส
ฟางข้าว	92.62	76.69
ชานอ้อย	90.80	80.43
เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว	88.45	78.88
ใหม้ข้าวโพดข้าวเหนียว	92.16	88.57
เปลือกข้าวโพดหวาน	81.31	77.59
ใหม้ข้าวโพดหวาน	84.91	92.32

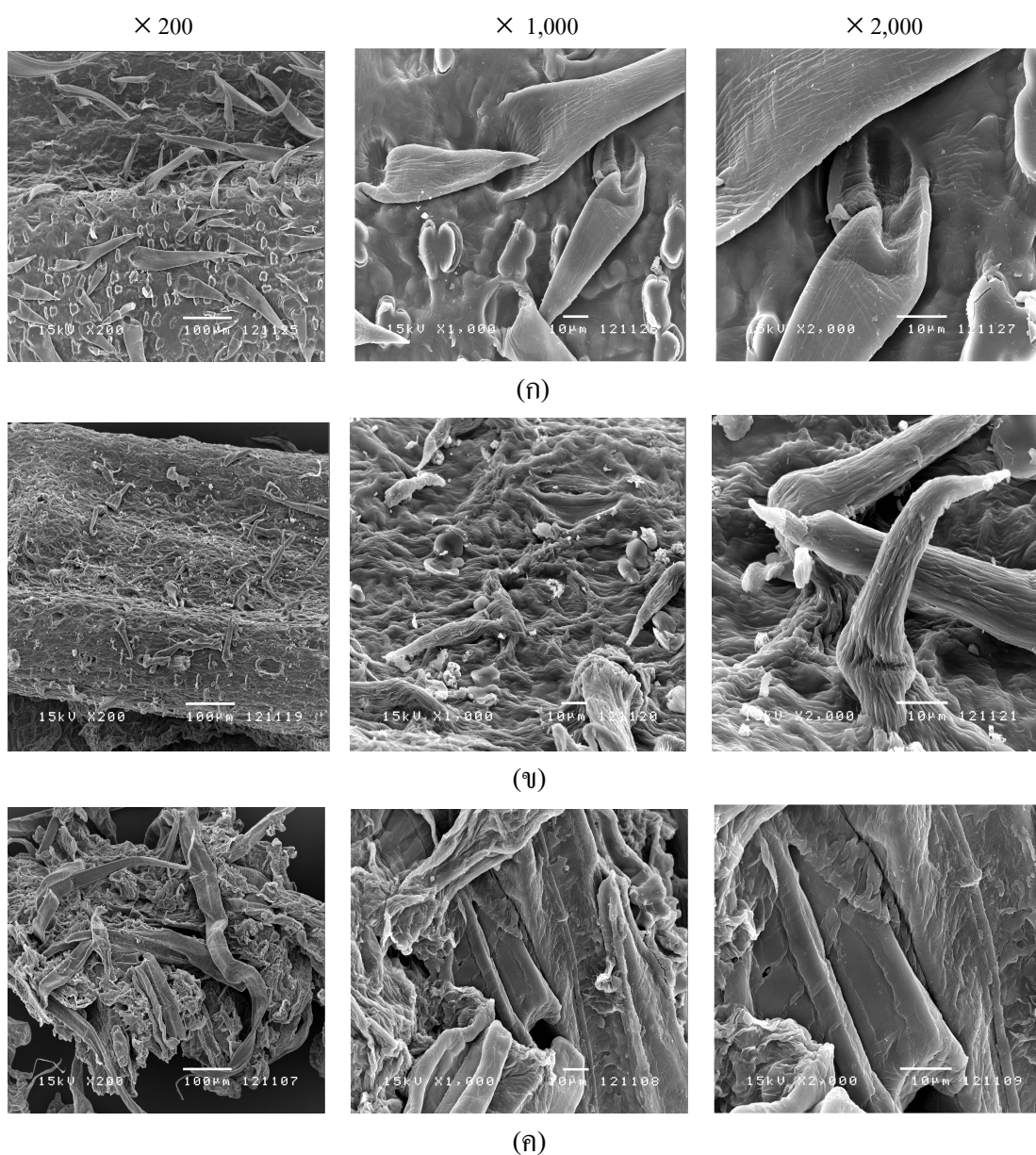
ตารางที่ 3.3 ร้อยละกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดที่ผสมผงเซลลูโลสอะซิเตทจากวัตถุดิบต่างๆ จากเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่าง	ร้อยละกรดไขมันอิสระ	
	ผสมเซลลูโลสอะซิเตทจากวิธีระเบิดด้วยไอน้ำ	ผสมเซลลูโลสอะซิเตทจากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์
น้ำมันทอด	0.68	1.80
เปลือกข้าวโพดหวาน	0.35	0.36
เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว	0.47	0.48
ใหม้ข้าวโพดข้าวเหนียว	0.32	0.44
ฟางข้าว	0.41	0.32
ชานอ้อย	0.32	0.32

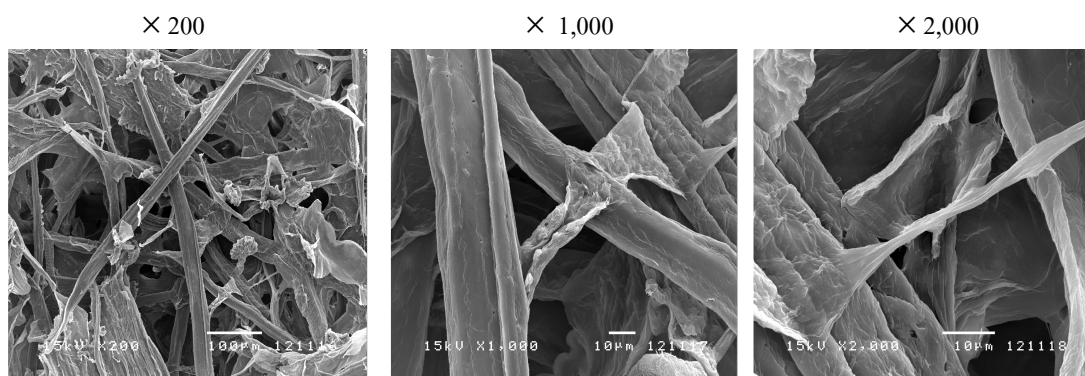
ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมันทอดที่ผสมผงเซลล์โลสอะซิเตทจากเซลล์โลส
ทางการค้าในปริมาณที่แตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ค่าเปอร์ออกไซด์	ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ (ร้อยละ)
น้ำมันทอด เซลล์โลส	0.4189	0.3946	15.52
อะซิเตทร้อยละ 0.5	0.4203	0.2034	13.65
เซลล์โลส อะซิเตทร้อยละ 1	0.4192	0.2957	11.12

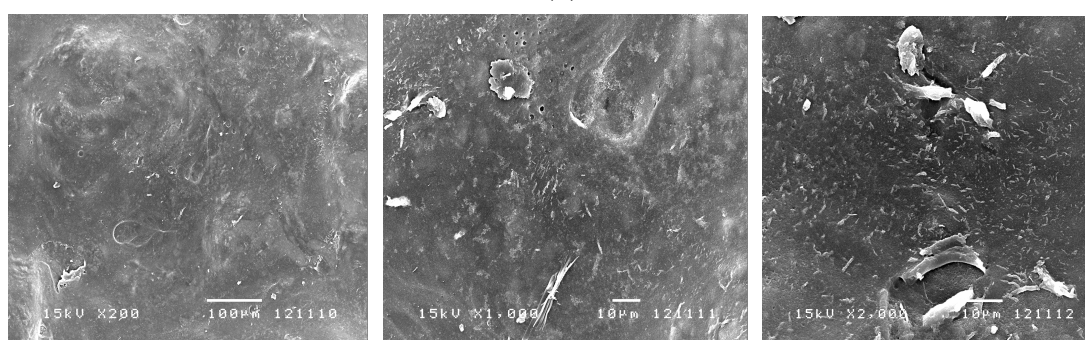
รูปร่างลักษณะของกระดาษกรองที่ผลิตได้จากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว
วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)



ภาพที่ 3.1 รูปร่างลักษณะของเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ผ่านการสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีการต่างๆ (ก) วัตถุดิบเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว (ข) เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสกัดโดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (ค) เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ

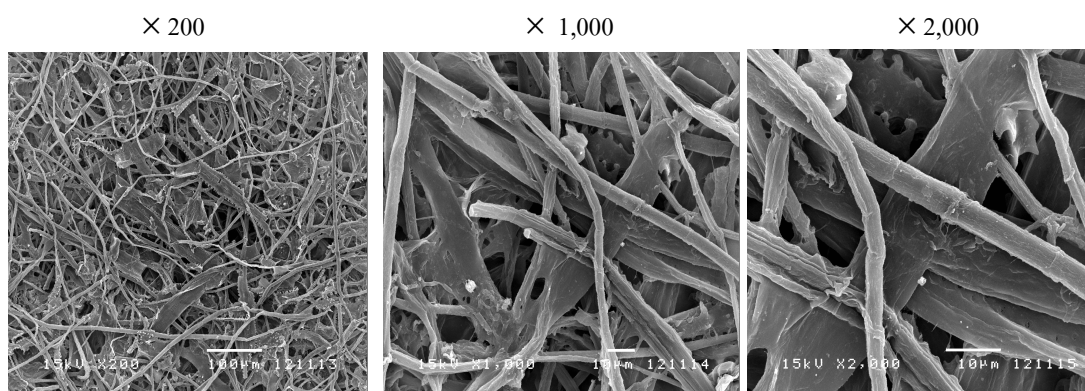


(ก)

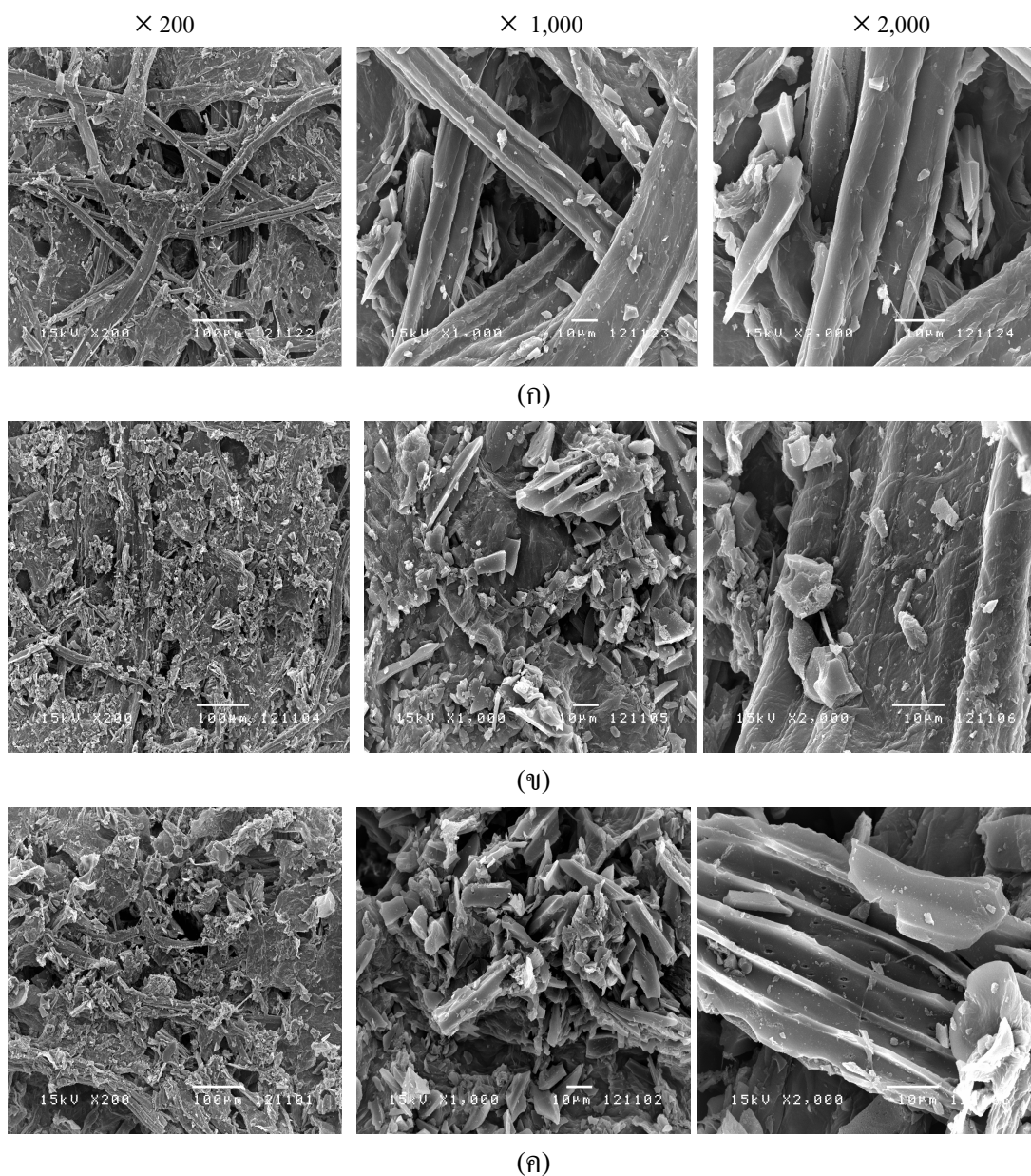


(ข)

ภาพที่ 3.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกระด้างจาก
เปลือกข้าวโพด (ก) กระด้างจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว
(ข) เซลลูโลสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว



ภาพที่ 3.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ
กระด้างจากฟางข้าว



ภาพที่ 3.4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ
 กระดาษจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผสมสารดูดซับ
 ปริมาณแตกต่างกัน (ก) ผสมสารดูดซับร้อยละ 25
 (ข) ผสมสารดูดซับร้อยละ 35 (ค) ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ
 35 และเซลล์ูโลสอะซิเตทร้อยละ 1

3.5 สรุปผลการทดลอง

การสกัดเซลลูโลสจากฟางข้าว เปลือกข้าวโพดหวาน ไหมข้าวโพด เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว และชานอ้อยด้วยวิธีการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ นั้นพบว่าการนำวัตถุดิบมาต้มในน้ำเดือดก่อนและตัดเป็นชิ้นเล็กๆ และนำวัตถุดิบมาปั่นเพื่อให้ได้เป็นเส้นใยที่ดีและเมื่อนำมาสกัดแล้วทำให้สารละลายต่างสามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง และจากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะพบว่าวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการนำมาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คือฟางข้าว เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว และไหมข้าวโพดข้าวเหนียว โดยเซลลูโลสจากไหมข้าวโพดข้าวเหนียวที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ เซลลูโลสของฟางข้าวและเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวนั้นจะมีลักษณะเป็นเส้นใยที่ดี และเมื่อนำเซลลูโลสจากฟางข้าว เปลือกข้าวโพดหวาน ไหมข้าวโพด เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว และชานอ้อยมาดัดแปรโครงสร้างด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ให้เป็นเซลลูโลสอะซิเตท พบว่าเซลลูโลสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพดหวานและเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสามารถเกิดเป็นฟิล์มของเซลลูโลสอะซิเตทที่ดีและเกิดฟิล์มมากแต่ฟิล์มของเซลลูโลสอะซิเตทของเปลือกข้าวโพดหวานจะมีสีน้ำตาลเข้มมากกว่าเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวอาจจะเนื่องมาจากในองค์ประกอบของเปลือกข้าวโพดหวานนั้นยังมีปริมาณของน้ำตาลอยู่มากจึงเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) เกิดขึ้นได้

ส่วนเซลลูโลสที่ได้จากการระเบิดด้วยไอน้ำของเปลือกข้าวโพดหวาน ไหมข้าวโพด เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว และชานอ้อย พบว่า เซลลูโลสที่สกัดได้ในทุกตัวอย่างจะมีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นและทำให้เซลลูโลสที่ได้นั้นมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มมาก เนื่องจากการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 198 ถึง 218 องศาเซลเซียส แต่วิธีการสกัดด้วยการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นมีข้อดีคือใช้เวลาเพียง 1.5 ถึง 5 นาทีเท่านั้นเอง และเมื่อนำมาเป็นเซลลูโลสอะซิเตทพบว่าเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวเกิดเป็นฟิล์มของเซลลูโลสอะซิเตทดีที่สุดและเกิดฟิล์มได้มากที่สุด รองลงมาคือเปลือกข้าวโพดหวาน และฟางข้าว แต่เปลือกข้าวโพดหวานจะเกิดสีน้ำตาลเข้มมากๆ และจากการระเบิดด้วยไอน้ำของไหมข้าวโพดข้าวเหนียวจะพบว่าเมื่อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำแล้วไม่สามารถทำให้โครงสร้างของเส้นใยเกิดการแตกออกเป็นเส้นใยที่เล็กลงได้อีก ดังนั้นเมื่อผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำออกมาจึงยังคงมีลักษณะของเส้นไหมข้าวโพดเหมือนเดิมซึ่งจะแตกต่างการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งสามารถทำให้เซลลูโลสจากไหมข้าวโพดข้าวเหนียวเปลี่ยนโครงสร้างได้เป็นแผ่นบางๆได้ และการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นสามารถทำให้โครงสร้างของเปลือกข้าวโพดหวาน เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว ชานอ้อยและฟางข้าวที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นใย และจากการทดลองทั้งการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และการระเบิดด้วย

ไอน้ำนั้น วัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุดคือ เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว รองลงมาคือฟางข้าว และเมื่อนำเซลลูโลสอะซิเตทมาผสมลงในน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วมาวัดปริมาณกรดไขมันอิสระพบว่าสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้มาก และเมื่อนำเอาเซลลูโลสอะซิเตททางการค้ามาทดลองผสมลงในน้ำมันทอดนั้นสามารถลดปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์และปริมาณสารประกอบที่มีขี้ได้ ดังนั้นการผสมเซลลูโลสอะซิเตทลงในแผ่นกระดาษกรองจึงน่าจะมีประสิทธิภาพที่ดีด้วย

3.6 เอกสารอ้างอิง

- Biswas, A., Saha, B.C., Lawton, J.W., Shagren, R.L. and Willett, J.L. 2005. Process for obtaining cellulose acetate from agricultural by-products. *Carbohydrate Polymer*: 1-4.
- Chauvelon, G., Buleon, A., Thibault, J.F., and Saulnier, L. 2003. Preparation of sulfoacetate derivative of cellulose by direct esterification. *Carbohydrate Research*. 338: 743-750.
- Doner, L.W., and Hicks, K. 1997. Isolation of hemicellulose from corn fiber by alkaline hydrogen peroxide extraction. *Cereal Chem*. 74: 176-181.
- Mason, W.H. 1929. Apparatus and process of explosion defibration of lignocelulosic material. U.S.Patent No. 1655618.
- Moniruzzaman, M. 1996. Saccharification and alcohol fermentation of steam-exploded rice straw. *Bioresource Technology*. 55: 111-117.
- Montane, D., Farriol, X., Salvado, J., Jollez, P., and Chornet, E. 1998. Application of steam explosion to the fractionation and rapid vapor-phase alkaline pulping of wheat straw. *Biomass and Bioenergy*. 14(3): 261-276.
- Montane, D., Farriol, X., Salvado, J., Jollez, P., and Chornet, E. 1998. Fractionation of wheat straw by steam-explosion pretreatment and alkali delignification cellulose pulp and byproducts from hemicellulose and lignin. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 18: 171-191.
- Nergro, M.J., Manzanares, P., Oiva, J.M., Balesteros, I., and Ballesteros, M. 2003. Changes in various physical/chemical parameters of Pinus Pinaster Wood after steam explosion pretreatment. *Biomass and Bioenergy*. 25: 301-308.
- Shimizu, K., Sudo, K., Ono, H., Ishihara, M., Fujii, T. and Hishiyama, S. 1998. Integrated process for total utilization of wood components by steam-explosion

pretreatment. *Biomass and Bioenergy*. 14(3): 195-203.

บทที่ 4

การศึกษาผลของวิธีการสกัดเซลล์โลสต่อคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเซลล์โลส

4.1 บทคัดย่อ

วิธีที่ใช้เพื่อสกัดเซลล์โลสออกมาจากเปลือกข้าวโพด 3 วิธีคือ การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ การระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดัน 15 บาร์ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1.5 นาที และการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ ตามลำดับ ก่อนนำไปผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ พบว่า ปริมาณไฮโดรคาร์บอนและปริมาณแอลฟาเซลล์โลส ที่ได้จากการสกัดแต่ละวิธีไม่แตกต่างกันแต่ปริมาณผลผลิตที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่การ pre-treatment ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50 โมลาร์ ได้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน โดยที่ลักษณะของเยื่อที่ได้จากการระเบิดด้วยไอน้ำจะดีกว่าและเยื่อที่ได้จากการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ ตามลำดับ ก่อนนำไประเบิดด้วยไอน้ำ ทำให้ความสว่าง (L^*) ของเซลล์โลสที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยความสว่าง (L^*) ของเซลล์โลสที่ได้เพิ่มมากขึ้นเป็น 46.89, 48.27 และ 51.26 ตามลำดับ และการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการ pre-treatment ก่อนนำไปผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ ช่วยในด้านสีของเซลล์โลสที่ได้มีความสว่างมากกว่าเซลล์โลสที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ : เซลล์โลส เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว โซเดียมไฮดรอกไซด์ การระเบิดด้วยไอน้ำ

4.2 บทนำ

เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติที่มีมากที่สุด เพราะเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของพืชทุกชนิด (กัญจนา, 2533) ในพืชต่างๆ ไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลักทางเคมีที่สำคัญ 4 ชนิดคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารแทรก วิธีการสกัดเซลลูโลสนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสกัดด้วยสารละลายต่างเข้มข้น ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการสกัดแยกเอาเซลลูโลสออกมาจะต้องกำจัดองค์ประกอบต่างๆ ออกไปด้วยคือ เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน และการระเบิดด้วยไอน้ำ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำลายโครงสร้างของวัสดุทางธรรมชาติได้ (Angle และคณะ, 2001) ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการใช้ไอน้ำที่ความดันสูง จึงทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงทำให้วัตถุเกิดการแตกหัก โดยบางส่วนจะถูกไฮโดรไลซ์ เช่นเฮมิเซลลูโลส ซึ่งสามารถล้างออกได้ด้วยน้ำ และยังคงเหลือส่วนที่ไม่ละลายน้ำที่ประกอบด้วย เซลลูโลสและลิกนิน

โดยทั่วไปแล้ววิธีการที่ดีที่สุดในการแยกองค์ประกอบ คือการใช้วิธีทางกายภาพและเคมีร่วมกัน (Wood และ Saddler, 1988)

เนื่องจากการสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลายต่างและการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นเป็นวิธีการที่จะใช้แยกเซลลูโลสออกมาได้ดี ดังนั้นถ้าหากนำทั้งสองวิธีมารวมกันน่าจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดเซลลูโลสได้

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีการที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลสที่สกัดเพื่อนำวิธีการสกัดเซลลูโลสให้ได้เซลลูโลสที่ดีเพื่อนำไปผลิตเป็นกระดาษต่อไป

4.3 วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

การเตรียมเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว

เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่เหลือจากกระบวนการผลิตข้าวโพดต้มจากร้านค้าในมหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม แช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 1 ครั้ง นำมาผึ่งให้แห้งพอหมาด และนำมาทำแห้งโดยการตากแดดที่อุณหภูมิประมาณ 30 ถึง 35 องศาเซลเซียสประมาณ 1 วัน หลังจากนั้นอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวมีความชื้นประมาณร้อยละ 7 โดยน้ำหนักแห้ง เก็บไว้ในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน และปิดปากถุงให้สนิท เตรียมไว้เป็นตัวอย่างเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว

การสกัดเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่างเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่มีความชื้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักแห้ง ที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 3 วัน นำมาตัดเป็นชิ้นยาวประมาณ 1 ถึง 2 เซนติเมตร ปริมาณ 20 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร แช่ในน้ำกลั่น 1 ชั่วโมงและปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น นำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์จำนวน 2,000 มิลลิลิตร เป็นเวลา 18 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนของเปลือกข้าวโพดต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1: 100 (กรัมต่อมิลลิลิตร) หลังจากนั้นนำมากรองผ่านตะแกรงที่มีผ้าขาวบางรอง และล้างด้วยน้ำกลั่นจนหมดสภาพความเป็นด่าง โดยการวัดด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) ให้มีค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 7 ถึง 8 และนำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จนมีความชื้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักแห้ง ตามวิธีของ Xiao และคณะ (2001) และนำมาวิเคราะห์หาร้อยละไฮโดรเซลลูโลส ร้อยละแอลฟา-เซลลูโลส และร้อยละผลผลิตที่ได้

การสกัดเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวด้วยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ

ตัวอย่างเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวมีความชื้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักแห้ง ที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 3 วัน นำมาตัดเป็นชิ้นยาวประมาณ 3 ถึง 5 เซนติเมตร ปริมาณ 200 กรัม นำมาผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำที่ความดัน 15 บาร์ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 นาที นำตัวอย่างมาแช่ในน้ำ 2 ชั่วโมงและล้างด้วยน้ำอีก 3 ครั้ง นำมาอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำตัวอย่างที่อบแห้งแล้วจำนวน 25 กรัม แช่วลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 กรัมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร (โดยอัตราส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.1 กรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง) และนำไปต้มในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำจนหมดความเป็นด่างและอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาวิเคราะห์หาร้อยละไฮโดรเซลลูโลส ร้อยละแอลฟา-เซลลูโลส และร้อยละผลผลิตที่ได้

การสกัดเซลลูโลสด้วยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (pre-treatment) ก่อนนำไประเบิดด้วยไอน้ำ

ตัวอย่างเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวมีความชื้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักแห้ง ที่เก็บไว้เป็นระยะเวลา 3 วันนำมาตัดเป็นชิ้นยาวประมาณ 3 ถึง 5 เซนติเมตร ปริมาณ 10 กรัม ต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ จำนวน 1,000 มิลลิลิตร โดยต้มในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้อัตราส่วนของเปลือกข้าวโพด

ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1:100 (กรัมต่อมิลลิตร) และล้างด้วยน้ำจนหมดความเป็นด่างนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เตรียมตัวอย่างเปลือกข้าวโพดปริมาณ 200 กรัมในแต่ละระดับความเข้มข้น เพื่อนำไประเบิดด้วยไอน้ำต่อไปด้วยวิธีตามข้อ 4.3.4 และนำมาวิเคราะห์หาร้อยละไฮโดรเซลลูโลส ร้อยละแอลฟา-เซลลูโลส และร้อยละผลผลิตที่ได้

การวิเคราะห์ผล

คุณสมบัติทางเคมีของเซลลูโลสเปลือกข้าวโพด

เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านวิธีการสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีการต่างๆ มาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเซลลูโลสด้วยวิธี acid chlorite ด้วยวิธีของ Browning 1963 ใน method of wood chemistry หาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสตามวิธี TAPPI T203 om-88 และร้อยละผลผลิตที่ได้

คุณสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลสเปลือกข้าวโพด

เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านวิธีการสกัดเซลลูโลสด้วยวิธีการต่างๆ นำมาวัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่อง color-view spectrophotometer รุ่น 9000 Gardner USA โดยกำหนดระบบการวัดที่แหล่งกำเนิดแสงเป็นประเภท D65 ซึ่งรายงานผลออกมาในรูปของค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SAS เวอร์ชัน 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีผลต่างน้อยที่สุด (Least Significant Difference, LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

4.4 ผลการทดลองและการวิจารณ์

คุณสมบัติทางเคมีของเซลลูโลสที่ผ่านวิธีการสกัดต่างๆ

1. ผลของวิธีการสกัดเซลลูโลสต่อปริมาณไฮโดรเซลลูโลส

ผลของการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ การระเบิดด้วยไอน้ำ และกระบวนการขึ้นต้น (pre-treatment) ด้วยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ในการสกัดเซลลูโลสต่อปริมาณของไฮโดรเซลลูโลสที่ได้ดังตารางที่ 4.1 พบว่าวิธีการสกัดเซลลูโลสที่แตกต่างกันนั้นไม่มีผลทำให้ปริมาณไฮโดรเซลลูโลสที่

ได้แตกต่างกัน โดยปริมาณของไฮโดรเซลลูโลสก็คือส่วนของเซลลูโลสรวมกับเฮมิเซลลูโลสซึ่งเฮมิเซลลูโลสนั้นในระหว่างการระเบิดด้วยไอน้ำจะถูกไฮโดรไลซ์ออกมาและสามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลสส่วนนี้ออกไปได้โดยการล้างด้วยน้ำและเนื่องจากกระบวนการขึ้นต้นด้วยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นจะไปทำให้โครงสร้างของเปลือกข้าวโพดค่อนข้างแข็งและเหนียว เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสจะจับอยู่กับเซลลูโลสด้วยพันธะไฮโดรเจนที่มีลักษณะเป็นร่างแหที่เป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช และลิกนินในผนังเซลล์นั้นค่อนข้างแข็งแรง ดังนั้นเมื่อนำเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ต้มในสารละลายต่างแล้วจึงนำไปผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ เฮมิเซลลูโลสที่อยู่ภายในโครงสร้างยังไม่ถูกทำลายจึงทำให้มีปริมาณของไฮโดรเซลลูโลสอยู่มากกว่าเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 4.1 ร้อยละ ไฮโดรเซลลูโลสของเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านวิธีการสกัดต่างๆ

วิธีการสกัดเซลลูโลส	ร้อยละ ไฮโดรเซลลูโลส
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์	88.45
การระเบิดด้วยไอน้ำ	82.01
การแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนนำไประเบิดด้วยไอน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์	89.48
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.50 โมลาร์	94.76
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.75 โมลาร์	95.37

$$* \text{ ร้อยละไฮโดรเซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของไฮโดรเซลลูโลสหลังการอบ}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเชื้อเริ่มต้น}} \times 100$$

** n=3

2. ผลของวิธีการสกัดเซลลูโลสต่อปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส

ผลของการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ การระเบิดด้วยไอน้ำ และกระบวนการขึ้นต้น (pre-treatment) ด้วยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ ในการสกัดเซลลูโลสต่อปริมาณของแอลฟา-เซลลูโลสที่ได้ ดังตารางที่ 4.2 พบว่าวิธีการสกัดเซลลูโลสที่แตกต่างกันนั้นไม่มีผลทำให้ปริมาณแอลฟา-

เซลล์ที่ได้แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณของไฮโดรเจนที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้น 1 โมลาร์ นั้นมีปริมาณแอลฟา-เซลล์สูงมากแต่เนื่องจากวิธีการสกัดด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่สามารถทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ของเปลือกข้าวโพดได้หมดและจะยังคงรูปร่างของเปลือกข้าวโพดอยู่เหมือนเดิมดังนั้นการสกัดเซลล์ด้วยวิธีนี้จะยังคงมีองค์ประกอบส่วนอื่น เช่น ลิกนินและเฮมิเซลล์หลงเหลืออยู่มาก ส่วนวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการกำจัดเอาส่วนของเฮมิเซลล์ โดยทำให้โครงสร้างของผนังเซลล์ถูกทำลายทำให้องค์ประกอบต่างๆถูกแตกแยกออกและสามารถกำจัดออกได้ง่ายโดยเฮมิเซลล์ที่ถูกไฮโดรไลซ์ออกมาจะสามารถกำจัดออกด้วยการล้างด้วยน้ำ และลิกนินสามารถกำจัดออกโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือตัวทำละลายอื่นๆ (Sun และคณะ, 2004)

ตารางที่ 4.2 ร้อยละแอลฟาเซลล์ของเซลล์จากเปลือกข้าวโพดขาวเหนียวที่ผ่านวิธีการสกัดต่างๆ

วิธีการสกัดเซลล์	ร้อยละแอลฟา-เซลล์
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์	78.88
การระเบิดด้วยไอน้ำ	58.06
การแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนนำไประเบิดด้วยไอน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์	55.11
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.50 โมลาร์	59.42
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.75 โมลาร์	65.26

$$* \text{ ร้อยละแอลฟาเซลล์} = \frac{\text{น้ำหนักของแอลฟาเซลล์}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเชื้อเริ่มต้น}} \times 100$$

** n=3

3. ผลของวิธีการสกัดเซลล์ต่อปริมาณผลผลิตที่ได้

ผลของการใช้วิธีการสกัดเซลล์ด้วยวิธีการต่างๆ ดังตารางที่ 4.3 นั้นจะพบว่าปริมาณผลผลิตที่ได้นั้นจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่วิธีกระบวนการขั้นต้น

(pretreatment) ด้วยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 และ 0.50 โมลาร์ก่อนนำไปประคบด้วยไอน้ำนั้น พบว่าร้อยละผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกัน และวิธีการสกัดที่มีร้อยละผลผลิตที่ได้น้อยที่สุดคือการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 1 โมลาร์ เนื่องจากวิธีการสกัดนี้จะมีการสูญเสียไปในระหว่างการล้างด้วยน้ำและการกรองรวมถึงการสกัดด้วยวิธีนี้ยังทำให้เปลือกข้าวโพดที่ไคยังคงเป็นลักษณะเส้นใยที่แข็งอยู่ โครงสร้างไม่ถูกทำลายไปเท่ากับการระเบิดด้วยไอน้ำ ในขณะที่การ pretreatment ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.75 โมลาร์นั้นจะได้ร้อยละผลผลิตที่ได้สูงที่สุดคือ ร้อยละ 75.28 แต่จากลักษณะของเส้นใยที่ได้นั้นเนื่องจากเมื่อนำเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวไปผ่านกระบวนการขึ้นต้นด้วยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ นั้นจะทำให้เปลือกข้าวโพดที่ได้มีลักษณะเหนียวและแข็ง หลังจากนั้นเมื่อนำไปผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำแล้วเส้นใยของเปลือกข้าวโพดจึงถูกทำลายไปเพียงบางส่วนเพราะเส้นใยที่ได้จะยังคงมีลักษณะเป็นเปลือกข้าวโพดแข็งๆ อยู่ แต่เมื่อเทียบกับลักษณะของเยื่อที่ได้จากการระเบิดด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว นั้นจะพบว่าเยื่อที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียวจะมีลักษณะของเยื่อที่ดีกว่าที่การผ่านกระบวนการขึ้นต้นด้วยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนนำไปประคบด้วยไอน้ำมาก

ตารางที่ 4.3 ร้อยละผลผลิตที่ได้ของเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านวิธีการสกัดต่างๆ

วิธีการสกัดเซลลูโลส	ร้อยละผลผลิตที่ได้
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์	48.92 ^a
การระเบิดด้วยไอน้ำ	56.54 ^b
การแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนนำไปประคบด้วยไอน้ำที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์	67.75 ^c
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.50 โมลาร์	66.33 ^c
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.75 โมลาร์	75.28 ^d

$$* \text{ ร้อยละผลผลิตที่ได้ของเซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักของเซลลูโลสที่ได้หลังการสกัด}}{\text{น้ำหนักของเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวก่อนสกัด}} \times 100$$

** n=3

^{a,b,c,d} อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันหมายถึงมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

คุณสมบัติทางกายภาพของเซลล์โลสเปลือกข้าวโพดที่ผ่านวิธีการสกัดต่างๆ

ผลของการวัดค่าสี (L^* , a^* และ b^*)

เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้น นอกจากสามารถช่วยสกัดเอาลิกนินออกจากโครงสร้างของผนังเซลล์พืชได้แล้ว ยังมีคุณสมบัติเป็นสารฟอกสีได้อีกด้วย แต่ยังไม่สามารถฟอกสีให้เซลล์โลสที่ได้มีสีขาวนวลเหมือนกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ในการฟอกสีของกระดาษให้มีสีขาวได้ เพราะสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงแต่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์และอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ และจากการศึกษาของ Xiao และคณะ (2005) พบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการแยกลิกนินและละลายส่วนของเฮมิเซลล์โลสออกมาได้ โดย hydrogen peroxide anion (HOO^-) เป็นรูปที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาในการฟอกสี และจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเซลล์โลสเปลือกข้าวโพดในด้านการวัดค่าสี ดังตารางที่ 4.4 พบว่าการใช้วิธีการสกัดเซลล์โลสที่ต่างกัน จะทำให้ความสว่าง (L^*) ของเซลล์โลสที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 1 โมลาร์ นั้นจะมีความสว่างมากที่สุด และกระบวนการขึ้นต้นด้วยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปประคบด้วยไอน้ำจะพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เพิ่มมากขึ้นจาก 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ ตามลำดับ จะทำให้ความสว่าง (L^*) ของเซลล์โลสที่ได้เพิ่มมากขึ้นเป็น 46.89, 48.27 และ 51.26 ตามลำดับ และการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในกระบวนการขึ้นต้มก่อนนำไปผ่านการระคบด้วยไอน้ำจะช่วยให้ในด้านสีของเซลล์โลสที่ได้มีความสว่างมากกว่าเซลล์โลสที่ผ่านการระคบด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 4.4 ค่าวัดสีของเซลล์โลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านวิธีการสกัดต่างๆ

วิธีการสกัดเซลล์โลส	ค่าสี		
	L *	a*	b*
วัตถุดิบเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว	61.10 ^a	4.18 ^a	26.19 ^a
เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวสกัดด้วย	57.36 ^b	3.56 ^b	22.18 ^b
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์			
เปลือกข้าวโพดที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำ	41.19 ^c	9.20 ^c	18.57 ^c
เปลือกข้าวโพดที่แช่ในสารละลายโซเดียม			
ไฮดรอกไซด์ก่อนนำไประเบิดด้วยไอน้ำ			
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์	46.89 ^d	7.38 ^d	17.59 ^d
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.50 โมลาร์	48.27 ^e	7.18 ^{de}	17.28 ^d
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.75 โมลาร์	51.26 ^f	6.63 ^e	18.65 ^c

** n=3

^{a-f} อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันหมายถึงมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

4.5 สรุปผลการทดลอง

การใช้วิธีการสกัดเซลล์โลสที่ต่างกันจะได้ ปริมาณไฮโดรเซลล์โลสและปริมาณแอลฟา-เซลล์โลสที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่ร้อยละผลผลิตที่ได้จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยร้อยละผลผลิตที่ได้ของวิธีการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.75 โมลาร์ก่อนนำไประเบิดด้วยไอน้ำนั้นจะได้มากที่สุด แต่ลักษณะของเส้นใยหลังจากผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำแล้วโครงสร้างจะถูกทำลายไม่หมดเนื่องจากเมื่อผ่านการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำให้ได้เส้นใยของเปลือกข้าวโพดที่เหนียวและแข็งเมื่อนำไประเบิดด้วยไอน้ำทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับ ไอน้ำได้น้อย และเมื่อเปรียบเทียบการสกัดเซลล์โลสวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำกับการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 1 โมลาร์ จะพบว่าวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นจะสามารถช่วยเพิ่มร้อยละผลผลิตที่ได้เพิ่มมากขึ้นด้วยรวมถึงลักษณะของเยื่อที่ได้จากการระเบิดด้วยไอน้ำจะดีกว่า และการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดจะช่วยเพิ่มความสว่าง (L*) ให้กับเซลล์โลสที่ได้ดังจะเห็นได้จากกระบวนการขึ้นต้นด้วยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะช่วยเพิ่มความสว่างให้แก่เซลล์โลสที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

($p < 0.05$) ซึ่งวิธีการที่จะเลือกใช้ในการสกัดเซลลูโลสนั้นต้องคำนึงถึงลักษณะของเชื้อที่ได้ด้วย เพราะเชื้อของเปลือกข้าวโพดที่ได้ผู้ศึกษาจะนำไปผลิตเป็นกระดาษต่อไป

4.6 เอกสารอ้างอิง

- กัญจนา ตระกูลกู. 2533. เทคโนโลยีโพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอกซ์เพรส มีเดีย. 304หน้า.
- Angle, M.N., Ferrando, F., Farriol, X., Salvado, J. 2001. Suitability of steam exploded residual softwood for the production of binderless panels. Effect of the pre- treatment severity and lignin addition. Biomass and Bioenergy. 21: 211-224.
- Browning, B.L. 1963. Method in Wood Chemistry. Interscience Publishers. New York. London. pp.389-407.
- Moniruzzaman, M. 1996. Saccharification and alcohol fermentation of steam-exploded rice straw. Bioresource Technology. 55: 111-117.
- TAPPI T203 om-88. 1992. Alpha, beta, and gamma cellulose in pulp.
- Sun, X.F., Xu, F., Sun, R.C., Fowler, P. and Baird, M.S. 2005. Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw. Carbohydrate Research. 340: 97-106.
- Sun, X.F., Xu, F., Sun, R.C., Geng, Z.C., Fowler, P. and Baird, M.S. 2005. Characteristics of degraded hemicellulosic polymers obtained from steam-exploded wheat straw. Carbohydrate Polymers. 60: 15-26.
- Sun, X.F., Xu, F., Sun, R.C., Wang, Y.X., Fowler, P. and Baird, M.S. 2004. Characteristics of degraded lignin obtained from steam-exploded wheat straw. Polymers Degradation and Stability. 59: 107-115.
- Xiao, B., Sun, X.F., and Sun, R.C. 2001. Chemical, Structural, and thermal characterizations of alkali-soluble lignins and hemicelluloses, and cellulose from maize stems, rye straw, and rice straw. Polymer Degradation and Stability. 74: 307-319.

บทที่ 5

การศึกษาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมัน ที่ผสมสารดูดซับผสม

5.1 บทคัดย่อ

การใช้กระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ ตามลำดับ ในการกรองน้ำมันทอดนักเก็ตที่ผ่านการทอดเป็นเวลา 36 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษกรองธรรมดาจะพบว่าประสิทธิภาพในการช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ปริมาณสารประกอบที่มีขี้้ว ค่าความเป็นสีแดง (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันทอด และช่วยเพิ่มค่าความสว่าง (L^*) ให้กับน้ำมันทอดของน้ำมันทอดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดที่กรองผ่านกระดาษกรองจากเซลลูโลสเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวผสมสารดูดซับร้อยละ 35 และ 25 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษจะมีค่าลดลงร้อยละ 22.67 และ 18.87 ตามลำดับ รวมถึงสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันลงได้ถึงร้อยละ 60.16 และ 58.06 ตามลำดับ และลดค่าปริมาณสารประกอบที่มีขี้้วในน้ำมันลงได้ถึงร้อยละ 29.73 และ 26.78 ตามลำดับโดยเมื่อสิ้นสุดของการทอดที่ 36 ชั่วโมงนั้นน้ำมันที่ผ่านการกรองด้วย กระดาษกรองธรรมดา,กระดาษผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 จะมีค่าความสว่างเท่ากับ 69.35, 70.38, และ 70.48 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดงเท่ากับ 34.75, 30.82, และ 29.91 ตามลำดับ และค่าความเป็นสีเหลืองเท่ากับ 65.63, 66.74, และ 66.43 ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับจึงสามารถช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของน้ำมันหรือช่วยชะลออัตราการเสื่อมเสียของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : น้ำมันทอด กระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพด สารดูดซับผสม

5.2 บทนำ

การเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำมันทอด (oil deterioration) ในอุตสาหกรรมอาหารทอดสามารถเกิดขึ้นได้จากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ (Paul และ Mittal, 1996b; Saguy และ Dana, 2003) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่ การเพิ่มค่าความหนาแน่นของน้ำมันและค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ตลอดจนการที่น้ำมันมีสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากสารถ่าน (Char coal) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือในบางครั้งเกิดจากสีเครื่องเทศ หรือส่วนผสมในวัตถุดิบละลายลงไป ในน้ำมันจนก่อให้เกิดสีและกลิ่นรบกวนของน้ำมันผิดปกติอย่างรวดเร็ว จากการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังกล่าวจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารทอดมีสีไม่สม่ำเสมอและไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการ โดยทั่วไปปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับตามกฎหมายอาหารไม่ควรเกินร้อยละ 2 ดังนั้นหากสามารถลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันเก่า เช่น การลดปริมาณกรดไขมันอิสระลง ก็จะลดการเสื่อมเสียของน้ำมันทอดได้

ในช่วงที่เติมน้ำมันลงในหม้อทอดและช่วงการทอด น้ำมันได้รับความร้อนพร้อมกับการสัมผัสกับอากาศจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้เร็วยิ่งขึ้น บริเวณพื้นระอุในน้ำมันจะถูกทำลายและเกิดสารชนิดใหม่ขึ้นแทนในการทอด สารใหม่ที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลต่อกลิ่นของน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไปและยังส่งผลกระทบต่อรสชาติของอาหารทอดอีกด้วย ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นยังนำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันทางกายภาพอีกด้วย คือการที่จุดเกิดควัน (smoke point) และจุดวาบไฟ (flash point) ลดต่ำลง น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีเข้มขึ้นตามระยะเวลาการใช้งาน (Moriera และคณะ, 1999)

การใช้สารดูดซับร่วมกับการกรอง เช่น แอกติเวเทด ซิลิกา (Activated silica) อะลูมินัมออกไซด์ แคลเซียม หรือแมกนีเซียมออกไซด์ และสารดูดซับชนิดอื่นๆ สารดูดซับดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยทั่วไปจะทำการเติมสารเหล่านี้ลงไปในน้ำมันร้อนและทำการผสมให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำน้ำมันมาผ่านการกรองทำให้สามารถกำจัดอนุภาคที่แขวนลอยในน้ำมัน ฟอกสีน้ำมัน และลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันได้ ดังนั้นหากสามารถพัฒนาแผ่นกระดาษกรองที่มีการผสมสารดูดซับลงไปจึงมีประโยชน์และสามารถนำมาใช้ในการกรองน้ำมันได้สะดวกและมีประสิทธิภาพในการกรองที่ดีด้วย

5.3 วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

การเตรียมแผ่นกระดาษจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวผสมสารดูดซับ

เซลลูโลสเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำนำมาสกัดด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Merck) เพื่อแยกกลีซินออก โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 กรัมต่อกรัม ของตัวอย่างเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด และนำไปต้มในอ่างน้ำ (STUART SCIENTIFIC รุ่น SBS 30,UK) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 ชั่วโมง ให้ล้างด้วยน้ำจนหมดความเป็นด่าง โดยการวัดค่าความเป็นกรดต่างด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter) ให้ได้ค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 7 ถึง 8 (ล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 3 ครั้ง) และนำเยื่อเซลลูโลสที่ได้ผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนของเยื่อต่อน้ำเท่ากับ 1:35 และปั่นด้วยเครื่องปั่น (Molinox รุ่น DDF 341, France) เพื่อกระจายเยื่อแล้วปั่นให้เยื่อกระจายและนำมาผสมกับสารดูดซับผสม หลังจากนั้น นำเยื่อลงในตะแกรงแม่พิมพ์ในอ่างน้ำและเกลี่ยเยื่อให้กระจายทั่วพิมพ์เท่าๆ กัน ยกตะแกรงแม่พิมพ์ออกจากน้ำ และนำมาวางเอียงทำมุม 45 องศา และผึ่งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน และเมื่อกระดาษแห้งแล้วค่อยๆ คึงแผ่นกระดาษออกจากตะแกรงแม่พิมพ์

การทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอด

เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำซึ่งเป็นวิธีที่ได้คุณลักษณะของเซลลูโลสที่ดีที่สุดและเหมาะสมในการนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษกรอง นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษกรองโดยในขั้นตอนการขึ้นรูปนั้นจะมีการผสมสารดูดซับผสมลงไปอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพในการลดการเสื่อมเสียและช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของน้ำมันทอดได้ดีที่สุดคือสารดูดซับผสมตามสูตรที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองเบื้องต้น (ซัชชัลย์, 2548) ที่มีสัดส่วนเหมาะสม ที่กำลังดำเนินการจดสิทธิบัตรอยู่ โดยใช้ปริมาณการเติมสารดูดซับผสมลงไปกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่แตกต่างกันคือร้อยละ 25 และร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมจะประกอบไปด้วย 3 สภาวะ คือ

- ก) สภาวะควบคุม (control) จะกรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No.1)
- ข) กรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ
- ค) กรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ

กระบวนการทอด

ทอดนักเก็ตไก่ตรา บีเอฟลิงส์ จากบริษัท อาหารเบทเทอร์ จำกัด ด้วยเครื่องทอดแบบกะ (Protech, Thailand) ขนาดความจุ 5 ลิตร ทอดวันละ 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 วัน (36 ชั่วโมง) ทอด นักเก็ตไก่ประมาณ 100 กรัม ใช้น้ำมันปาล์มตรา มรกต จากบริษัท มรกตอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร ก่อนการทอดอุ่นน้ำมันให้ร้อนจนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิที่ 175 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ทอดนักเก็ตไก่ที่อุณหภูมิ 175 ± 5 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการทอดประมาณ 3 นาที และทำการกรองน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วทุกๆ 3 ชั่วโมง ดังนั้นการทอดในแต่ละวันจะกรองน้ำมัน 2 ครั้ง คือชั่วโมงที่ 3 และ 6 ของแต่ละวัน และจะมีการเติมน้ำมันใหม่ลงไปประมาณ 200 มิลลิลิตรหลังจากการกรองในทุกๆครั้ง เพื่อรักษาระดับน้ำมันเริ่มต้นให้คงที่

การกรองน้ำมันทอดในแต่ละวันจะกรองทั้งหมด 2 ครั้งคือ กรองชั่วโมงที่ 3 และ 6 ด้วยการกรองแบบสุญญากาศ โดยนำน้ำมันที่ทอดครบทุก 3 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมง ดังนั้นในแต่ละวันจะกรอง 3 สภาวะคือ

- (ก) กรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เป็นสภาวะควบคุม (control)
- (ข) กรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผลมร่อยละ 25 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ
- (ค) กรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผลมร่อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ

การเก็บตัวอย่างน้ำมันทอดจะถูกเก็บในตอนเริ่มต้นของการทอดในแต่ละวันและเก็บทุกๆ 3 ชั่วโมงหลังจากการกรอง ดังนั้นใน 1 วันจะเก็บตัวอย่างน้ำมัน ชั่วโมงที่ 0, 3, 6 ของแต่ละวัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันไว้ในขวดสีชาและปิดฝาให้สนิทและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์ผลก็นำมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและนำมาวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ (Total Polar Material) และวัดค่าสี (L^*, a^*, b^*) ด้วยวิธี Image Analysis

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันทอด

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันโดยใช้วิธีของ AOCS Ca 5a-40 โดยการชั่งน้ำหนักขวดรูปชมพู่ที่แน่นอน ชั่งน้ำมัน 7.05 ± 0.05 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมแอลกอฮอล์ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ที่ทำการทดสอบแล้วว่าเป็นกลาง และฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตร นำไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งสารตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพู โดยสีชมพูจะต้องไม่เปลี่ยนภายใน 30 วินาที (AOCS, 1990) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value, PV)

การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์โดยใช้วิธีของ AOCS Cd 8-53 (AOCS, 1990) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ (Total Polar Material, TPM)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ โดยใช้วิธีของ AOAC (1984) โดยการเตรียม คอลัมน์ที่นำไฮดรอกไซด์ที่บริเวณด้านล่างของคอลัมน์ และใช้แท่งแก้วคั่นฟองอากาศออกให้หมด แล้วเติมสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์กับไดเอทิลอีเทอร์อัตราส่วน 87:13 ลงในคอลัมน์ แล้วชั่งซิลิกาเจล 25 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และเติมสารละลายผสมของ ปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ อัตราส่วน 87:13 ปริมาตร 80 มิลลิลิตร แล้วเทลงในคอลัมน์ ผ่านกรวยกรอง หลังจากนั้นเติม sea-sand ปริมาตร 4 กรัมผ่านกรวยกรองลงในคอลัมน์ การทดสอบ จะเริ่มจากชั่งตัวอย่างน้ำมัน 2.5 ± 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และละลายด้วย สารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 87:13 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วใช้ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างค่อยๆ เทใส่ลงในคอลัมน์ นำขวดกันกลขนาด 250 มิลลิลิตร ที่อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน และวางไว้ที่ได้คอลัมน์ ชะส่วนของสารประกอบที่ไม่มีขี้ด้วยสารละลาย ผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 87:13 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ไหล ผ่านลงไปคอลัมน์ที่บรรจุซิลิกาเจลและสารละลายตัวอย่างอยู่ ปรับอัตราการไหลให้สารละลาย ผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์ และไดเอทิลอีเทอร์ ไหลผ่านคอลัมน์ให้หมดภายในเวลา 60 ถึง 70 นาที หลังจากชะด้วยสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์หมดแล้ว ให้นำขวด กันกลอีกหนึ่งขวดมาวางที่ได้คอลัมน์และชะส่วนของสารประกอบที่มีขี้ด้วยสารละลายไดเอทิล อีเทอร์ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ระเหยส่วนของสารละลายที่อยู่ในขวดกันกลด้วยเครื่องกลั่นระเหย สุญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิของอ่างน้ำไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ทำให้ขวดกันกลให้ เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องและชั่งน้ำหนักของขวดกันกลและคำนวณหาปริมาณสารประกอบที่มีขี้

การวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* , b^*)

การวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ด้วยวิธี Image Analysis โดยการถ่ายภาพสีของตัวอย่าง น้ำมันทอดด้วยกล้องดิจิทัล และใช้เทียบกับค่าสีจากการวัดด้วย Munsell book และใช้การวิเคราะห์ ภาพจากโปรแกรม Image J โดยการใช้ตัวอย่างน้ำมันปริมาตร 30 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าสี (ค่าความสว่าง ;Lightness) ค่าความเป็นสีแดง (redness) และค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness)) ของสีของน้ำมันทอด โดยการใช้โปรแกรม Statistic Analysis System Institute (SAS) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

5.4 ผลการทดลองและการวิจารณ์

คุณภาพของน้ำมันทอด

น้ำมันที่ผ่านการทอดที่ใช้ในการทดลองนี้ที่ใช้ในการทอดนั้กเก็ตไก่และมีการทอดอย่างต่อเนื่องให้ใกล้เคียงกับสภาวะการทอดในอุตสาหกรรม และหลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงจะมีการกรองน้ำมัน และมีการเติมน้ำมันใหม่เข้าไปเพื่อรักษาระดับของน้ำมันที่ใช้ในการทอดให้เท่ากันทุกครั้งหลังจากผ่านการกรองน้ำมันทอด

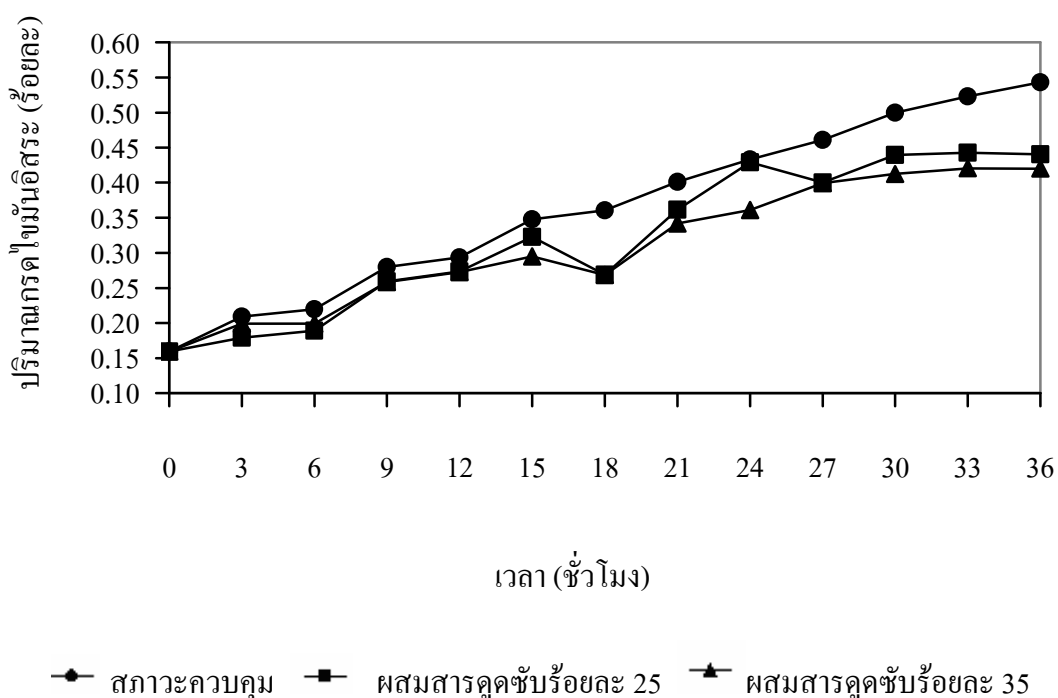
ประสิทธิภาพของกระดาษกรองผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 ของน้ำหนักเยื่อต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) , ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value), ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ขี้ (Total Polar Material, TPM) และค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของน้ำมันทอด โดยการแสดงผลการทดสอบเป็นกราฟที่มีแกน x แสดงถึง ระยะเวลาในการทอดมีหน่วยเป็น ชั่วโมง และแกน y แสดงถึง พารามิเตอร์ในการบ่งบอกคุณภาพของน้ำมันทอด เช่น ค่าสี, FFA, PV, TPM ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าค่าสี (L^* , a^* , b^*), ร้อยละของกรดไขมันอิสระ (%FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) และปริมาณสารประกอบที่มีขี้ขี้ (TPM) ของน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และร้อยละ 35 นั้นมีประสิทธิภาพในการลดค่าต่างๆ เหล่านี้ได้ ($p < 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากน้ำในรูปของไอน้ำเคลื่อนที่ออกจากอาหารขณะทอด ทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ในน้ำมันและเกิดเป็นกรดไขมันอิสระขึ้น โดยปริมาณร้อยละของกรดไขมันอิสระจะสะสมในน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อทำการทอดอาหารอย่างต่อเนื่อง (Che Man และ Jaswir, 2000; Tyagi และ Vasishta, 1996) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทอด การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น ดังนั้นจึงจะเห็นได้ว่าในอุตสาหกรรมการทอดนั้นจึงใช้ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ในการบอกถึงคุณภาพของน้ำมัน

โดยค่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่กรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสม ร้อยละ 25 และ 35 นั้นจะต่ำกว่าที่กรองด้วยกระดาษกรองธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดย ปริมาณกรดไขมันอิสระของสภาวะควบคุม (control) เริ่มที่ร้อยละ 0.17 จนถึงร้อยละ 0.54 หลังจาก การทอด 36 ชั่วโมง ปริมาณกรดไขมันอิสระของสภาวะควบคุมนั้นยังมีค่าน้อยอยู่เพราะมีการเติมน้ำมันใหม่เข้าไปทุกๆ 3 ชั่วโมงเพื่อรักษาระดับน้ำมันให้คงที่ในการทอดทุกครั้ง

ในอุตสาหกรรมนั้นจะตัดสินใจทิ้งน้ำมันทอดเมื่อมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับร้อยละ 2 แต่ก็ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของวัตถุดิบในอาหารนั้นๆ ด้วย จากการทดลองก็จะพบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นในระหว่างการทอดในแต่ละวัน แต่จะเห็นได้ว่าการใช้กระดาษ กรองที่ผสมสารดูดซับผสมลงไปนั้นจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมัน หรือช่วยชะลออัตราการ เสื่อมเสียของน้ำมันทอดได้ โดยน้ำมันที่ใช้การกรองด้วยกระดาษกรองผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ ร้อยละ 35 นั้นจะช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อ เปรียบเทียบกับการกรองด้วยกระดาษกรองธรรมดา และเมื่อสิ้นสุดการทอดที่ 36 ชั่วโมง ปริมาณ กรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดที่ใช้กระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมทั้งร้อยละ 25 และร้อยละ 35 นั้นจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ที่ร้อยละ 0.44 และร้อยละ 0.42 ตามลำดับ และ หลังจากชั่วโมงที่ 36 ของการทอดพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดที่กรองผ่าน กระดาษกรองจากเซลลูโลสเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวผสมสารดูดซับร้อยละ 35 และ 25 ของ น้ำมันก๊วยกระดากจะมีค่าลดลงร้อยละ 22.67 และ 18.87 ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการ ปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันได้โดยจะเห็นได้จากภาพที่ 5.1



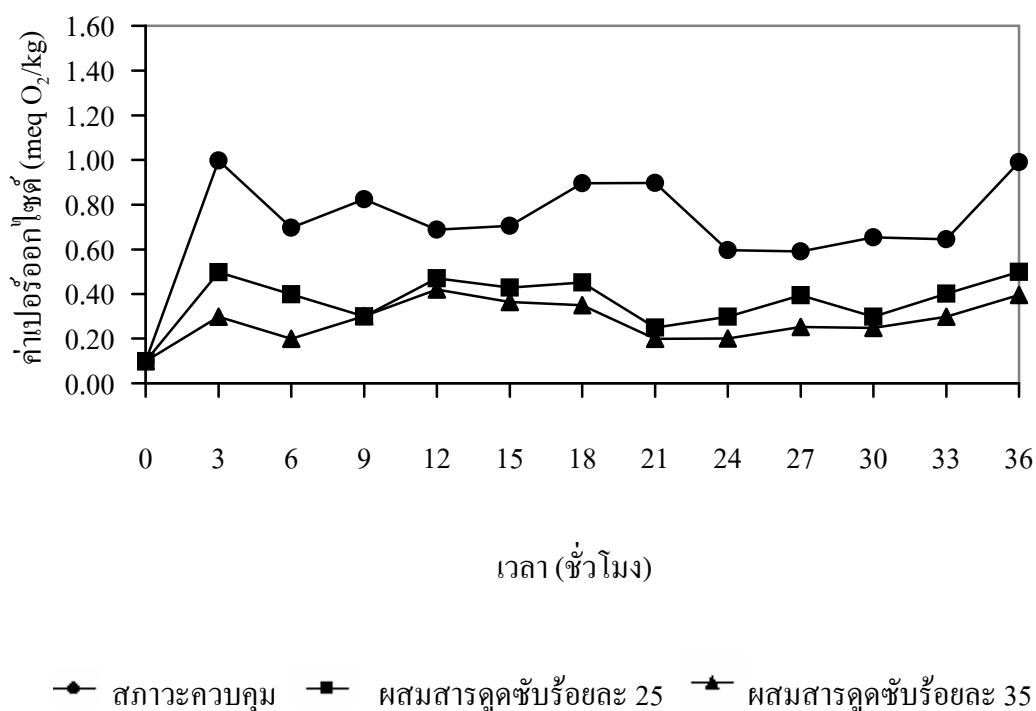
ภาพที่ 5.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดนั้กเกิดไ้เป็นเวลา 36 ชั่วโมง
ที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)

การวัดค่าเปอร์ออกไซด์ เป็นการวัดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจน ณ ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว รวมถึงสารที่สร้างจากอนุมูลอิสระของกรดไขมันด้วย (Che Man และ Jaswir, 2000; Tyagi และ Vasishtha, 1996) สารใหม่ที่เกิดขึ้นระหว่างการทอด ได้แก่ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ อีพอกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และกลีโชน เป็นต้น (Innawong และคณะ, 2004) ทั้งนี้ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในขณะเดียวกัน ความร้อนและแสงก็มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เช่นกัน

จากผลการทดลองจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์นั้นการใช้กระดาษผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 นั้นจะช่วยลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้ โดยที่เมื่อทอดครบ 36 ชั่วโมงแล้วค่าเปอร์ออกไซด์ที่ใช้กระดาษผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 มีค่าเท่ากับ 0.50 และ 0.39 ตามลำดับ ในขณะที่สภาวะควบคุมนั้นมีค่าเปอร์ออกไซด์ อยู่ที่ 0.99 ซึ่งจะช่วยลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยแนวโน้มของการลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์เมื่อเทียบกับสภาวะ

ควบคุมดังในภาพที่ 5.2 ในขณะที่หลังจาก 36 ชั่วโมงของการทอด พบว่าการกรองผ่านกระดาษกรองจากเซลลูโลสเปลี่ยนข้าวโพดข้าวเหนียวผสมสารดูดซับร้อยละ 35 และ 25 ของน้ำมันที่เชื้อกระดาษสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันลงได้ถึงร้อยละ 60.16 และ 58.06 ตามลำดับ



ภาพที่ 5.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดนั้กเกิดไก่เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน

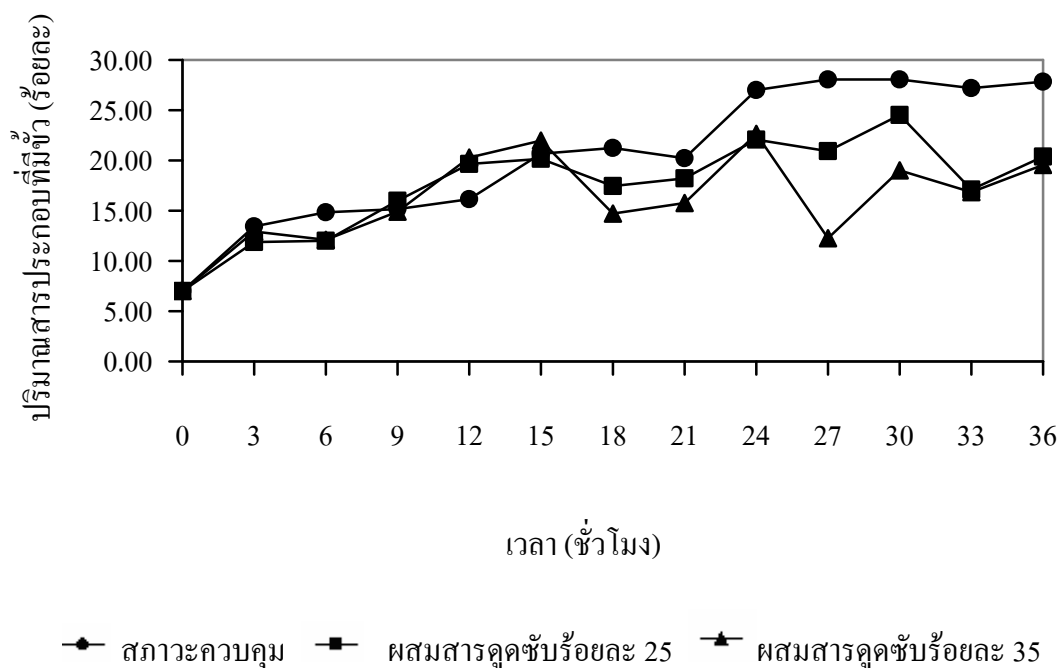
การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบมีขั้วในน้ำมัน

ปริมาณสารมีขั้วทั้งหมดในน้ำมันเกิดขึ้นจากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน โดยในระหว่างกระบวนการทอดนั้นน้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งทางเคมีและกายภาพ เช่น การเกิดออกซิเดชัน พอลิเมอร์ไรเซชัน และไฮโดรไลซิส เป็นต้น (Hein และคณะ, 1998) ทำให้เกิดการก่อตัวของสารประกอบที่สลายตัวได้ขึ้น ทั้งสารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ เช่น แอลดีไฮด์ สายตรง คีโตนสายตรง อีพอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน กรดคาร์บอกซิลิก โครงสร้างที่เป็นวง เป็นต้น และสารประกอบสลายตัวที่ไม่ระเหย เช่น โมโนเมอร์แบบวง โมโนเมอร์ไม่ใช่วง ไดเมอร์ ไตรเมอร์ รวมถึงอะคริลาไมด์ด้วย (Shyu และคณะ, 1998) นอกจากนี้ในระหว่างการทอดกรดไขมันอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสัมผัสกับอากาศและความร้อนตลอดเวลา ซึ่งส่งผลให้

เกิดกรดไขมันในรูปออกซิไดส์ ความร้อนจะเปลี่ยนไขมันในรูปออกซิไดส์ไปเป็นผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิและตติยภูมิได้เช่นกัน (Bertram และคณะ, 2002)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบมีขี้ในน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น โดยการใช้กระดาษกรองจากเซลลูโลสเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว ผสมสารดูดซับร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ สามารถชะลอการเพิ่มขึ้นของสารประกอบมีขี้ในน้ำมันได้ดีที่สุด รองลงมา คือการใช้กระดาษกรองจากเซลลูโลสเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว ผสมสารดูดซับร้อยละ 25 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ และสถานะควบคุม ตามลำดับ ดังในภาพที่ 5.3 ทั้งนี้ค่าปริมาณสารประกอบมีขี้ในน้ำมันทอดที่กรองด้วยกระดาษกรองจากเซลลูโลสที่ผสมสารดูดซับจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดหลังชั่วโมงที่ 18 ของการทอดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะควบคุม และหลังจากชั่วโมงที่ 36 ของการทอดพบว่า การกรองผ่านกระดาษกรองจากเซลลูโลสเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวผสมสารดูดซับร้อยละ 35 และ 25 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษสามารถลดค่าปริมาณสารประกอบมีขี้ในน้ำมันลงได้ถึงร้อยละ 29.73 และ 26.78 ตามลำดับ

ถ่านก่อกัมมันต์จะดูดซับสาร เช่น สารไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ไว้ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) และจากการศึกษาของ McNeill และคณะ (1986) พบว่าถ่านก่อกัมมันต์สามารถช่วยลดปริมาณของคาร์บอนิลอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว (saturated and unsaturated carbonyls) ได้อีกด้วย ในขณะที่เบนโทไนต์มีผลึกเป็นโครงร่าง 3 มิติของมอนท์โมริลโลไนท์ (Montmorillonite) มีขนาดไม่แน่นอน สามารถจับกับสารที่ไม่มีขี้ได้ดีกว่าสารมีขี้ ด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrical charge) แต่เนื่องจากเบนโทไนต์เป็นสารดูดซับที่มีคุณสมบัติเป็นกรด (acid activated clay) ซึ่งเมื่อใช้ในช่วงเวลาของการทอดที่เพิ่มสูงขึ้นก็จะไปช่วยเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน หรือการเกิดออกซิเดชัน (autoxidation) ของน้ำมันให้รวดเร็วขึ้นได้



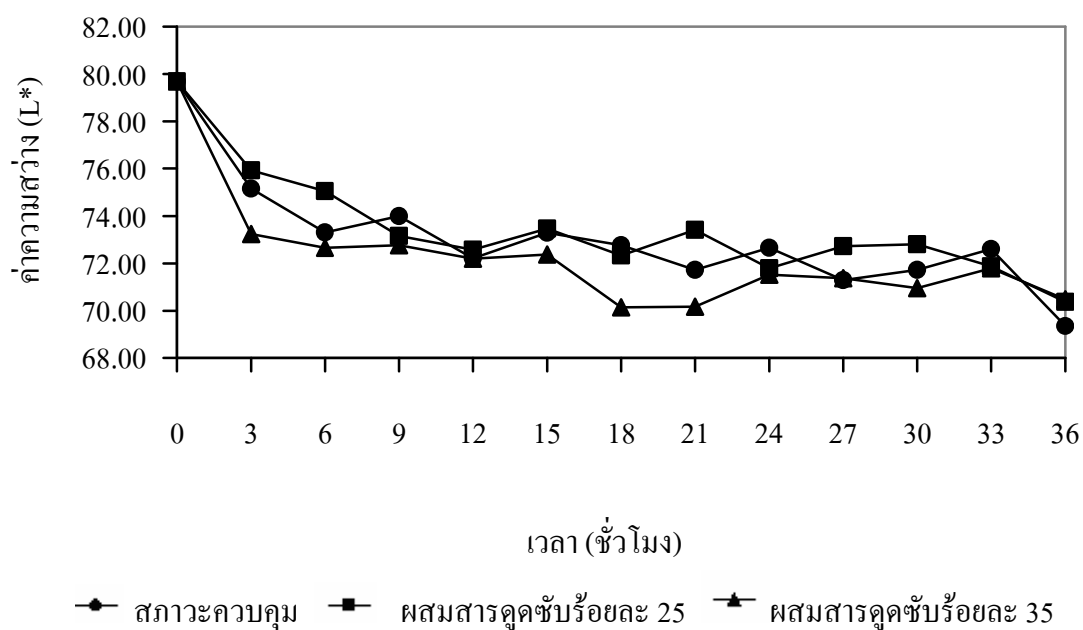
ภาพที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบที่มีซัลเฟอร์ของน้ำมันทอดนึ่งไก่
เป็นเวลา 36 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงของสี

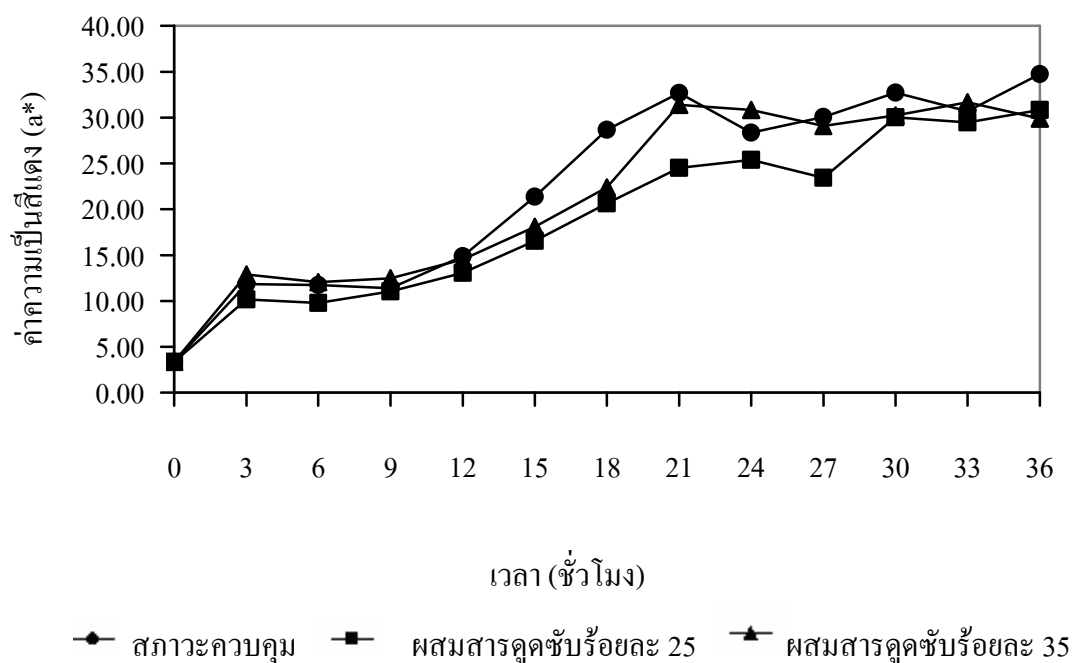
สีของน้ำมันขณะทอดเกิดการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากการละลายของสารในปฏิกิริยาเมลลาร์ด ระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ ในขณะที่เดียวกันการสร้างสารทาร์ (tar) และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไพโรไลซิส และพอลิเมอร์ไรเซชันก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้สีน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลง (Lin และคณะ, 2001) Moreira และคณะ (1999) รายงานว่าการละลายของสารที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดนี้จะส่งผลให้สีของน้ำมันคล้ำขึ้น นอกจากนี้ปฏิกิริยาการเมลลาร์ดที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดก็ส่งผลต่อสีของน้ำมัน ซึ่งเมื่อเกิดการรวมตัวกับสารที่สร้างจากปฏิกิริยาอื่นๆ ก็จะส่งผลต่อสีของอาหารทอดและความชอบของผู้บริโภคได้เช่นเดียวกัน (Bertram และคณะ, 2002) โดยจากผลการทดลองพบว่าค่าความสว่างของน้ำมันลดลง ส่วนค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทอด ทั้งนี้การใช้กระดาษกรองจากเซลลูโลสเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวผสมสารดูดซับร้อยละ 25 และ 35 ของน้ำมันก๊วยจะช่วยให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.26 และ 2.11 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดงลดลงร้อยละ 11.31 และ 13.93 ตามลำดับ และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.66 และ 1.20 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ

การกรองในสถานะควบคุมหลังสิ้นสุดชั่วโมงที่ 36 ของการทอด โดยเมื่อสิ้นสุดของการทอดที่ 36 ชั่วโมง นั้นน้ำมันที่ผ่านการกรองด้วย กระดาษกรองธรรมดา กระดาษผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และร้อยละ 35 จะมีค่าความสว่าง (L^*) 69.35, 70.38, และ 70.48 ตามลำดับ ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 34.75, 30.82, และ 29.91 ตามลำดับ และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) 65.63, 66.74, และ 66.43 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้จากภาพที่ 5.4 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Khalil (1999) พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) จะเพิ่มขึ้นในช่วงการทอดระยะแรก จนกระทั่งเริ่มคงที่ โดยอุณหภูมิของน้ำมันมีผลกระทบต่อความสว่างของน้ำมันที่ทอด และเมื่อเวลาทอดนานขึ้นจะมีค่าความสว่างลดลง Paul และ Mittal (1996a) พบว่า การเกิดการสลายของน้ำมันคาโนลา (canola) ในระหว่างการทอดมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์อาหารทอด ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับพารามิเตอร์ของสีกับการสลายของน้ำมันทอด การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง ดังภาพที่ 5.5, 5.6 มีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงโดยจะมีค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดนานขึ้น อาจเนื่องมาจากนักเก็ตไก่ที่ใช้ทอดมีองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อนของขนมปัง และแป้งที่ใช้เคลือบ และการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำมันสนับสนุนการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธี Image analysis ดังในภาพที่ 5.7

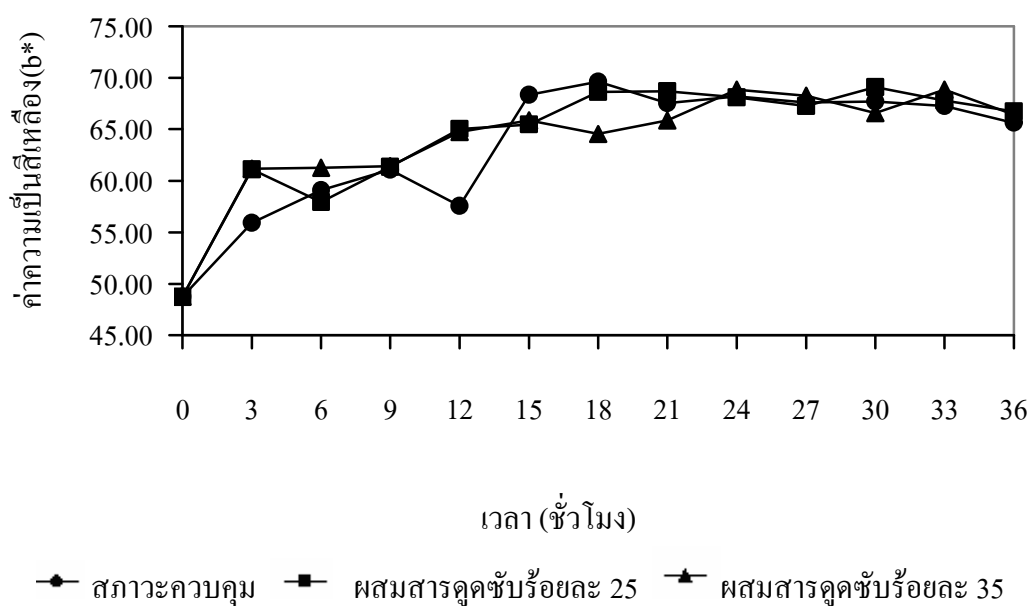
การใช้กระดาษกรองผสมสารดูดซับนั้นพบว่า สารดูดซับซึ่งมีคุณสมบัติในการฟอกสี (bleaching agent) นั้น มีโครงสร้างเป็นรูพรุนและพื้นที่ผิวสูงในการสัมผัสกับสารให้สี (color bodies) กัม (gum) สารออกซิไดส์ และสารประกอบอื่นๆ ที่เกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อกรองน้ำมันทอดผ่านกระดาษผสมสารดูดซับ จึงเป็นการดึงสารไม่บริสุทธิ์เหล่านี้เอาไว้ในแผ่นกระดาษกรองที่ผสมสารดูดซับได้ (Rothbart, 1997)



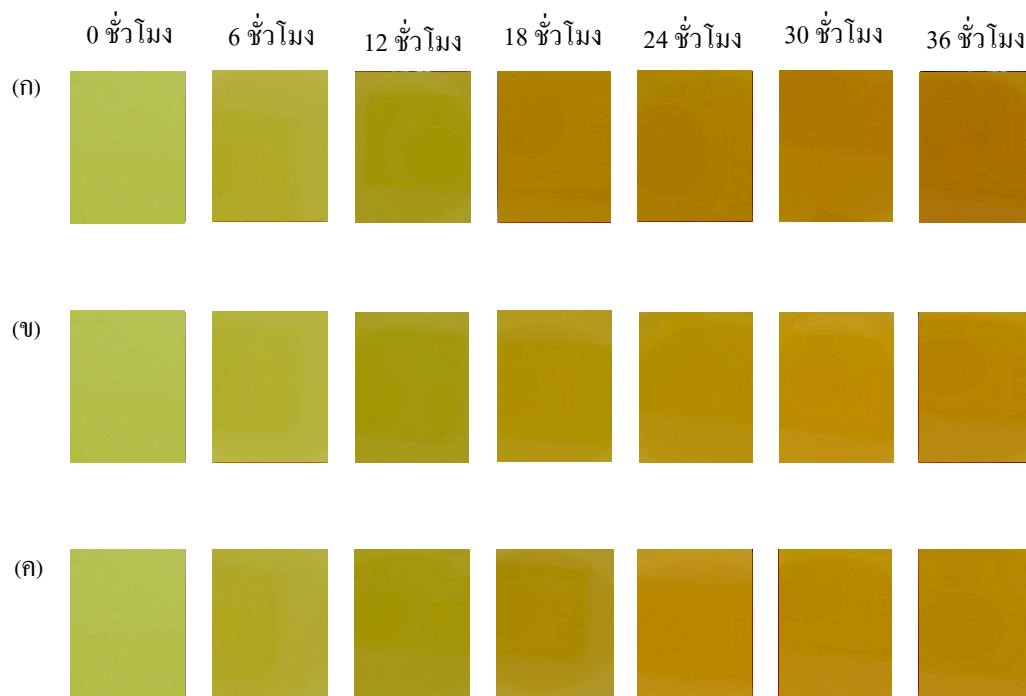
ภาพที่ 5.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของน้ำมันทอดนั้กเกิดไก่เป็นเวลา 36 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน



ภาพที่ 5.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง ของน้ำมันทอดนั้กเกิดไก่เป็นเวลา 36 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน



ภาพที่ 5.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง ของน้ำมันทอดนึ่งไก่
เป็นเวลา 36 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน



ภาพที่ 5.7 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันที่กรองระหว่างการทอดเป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง;

(ก) สถานะควบคุม (ข) ผสมสารดูดซับรื้อยละ 25 และ (ค) ผสมสารดูดซับรื้อยละ 35

ตารางที่ 5.1 สรุปความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอด (%)^d ที่ระยะเวลา 18 ชั่วโมง และ 36 ชั่วโมง ด้วยการกรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 25 และ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ

สาร	18 ชม.						36 ชม.					
ดูดซับ	FFA	PV	TPM	L*	a*	b*	FFA	PV	TPM	L*	a*	b*
ร้อยละ 25 ^b	25.41	49.69	17.76	4.36	28.08	1.42	18.87	58.06	26.78	1.49	11.31	1.69
ร้อยละ 35 ^c	25.55	61.08	30.71	3.59	21.94	7.29	22.67	60.16	29.73	1.63	13.93	1.22

^b กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 25 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 วัน

^c กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 วัน

^d ประสิทธิภาพของกระดาษกรองผสมสารดูดซับในการกรองน้ำมันทอดคำนวณจาก

$$\text{ร้อยละของการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอด} = \frac{\text{ค่าที่กรองแบบธรรมดา} - \text{ค่าเฉลี่ยที่กรองด้วยกระดาษที่มีสารดูดซับ}}{\text{ค่าที่กรองแบบธรรมดา}} \times 100$$

5.5 สรุปผลการทดลอง

การใช้กระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษนั้นในการกรองน้ำมันทอดนั้กเกิดไ้ที่ผ่านการทอดเป็นเวลา 36 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับการกรองด้วยกระดาษกรองธรรมดา จะพบว่ามีความมีประสิทธิภาพในการช่วยลดค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบที่มีขั้ว ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันทอด และช่วยเพิ่มค่าความสว่าง (L^*) ให้กับน้ำมันทอด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะควบคุมที่มีการใช้กระดาษกรองปกติได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จึงสามารถช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของน้ำมันหรือช่วยชะลออัตราการเสื่อมเสียของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดได้เป็นอย่างดี

การใช้กระดาษกรองผสมสารดูดซับผสมในอัตราส่วนของสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ พบว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดโดยสามารถทำให้อายุการใช้งานของน้ำมันทอดนานขึ้นและช่วยลดอัตราการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันทอดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสถานะควบคุม โดยหลังจากการทอดนั้กเกิดไ้เป็นเวลา 36 ชั่วโมง น้ำมันที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ร้อยละ 18.87 และร้อยละ 22.67 ค่าเปอร์ออกไซด์ได้ร้อยละ 58.06 และร้อยละ 60.16 ปริมาณสารประกอบที่มีขั้วได้ร้อยละ 26.78 และร้อยละ 29.73 และค่าสีของน้ำมันทอดมีค่าความเป็นสีแดงลดลงได้ร้อยละ 11.31, 13.93 และค่าความสว่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.26 และ 2.11 ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.66 และ 1.20 ตามลำดับ ดังนั้นการใช้กระดาษกรองผสมสารดูดซับผสมจึงมีประโยชน์ในอายุการใช้งานของน้ำมันที่นานขึ้นรวมถึงจะส่งผลให้คุณภาพของอาหารทอดดีขึ้นด้วยซึ่งความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดนี้ก็จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณของสารดูดซับผสมที่ใช้ด้วย โดยปริมาณการเติมสารดูดซับผสมที่ผสมลงไปกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่แตกต่างกันคือ ร้อยละ 25 และร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ โดยจะพบว่าปริมาณสารดูดซับผสมที่เติมลงไปกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดในปริมาณที่มาก คือร้อยละ 35 นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่ากระดาษกรองที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 ดังนั้นปริมาณสารดูดซับผสมที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทดลองต่อไปคือ การผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ

5.6 เอกสารอ้างอิง

- ซัชชลัยย์ เชื้อยะสกุล. 2548. การเพิ่มอายุน้ำมันทอดโดยใช้สารดูดซับผสม. สารนิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร. 74 หน้า.
- Akoh, CC., and Reynolds AE. 2001. Recovery of used frying oils. U.S.patent 6,187,355B1.
- AOAC Assoc. Official Analytical Chemists. 1995. The official methods of analysis. 16th
ed., vol. 2, Arlington, Va.: AOAC.
- AOCS American Oil Chemist' Society. 1990. The official methods and recommended Practices.
4th ed. Champaign. IL: AOCS.
- Bertram, B., Abrams, C., and Kauffman, J. 2002. Adsorbent filtration system for treating used
cooking oil or fat in frying operations. US. Pat. 6,368,648B1.
- Bheemreddy, RM., Chinnan, MS., Pannu, KS., and Reynolds, AE. 2002. Active treatment of
frying oil for enhanced fry-life. J Am Oil Chem Soc. 67(4): 1478-84.
- Che Man, YB., and Jaswir, I. 2000. Effect of rosemary and sage extracts on frying performance
of refined, bleached and deodorized (RBD) palm olein during deep-fat frying. Food
Chem. 69: 301-7.
- Hein, M., Henning, N., and Isengard, HD. 1998. Determination of total polar parts with new
methods for the quality survey of frying fats and oils. Talanta : 447-54.
- Innawong, B., Mallikarjunan, P., Irudayaraj, J., and Marcy, JE. 2004. The determination of
frying oil quality using Fourier transform infrared attenuated total reflectance. Lebensm-
Wiss Technol. 37: 23-8.
- Khalil, A.H. 1999. Quality of French fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids.
Food Chemistry. 66(2): 201-208.
- Lin, S., Akon, CC., and Reynolds, AE. 2001. Recovery of used frying oils with adsorbent
combinations: refrying and frequent oil replenishment. Food Res Int. 34: 159-66.
- McNeill, J., Kakuda, Y., and Kamel B. 1986. Improving the quality of Used Frying oils by
treatment with activated carbon and silica. J Am Oil Chem Soc. 63(12): 1564-7.
- Moreira, RG., Castell-Perez, EM., and Barrufet, MA. 1999. Deep-fat frying: Fundamentals and
Applications. Maryland: Aspen Publishers, Inc. 350p.frying.
- Paul, S., and Mittal, G.S. 1996a. Dynamics of fat/oil degradation during frying based on optical

- properties. *Journal of Food Engineering*. 30(3-4): 389-403.
- Paul, S. and Mittal, GS. 1996b. Regulating the used of degraded oil/fat in deep fat/oil food frying. *Cri. Rev. Food. Sci. Nutri*. 37(7): 636-2
- Rothbart, M.A. 1997. Method for recovering edible oil from adsorbent materials. US. Pat. 5,670,678.
- Saguy, S., and Dana, D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *J Food Eng*. 56: 143-52.
- Shyu, SL., Hau, LB., and Hwang, LS. 1998. Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. *J Am Oil Chem Soc*. 75(10): 1393-8.
- Tyagi, VK., Vasishtha, AK. 1996. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. *J Am Oil Chem Soc*. 73(4): 499-506.

บทที่ 6

การศึกษาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันที่ ผสมสารดูดซับและเซลล์โอสอะซิเตท

6.1 บทคัดย่อ

น้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวผสมสารดูดซับผสมและเซลล์โอสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพด สามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดได้ โดยจะมีผลทำให้เกิดการลดลงของค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ (TPM) และค่าสี (L^*, a^*, b^*) ของน้ำมันทอด ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ การกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่ไม่มีการผสมสารดูดซับผสม โดยปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดที่กรองผ่านกระดาษกรองจากเซลล์โอสเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวผสมสารดูดซับร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษและกระดาษกรองที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 กับเซลล์โอสอะซิเตท จะมีค่าลดลงร้อยละ 8.02 และ 9.10 ตามลำดับ รวมถึงสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันลงได้ถึงร้อยละ 38.83 และ 42.00 ตามลำดับ และลดค่าปริมาณสารประกอบมีขี้ในน้ำมันลงได้ถึงร้อยละ 12.55 และ 18.24 ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดของการทอดที่ 42 ชั่วโมงนั้น น้ำมันที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และกระดาษผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 ที่ผสมกับเซลล์โอสอะซิเตทร้อยละ 1 จะมีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น และค่าความเป็นสีแดงลดลง

คำสำคัญ : น้ำมันทอด กระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพด สารดูดซับผสม เซลล์โอสอะซิเตท

6.2 บทนำ

คุณภาพของน้ำมันทอดและคุณภาพของอาหารทอดในน้ำมันนั้นจะสัมพันธ์กัน (Blumenthal, 1991) คุณภาพของน้ำมันทอดนั้นจะมีอิทธิพลต่อการดูดซับน้ำมันและชนิดของผลิตภัณฑ์รวมถึงสิ่งที่เหลืออยู่หลังจากการดูดซับโดยอาหาร การนำน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วมาใช้ซ้ำจะทำให้อาหารนั้นมีลักษณะที่ไม่พึงพอใจของผู้บริโภค และอาจจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคเองด้วย ดังนั้นคุณภาพของน้ำมันทอดจึงเป็นสิ่งที่สำคัญต่อทั้งอาหารที่ผู้บริโภครับประทานและกระบวนการทอดในโรงงานอุตสาหกรรม การนำน้ำมันทอดมาผ่านกระบวนการเพื่อให้ไขมันยังคงมีคุณภาพที่ดีอยู่และทำให้สามารถใช้ได้นานยิ่งขึ้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งและช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย

การกรองน้ำมันเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้เพื่อปรับปรุงอายุการใช้งานของน้ำมันทอดโดยการแยกเอาเศษอาหารขนาดเล็กและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่เป็นตัวเร่งให้น้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น การกรองโดยทั่วไปจะเป็นการกรองน้ำมันผ่านกระดาษกรองหรือผ้าซึ่งสามารถช่วยแยกและลดการเกิดปฏิกิริยาของไขมันได้บางส่วนโดยจะเป็นการแยกไขมันที่ละลายได้ที่แตกตัวออกมาและแยกออกจากอนุภาคที่ละลายไม่ได้ (Akooh และคณะ, 2001)

Lopez (1990) รายงานว่า หากมีของแข็งอยู่ในน้ำมันทอดนั้นสามารถที่จะเป็นตัวเร่งทำให้น้ำมันเกิดการแตกตัวได้ ดังนั้นการกรองจึงเป็นวิธีที่จะช่วยชะลอให้น้ำมันแตกตัวได้ช้าลง โดยการจำกัดพื้นที่ผิวที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาน้อยลงไป การกรองทำให้แยกสิ่งปลอมปนที่ไม่ละลายที่ปะปนอยู่ในน้ำมันทอดได้ แต่ก็ยังคงมีการดูดซับของผลิตภัณฑ์ที่ละลายได้รวมถึงกรดไขมันอิสระ สารประกอบที่มีขี้ผึ้งและสารสีได้เช่นกัน ซึ่งมีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาผลของการใช้สารดูดซับหลายชนิดในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอด

6.3 วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง

การเตรียมแผ่นกระดาษจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวผสมสารดูดซับและเซลลูโลสอะซิเตท

เซลลูโลสเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำนำมาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อแยกกลีซินออก โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 กรัมต่อกรัมของตัวอย่าง เซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพด และนำไปต้มในอ่างน้ำ (STUART SCIENTIFIC รุ่น SBS 30, UK) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบ 1 ชั่วโมง ให้ล้างด้วยน้ำจนหมดความเป็นด่างโดยการวัดค่า ความเป็นกรดด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) ให้ได้ค่าความเป็นกรดด่างประมาณ 7 ถึง 8 (ล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 3 ครั้ง) และนำเยื่อเซลลูโลสที่ได้ผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนของเยื่อต่อน้ำเท่ากับ 1:35 และปั่นด้วยเครื่องปั่น (Moulinex รุ่น DDF 341,

France) เพื่อกระจายเชื้อแล้วปั่นให้เชื้อกระจายและนำมาผสมกับสารดูดซับผสม คือสารดูดซับผสมตามสูตรที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองเบื้องต้น (ชัชชลัยย์, 2548) ที่มีสัดส่วนที่เหมาะสมที่กำลังดำเนินการจดสิทธิบัตรอยู่ และผสมเซลล์โลสคัดแปร เช่น เซลล์โลสอะซิเตท หลังจากนั้นนำเชื้อเทลงในตะแกรงแม่พิมพ์ในอ่างน้ำและเกลี่ยเชื้อให้กระจายทั่วพิมพ์เท่าๆ กัน ยกตะแกรงแม่พิมพ์ออกจากน้ำ และนำมาวางเรียงทำมุม 45 องศา และผึ่งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน และเมื่อกระดาษแห้งแล้วค่อยๆ ดึงแผ่นกระดาษออกจากตะแกรงแม่พิมพ์

การทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกรองและไส้กรองน้ำมันทอด

กระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผสมสารดูดซับผสมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการกรองน้ำมันทอดจากการทดลองในบทที่ 5 คือ กระดาษจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงนำกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผสมสารดูดซับผสมเซลล์โลสอะซิเตทเพิ่มเข้าไป เพื่อให้กระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวมีประสิทธิภาพในการกรองน้ำมันทอดที่ดียิ่งขึ้น โดยการทดลองนี้จึงเป็นการใช้กระดาษจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวผสมสารดูดซับผสมลงร้อยละ 35 และผสมเซลล์โลสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว เพื่อเปรียบเทียบกับกรกรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ และกระดาษจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ไม่มีการเติมสารดูดซับผสมลงไป ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นกระดาษจากเปลือกข้าวเหนียวผสมสารดูดซับผสมจะประกอบไปด้วย 3 สภาวะ คือ

- (ก) สภาวะควบคุม (control) จะกรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ไม่ผสมสารดูดซับผสม
- (ข) กรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ
- (ค) กรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และผสมเซลล์โลสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว

กระบวนการทอด

ทอดนักเก็ตไก่ จาก บริษัท ซีพีเอฟ ฟู้ด โปรดักส์ จำกัดด้วยเครื่องทอดแบบกะ (Protech, Thailand) ขนาดความจุ 5 ลิตร วันละ 6 ชั่วโมง ทอดเป็นเวลา 7 วัน (42 ชั่วโมง) ทอดนักเก็ตไก่ประมาณ 100 กรัม ใช้น้ำมันปาล์มตรา มรกต จากบริษัท มรกตอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร ก่อนการทอดให้อุ่นน้ำมันให้ร้อนจนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิที่ 175 ± 5 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จะทอดนักเก็ตไก่ที่อุณหภูมิ 175 ± 5 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการทอดประมาณ 3 นาที และทำการกรองน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วทุกๆ 3 ชั่วโมง ดังนั้นการทอดในแต่ละวันจะกรองน้ำมัน 2 ครั้ง คือชั่วโมงที่ 3 และ 6 ของแต่ละวัน และจะมีการเติมน้ำมันใหม่ลงไปประมาณ 200 มิลลิลิตรหลังจากการกรองในทุกๆ ครั้ง เพื่อรักษาระดับน้ำมันเริ่มต้นให้คงที่

การกรองน้ำมันทอดในแต่ละวันจะกรองทั้งหมด 2 ครั้ง คือกรองชั่วโมงที่ 3 และ 6 ด้วยการกรองแบบสุญญากาศ โดยนำน้ำมันที่ทอดครบทุก 3 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมง ดังนั้นในแต่ละวันจะกรอง 3 สภาวะคือ

- (ก) กรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพด ไม่มีการเติมสารดูดซับผสมเป็นสภาวะควบคุม
- (ข) กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ
- (ค) กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ และผสม

เซลลูโลสอะซิเตท

การเก็บตัวอย่างน้ำมันทอดจะถูกเก็บในตอนเริ่มต้นของการทอดในแต่ละวันและเก็บทุกๆ 3 ชั่วโมงหลังจากการกรอง ดังนั้นใน 1 วันจะเก็บตัวอย่างน้ำมัน ชั่วโมงที่ 0, 3, 6 ของแต่ละวัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันไว้ในขวดสีชาและปิดฝาให้สนิทและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเมื่อจะนำมาวิเคราะห์ผลก็นำมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องและนำมาวัดค่ากรดไขมันอิสระ(FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์(PV) ปริมาณสารประกอบที่มีขั้ว (Total Polar Material) และวัดค่าสี (L^* , a^* , b^*) ด้วยวิธี Image Analysis

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันทอด

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันโดยวิธีของ AOCS Ca 5a-40 โดยการชั่งน้ำหนักขวดรูปชมพู่ที่แน่นอน ชั่งน้ำมัน 7.05 ± 0.05 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมแอลกอฮอล์ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ที่ทำการทดสอบแล้วว่าเป็นกลางและฟีนอล์ฟทาลิน 2 มิลลิลิตร นำไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัลจนกระทั่งสารตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพู โดยสีชมพูจะต้องไม่เปลี่ยนภายใน 30 วินาที (AOCS, 1990) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value, PV)

การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์โดยวิธีของ AOCS Cd 8-53 (AOCS, 1990) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ (Total Polar Material; TPM)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ โดยใช้วิธีของ AOAC, 1984 โดยการเตรียม คอลัมน์ที่นำน้ำไขแ้วมารองที่บริเวณด้านล่างของคอลัมน์ และใช้แท่งแก้วคั่นฟองอากาศออกให้หมด แล้วเติมสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์กับไดเอทิลอีเทอร์อัตราส่วน 87:13 ลงในคอลัมน์ แล้วชั่งซิลิกาเจล 25 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และเติมสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ อัตราส่วน 87:13 ปริมาตร 80 มิลลิลิตร แล้วเทลงในคอลัมน์ผ่านกรวยกรอง หลังจากนั้นเติม sea-sand ปริมาตร 4 กรัมผ่านกรวยกรองลงในคอลัมน์ การทดสอบจะเริ่มจากชั่งตัวอย่างน้ำมัน 2.5 ± 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และละลายด้วยสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 87:13 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วใช้ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างค่อยๆ เทใส่ลงในคอลัมน์ นำขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ที่อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน และวางไว้ที่ได้คอลัมน์ จะส่วนของสารประกอบที่ไม่มีขี้ด้วยสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 87:13 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ไหลผ่านลงไปคอลัมน์ที่บรรจุซิลิกาเจลและสารละลายตัวอย่างอยู่ ปรับอัตราการไหลให้สารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์ และไดเอทิลอีเทอร์ ไหลผ่านคอลัมน์ให้หมดภายในเวลา 60 ถึง 70 นาที หลังจากชะด้วยสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์หมดแล้ว ให้นำขวดก้นกลมอีกหนึ่งขวดมาวางที่ได้คอลัมน์และชะส่วนของสารประกอบที่มีขี้ด้วยสารละลายไดเอทิลอีเทอร์ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ระเหยส่วนของสารละลายที่อยู่ในขวดก้นกลมด้วยเครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศ (BUCHI Vac[®] รุ่น V-500) ที่อุณหภูมิของอ่างน้ำไม่เกิน 60 องศาเซลเซียสทำให้ขวดก้นกลมให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องและชั่งน้ำหนักของขวดก้นกลม และคำนวณหาปริมาณสารประกอบที่มีขี้

การวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* , b^*)

การวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* , b^*) ด้วยวิธี Image Analysis โดยการถ่ายภาพสีของตัวอย่างน้ำมันทอดด้วยกล้องดิจิทัล และใช้เทียบกับค่าสีจากการวัดด้วย Munsell book และใช้การวิเคราะห์ภาพจากโปรแกรม Image J โดยการใช้ตัวอย่างน้ำมันปริมาตร 30 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ General Linear Model

(GLM) เพื่อทดสอบความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองในสภาวะต่างๆ และช่วยยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอด ใช้การเปรียบเทียบความแตกต่างแบบวิธีผลต่างน้อยที่สุด (Least Significant Difference; LSD) ในการประมาณค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสภาวะที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SAS

6.4 ผลการทดลองและการวิจารณ์

น้ำมันที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับร้อยละ 35 และผสมเซลลูโลสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพดนั้น ช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมัน ($p < 0.05$) โดยมีดัชนีที่ใช้ชี้วัดคุณภาพของน้ำมันคือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) และปริมาณสารประกอบที่มีขี้ (TPM) เมื่อเปรียบเทียบกับกรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่มีการผสมสารดูดซับและไม่มีการผสมสารดูดซับลงไป โดยรูปแบบของกราฟในการเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) และปริมาณสารประกอบที่มีขี้ (TPM) นั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับบทที่ 5 โดยเมื่อผ่านการทอดเป็นระยะเวลา 42 ชั่วโมง การกรองน้ำมันทอดด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่ไม่ผสมสารดูดซับนั้นจะพบว่าค่าดัชนีบ่งชี้คุณภาพทุกชนิดจะมากกว่าน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับร้อยละ 35 และผสมเซลลูโลสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพดที่สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันให้ดีขึ้น โดยสามารถแยกสารประกอบที่มีขี้ที่จะบ่งชี้ถึงการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันทอดและการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน ในทางกลับกันการกรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดที่ไม่ผสมสารดูดซับ (สภาวะควบคุม) จะมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระสูง โดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นที่ร้อยละ 0.29 และเพิ่มขึ้นจนถึง 0.80 หลังจากการทอดต่อเนื่องนานเป็นเวลา 42 ชั่วโมง ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับและเซลลูโลสอะซิเตทนั้นจะมีการดูดซับทางเคมีลดลง จึงเป็นผลทำให้คุณภาพของน้ำมันดีขึ้นซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่สัมพันธ์กับการศึกษาของ Lin และคณะ (2001) และ Saguy และ Dana (2003)

ปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทอด ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Matalgto และ Al-Khalifa (1998) พบว่าน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร อากาศ และปริมาณน้ำเริ่มต้นจะสัมพันธ์กับการที่น้ำจะไปไฮโดรไลซ์น้ำมันให้เป็น โมโนเอซิลกลีเซอรอล (monoacylglycerol) ไดเอซิลกลีเซอรอล (diacylglycerol) กรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอลได้ โดยที่กลีเซอรอลนั้นจะระเหยได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส

ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดที่กรองจะลดลงซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการควบคุมค่าเปอร์ออกไซด์ในระหว่างการทอดได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนหลังจากการทอดชั่วโมงที่ 18 ซึ่งจะเห็นผลที่สอดคล้องกันกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบที่มีขั้วดังภาพที่ 6.3 เมื่อหลังจากชั่วโมงที่ 18 จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบที่มีขั้วอย่างต่อเนื่องในตัวอย่งน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่ไม่ผสมสารดูดซับ

สารประกอบที่มีขั้วจะถูกออกซิไดซ์ เป็นกรดไขมันอิสระ ในระหว่างการทอด ที่จะถูกดูดซับที่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ที่ทอด องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันทอดและคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีกายภาพมีอิทธิพลต่อกระบวนการทอดโดยน้ำมันที่ใช้ทอด เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน (Valenzuela และคณะ, 1999) ในระหว่างการทอด จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพในอาหารและน้ำมัน (Valedes และ Garcia, 2006) คุณภาพน้ำมันทอดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยใน 3 ด้าน คือ ความชื้นของอาหารเป็นสาเหตุทำให้เกิดการไฮโดรไลซิส กับกรดไขมันอิสระ ปัจจัยต่อมาคือ ออกซิเจนในบรรยากาศที่เข้าไปในน้ำมันจากบริเวณพื้นผิวหน้าของภาชนะ (ปัจจัยนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของออกซิเดชันได้เพิ่มสูงขึ้น) และอีกปัจจัยหนึ่ง คืออุณหภูมิที่สูงในกระบวนการ (เป็นปัจจัยที่เป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของความร้อน) มีผลทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น มีสีคล้ำขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น และเกิดควัน (OPaul และ Mittal, 1997) ค่าสีของน้ำมันทอดตามภาพที่ 6.4, 6.5 และ 6.6 น้ำมันที่กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับร้อยละ 35 และกระดาษผสมสารดูดซับร้อยละ 35 ที่ผสมเซลลูโลสอะซิเตทนั้นจะมีความสว่างที่มากกว่า ($p < 0.05$) และมีค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองสถานะควบคุมน้อยกว่า โดยน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองในสถานะควบคุมนั้นค่าสีจะมีแนวโน้มที่สีของน้ำมันทอดมีสีที่คล้ำขึ้น ออกไปทางสีแดงและเหลืองมากกว่าสถานะการกรองอื่นๆ และการใช้สารดูดซับผสมลงไปบนแผ่นกรองจะมีผลช่วยแยกสารสีและช่วยเจือจางองค์ประกอบทางเคมีได้ ผลิตภัณฑ์อาหารทอดจะมีสีน้ำตาลเนื่องมาจากสารต่างๆ ที่กระจายอยู่ในน้ำมันทอด เช่น ไลซีน (lysine) แกมมา- กรดอะมิโนบิวไทริก (γ - amino butyric acid) และไกลซีน (glycine) ซึ่งเป็นสารที่สำคัญที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล เช่น การทอดปลาจะทำให้สีของน้ำมันทอดเปลี่ยนไปเนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลเกิดขึ้น (Pokorny, 1981) รวมถึงวิตามิน เช่น ไทอะมิน (thiamin) ไพริดอกซิน (pyridoxin) ไรโบฟลาวิน (riboflavin) และกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) จะถูกทำให้แยกออกเนื่องจากความร้อน และมีการละลายในน้ำมันทอด ซึ่งจะมีผลต่อค่าสีและรสชาติ โดยมีสิ่งที่เป็นตัวเร่ง คือ การสัมผัสกับออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันทอด (Pokorny, 1998) และเกลือของเหล็กและทองแดงที่ถูกปล่อยออกมาในระหว่างการทอดก็จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมถึงไอออนของโซเดียมและโพแทสเซียมที่อยู่ในน้ำมันทอดจะทำให้น้ำมันเกิดฟองจาก

กระบวนการของด่าง (alkaline process) และฟองจะเพิ่มมากขึ้นที่บริเวณพื้นผิวหน้าระหว่างน้ำมันกับอากาศ ซึ่งจะส่งเสริมทำให้เกิดออกซิเดชันได้ (Blumenthal, Stockier, และ Summers, 1985)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากออกซิเจนในอากาศนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญที่ทำให้ไขมันเกิดการเสื่อมเสียได้เร็วขึ้น โดยเฉพาะไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัว เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน จะมีอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์ และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่ไม่เสถียร ในสภาวะของการทอด จึงทำปฏิกิริยากับสารจำพวก ไทออล (thiol) ซัลไฟด์ (sulphide) ไดซัลไฟด์ (disulphide) และหมู่เอมีนของโปรตีน (Pokorny และคณะ, 1988)

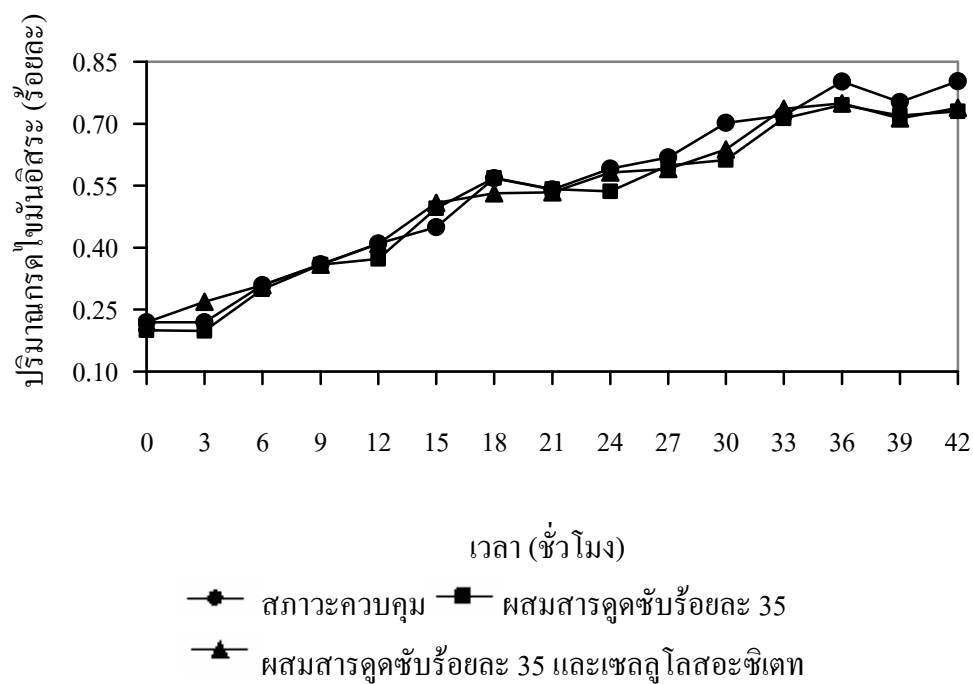
หลังจากกรองน้ำมันด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และกระดาษผสมสารดูดซับร้อยละ 35 ที่ผสมเซลลูโลสอะซิเตทสามารถลดการเกิดปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ได้ดี และหลังจากกรองแล้วน้ำมันจะมีผลิตภัณฑ์ที่แตกตัวออกมาที่ละลายได้ เช่น ปริมาณกรดไขมันอิสระนั้นสามารถเกิดออกซิเดชันและทำให้เกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ (free radical) ได้ (Lin และคณะ, 2001)

ในระหว่างการทอดน้ำมันจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ น้ำและความร้อน ส่งผลให้น้ำมันถูกออกซิไดส์ เกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารตัวแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารประกอบนี้ไม่เสถียร สามารถเกิดการแยก (fission) การดึงน้ำออก (dehydration) และสร้างอนุมูลอิสระไปเป็นสารประกอบอื่น เช่น แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ คีโตน กรดไขมัน ไตรเมอร์ สารพอลิเมอร์ เป็นต้น การใช้สารดูดซับจะทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์หรือไอออนิก ระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับและพื้นที่ผิวของแข็งของสารประกอบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำมันทอด โดยสารดูดซับมีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสูงในการสัมผัสกับสารให้สี และสารออกซิไดซ์ จึงดูดซับสารเหล่านี้เอาไว้ได้ นอกจากนี้เบนโทไนต์มีประสิทธิภาพในการฟอกสีแล้วยังสามารถดูดซับสารประกอบทางเคมีที่เป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันไว้ที่โครงสร้าง จับสารที่ไม่มีขี้ได้ดีกว่าสารที่มีขี้ ด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้า

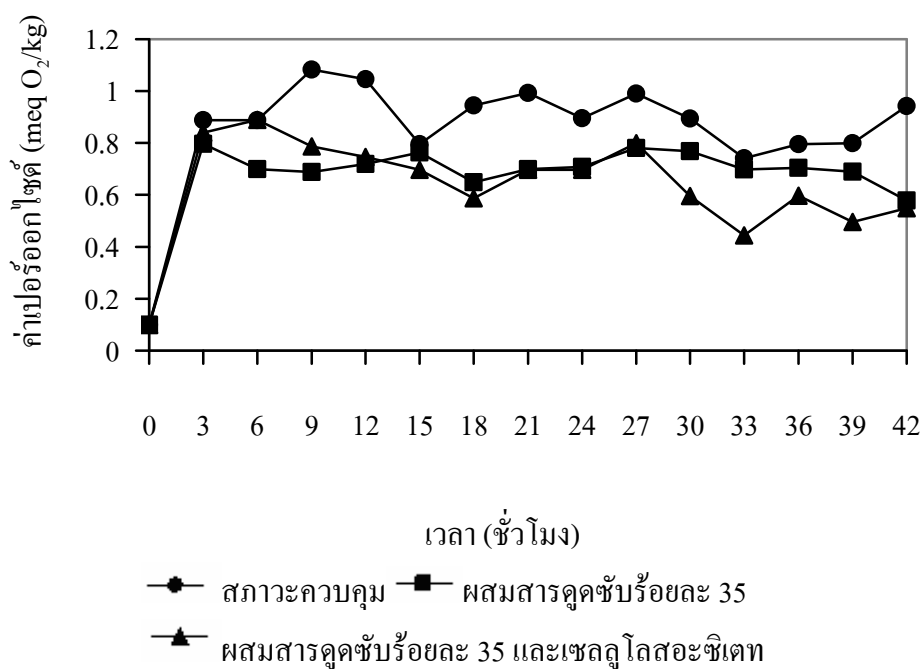
การเปลี่ยนแปลงในด้านสีของน้ำมันทอดตามการศึกษาของ Totani และคณะ (2006) พบว่าสาเหตุหนึ่งมาจากการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโน-คาร์บอนิลระหว่างน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยความร้อนและกรดอะมิโนที่ได้จากอาหารทอด การลดลงของค่าความสว่างของน้ำมันทอดเนื่องจากเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด และปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน ในการทอดที่อุณหภูมิสูง โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมทางเคมี เช่น ค่าออกซิเจนอิสระ ค่าความเป็นกรด ค่าองค์ประกอบทางเคมีของอาหารและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (Carabasa และ Ibarz, 2000) และ Pedreschi และคณะ (2005) รายงานว่า ค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นตามเวลาในการทอดที่อุณหภูมิในการทอดที่สูงกว่ามันฝรั่งแผ่นจะมีสีคล้ำจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้

เอนไซม์ที่อุณหภูมิสูง และค่าความเป็นสีเหลืองของนักเก็ตไก่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากการทอด 6 ชั่วโมง และจะมีค่าก่อนข้างคงที่เมื่อทอดผ่านไป 24 ชั่วโมง ซึ่งให้ผลคล้ายกับการทดลองของ Baik และ Mittal (2003)

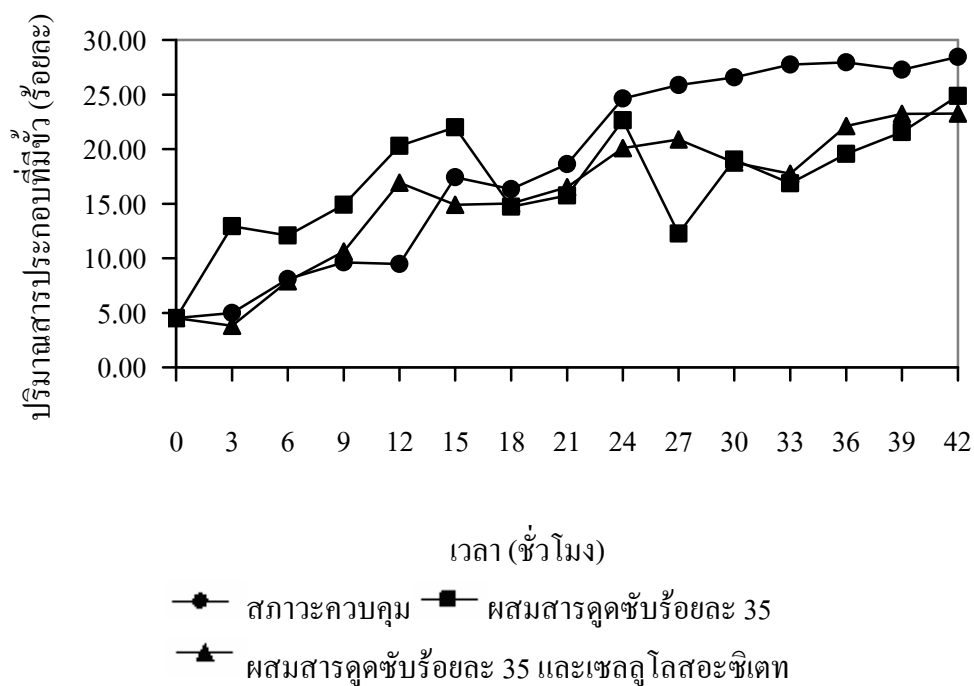
โครงสร้างทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีจะมีความแตกต่างกันในส่วนต่างๆ ของพืช (Han และ Rowell, 1997) เพื่อสร้างวัตถุที่สามารถกรองได้ที่แตกต่างกัน และมีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี โดยการนำพืชมาทำปฏิกิริยาทางเคมี เช่น กระบวนการใช้ด่าง (Fanta และคณะ, 1986) หรือโดยปฏิกิริยาอะเซทิลเลชัน (Sun และคณะ, 2002) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและ/หรือคุณสมบัติทางเคมี เช่นปรับปรุงคุณสมบัติในการเลือกดูดซับ สารดูดซับและเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมลงไป ในแผ่นกระดาษกรองนั้นจะเกาะอยู่ที่บริเวณพื้นผิวของแผ่นกระดาษกรองและเมื่อนำมากรองน้ำมันทอดจะเกิดการดูดซับของสารประกอบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดเอาไว้ โดยเซลลูโลสเมื่อนำมาดัดแปรหมู่ฟังก์ชันด้วยปฏิกิริยาอะเซทิลเลชัน (acetylation) ให้ได้เป็นเซลลูโลสอะซิเตทจะพบว่า หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโครงสร้างของเซลลูโลสที่มีความสามารถในการจับกับสารที่มีขั้วได้สูง (hydrophilic) จะถูกแทนที่ด้วยหมู่อะซิทิล (-OCOCH₃) ซึ่งจะทำให้มีความสามารถในการจับกับสารที่มีขั้วลดต่ำลง แต่การผสมเซลลูโลสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวลงไป ในแผ่นกรองนั้นอาจจะยังไม่เห็นผลที่เด่นชัดนักเมื่อเทียบกับกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดที่ผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 อาจเนื่องมาจากเซลลูโลสอะซิเตทที่ได้จากเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวนั้นเมื่อผสมลงในแผ่นกระดาษกรองนั้นจะไปอยู่ที่บริเวณพื้นผิวของแผ่นกระดาษกรองเท่านั้นไม่ได้เข้าไปอยู่ภายในโครงสร้างของเยื่อกระดาษ และในการทำปฏิกิริยาอะเซทิลเลชัน (acetylation) นั้นจะมีการเติมกรดอะซิติกลงไปในการทำปฏิกิริยาด้วยซึ่งอาจจะมีอยู่ในเซลลูโลสอะซิเตทที่ผลิตได้จึงอาจจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดที่ผสมสารดูดซับและเซลลูโลสอะซิเตทนั้นสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดได้ดังจะเห็นได้จากเมื่อทอดครบ 42 ชั่วโมง



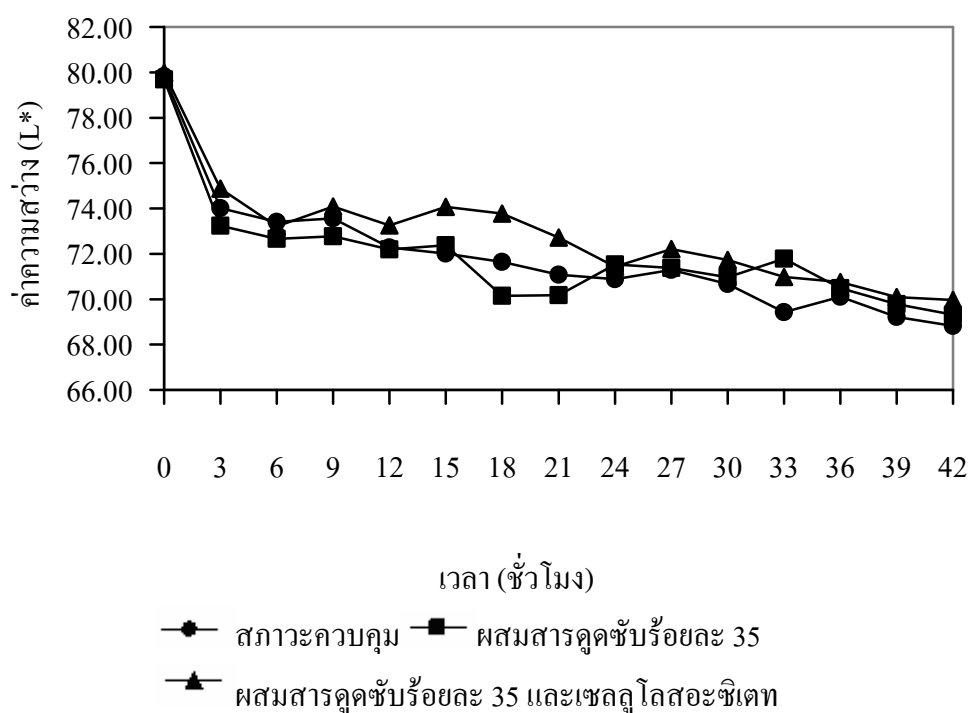
ภาพที่ 6.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดนกกระทาไก่อเป็นเวลา 42 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน



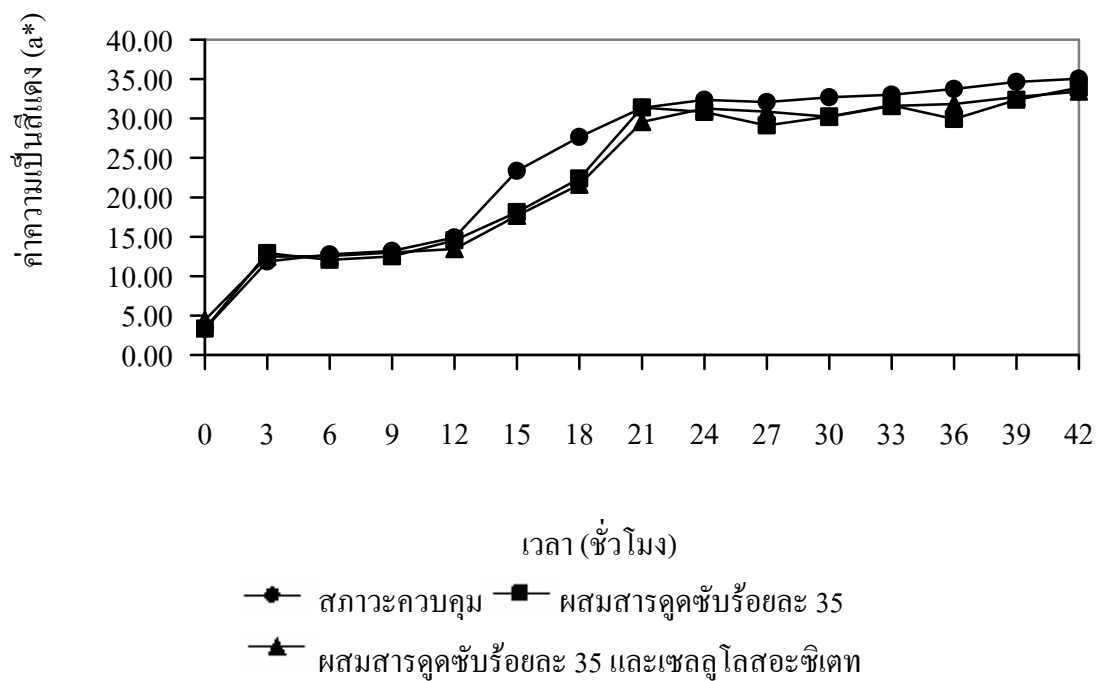
ภาพที่ 6.2 การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดนกกระทาไก่อเป็นเวลา 42 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน



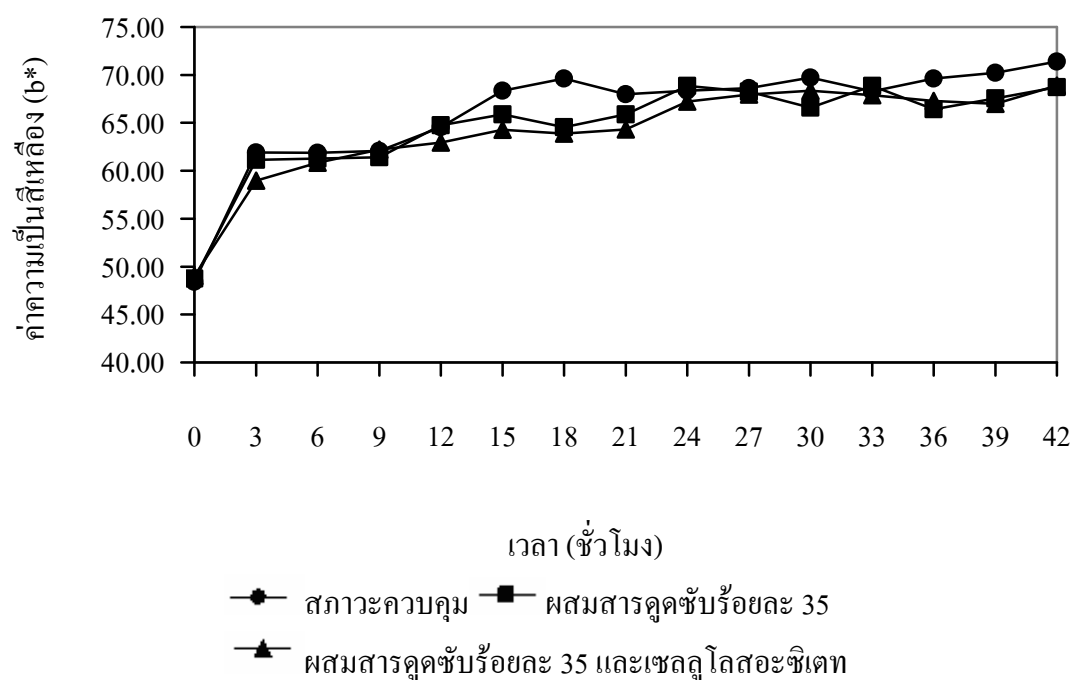
ภาพที่ 6.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบที่มีไขมันของน้ำมันทอดนึ่งไก่เป็นเวลา 42 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน



ภาพที่ 6.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของน้ำมันทอดนึ่งไก่เป็นเวลา 42 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน



ภาพที่ 6.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดงของน้ำมันทอดนั้กเกิดไก่เป็นเวลา 42 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน



ภาพที่ 6.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลืองของน้ำมันทอดนั้กเกิดไก่เป็นเวลา 42 ชั่วโมงที่ผ่านการกรองที่สภาวะต่างกัน

ตารางที่ 6.1 สรุปความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอด (%)^d ที่ระยะเวลา 42 ชั่วโมง ด้วยการกรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสม ในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ และผสมเซลลูโลสอะซิเตท

สารดูดซับ	42 ชั่วโมง					
	FFA	PV	TPM	L*	a*	b*
ผสม	8.02	38.83	12.55	2.21	8.50	3.71
ร้อยละ 35 ^b						
ร้อยละ 35+CA ^c	9.10	42.00	8.24	3.17	9.77	4.05

^b กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมของในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 7 วัน

^c กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมของในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษและผสมเซลลูโลสอะซิเตท ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 7 วัน

^d ประสิทธิภาพของกระดาษกรองผสมสารดูดซับในการกรองน้ำมันทอดคำนวณจาก

$$\text{ร้อยละของการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอด} = \frac{\text{ค่าที่กรองแบบธรรมดา} - \text{ค่าเฉลี่ยที่กรองด้วยกระดาษที่มีสารดูดซับ}}{\text{ค่าที่กรองแบบธรรมดา}} \times 100$$

6.5 สรุปผลการทดลอง

การใช้กระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ และผสมเซลลูโลสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพด ในการกรองน้ำมันทอดนึ่งที่ผ่านการทอดเป็นเวลา 42 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับการกรองด้วยกระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดที่ไม่ผสมสารดูดซับ จะพบว่ามีประสิทธิภาพในการช่วยลดค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบที่มีขี้ ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันทอด และช่วยเพิ่มค่าความสว่าง (L^*) ให้กับน้ำมันทอด เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะควบคุมที่มีการใช้กระดาษกรองจากเปลือกข้าวโพดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และจะเห็นได้ว่าการผสมเซลลูโลสอะซิเตทลงไปจะสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันให้ดียิ่งขึ้นกว่าการใช้สารดูดซับผสมเพียงอย่างเดียว ซึ่งการใช้เซลลูโลสอะซิเตทในที่นี้ก็คือ เซลลูโลสอะซิเตท จะสามารถไปปรับปรุงคุณสมบัติในการเกาะจับให้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นกระดาษกรองที่ผสมทั้งสารดูดซับผสมและเซลลูโลส อะซิเตทจึงสามารถช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของน้ำมันหรือช่วยชะลออัตราการเสื่อมเสียของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดได้เป็นอย่างดี

6.6 เอกสารอ้างอิง

- ซัชชลัยย์ เชื้อะสกุล. 2548. การเพิ่มอายุน้ำมันทอดโดยใช้สารดูดซับผสม. สารนิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร. 74 หน้า.
- Akoh, CC., and Reynolds AE. 2001. Recovery of used frying oils. U.S.patent 6,187,355B1.
- AOAC Assoc. Official Analytical Chemists. 1995. The official methods of analysis. 16th
ed., vol. 2, Arlington, Va.: AOAC.
- AOCS American Oil Chemist' Society. 1990. The official methods and recommended Practices.
4th ed. Champaign. IL: AOCS.
- Baik,. O., and Mittal, G.S. 2003. Kinetic of tofu color changes during deep-fat frying. LWT-
Food Science and Technology. 36: 43-48.
- Bertram, B., Abrams, C., and Kauffman, J. 2002. Adsorbent filtration system for
treating used cooking oil or fat in frying operations. US. Pat. 6,368,648B1.
- Bheemreddy, RM., Chinnan, MS., Pannu, KS., and Reynolds, AE. 2002. Active treatment of
frying oil for enhanced fry-life. J Am Oil Chem Soc. 67(4): 1478-84.

- Biswas, A., Saha, B.C., Lawton, J.W., Shagren, R.L. and Willett, J.L. 2005. Process for obtaining cellulose acetate from agricultural by-products. *Carbohydrate Polymer*: 1-4.
- Blumenthal, M.M. 1991. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. *Food Technol.* 45(2): 68-71, 94.
- Blumenthal, M.M., Stockier, J.R., and Summers, P.J. 1985. Alkaline contaminant materials in used frying oils: A new quick test. *Journal of the American Oil Chemists' Society.* 62: 1373-1374.
- Carabasa, M., and Ibarz, A. 2000. Kinetic of colour development in aqueous glucose system of high temperatures. *Journal of Food Engineering.* 44: 81-89.
- Fanta, G.F., Abbot, T.P., Burr, R.C., Doane, W.M. 1986. Ion Exchange Reactions of Quaternary Ammonium Halides with wheat straw. Preparation of Oil-Adsorbents. *Carbohydrate Polymers.* 7: 97-109.
- Fardim, P. and Holmbom, B. 2005. Origin and surface distribution of anionic groups in different papermaking fibres. *Colloids and Surface A.* 252: 237-242.
- Hein, M., Henning, N., and Isengard, HD. 1998. Determination of total polar parts with new methods for the quality survey of frying fats and oils. *Talanta* : 447-54.
- Han, J.S., Rowell, J.S. 1997. Chemical Composition of Agro-Based Fibres. In: Rowell, R.M., Young, R.A., Rowell, J.K. (Eds.). *Paper and Composites from Agro-Based Resources.* CRC Press Inc. USA. 464p
- Innawong, B., Mallikarjunan, P., Irudayaraj, J., and Marcy, JE. 2004. The determination of frying oil quality using Fourier transform infrared attenuated total reflectance. *Lebensm-Wiss Technol.* 37: 23-8.
- Lin, S., Akon, CC., and Reynolds, AE. 2001. Recovery of used frying oils with adsorbent combinations: refrying and frequent oil replenishment. *Food Res Int.* 34: 159-66.
- Matalgyto, F.S., and Al-Khalifa, A.S. 1998. Effects of microwave oven heating on stability of some oil and fats. *Arab Gulf Journal of Scientific Research.* 16(2): 21-40.
- McNeill, J., Kakuda, Y., and Kamel B. 1986. Improving the quality of Used Frying oils by treatment with activated carbon and silica. *J Am Oil Chem Soc.* 63(12): 1564-7.
- Moreira, RG., Castell-Perez, EM., and Barrufet, MA. 1999. *Deep-fat frying: Fundamentals and Applications.* Maryland: Aspen Publishers, Inc. 350 p.

- Paul, S., and Mittal, G.S. 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 37(7): 635-662.
- Pokorny, J. 1981. Browning from lipid-protein interactions. *Progress in Food and Nutrition Science*. 5: 421-428.
- Pokorny, J. 1998. Substrate influence on the frying process. *Grasas y Aceites*. 3: 265-270.
- Pokorny, J., Davfdek, J., Tran, H.C., Valentova, H., Matejfd, K.J., and Dlaskova, Z. 1988. Mechanism of lipoprotein formation from interactions of oxidized ethyl linoleate with egg albumin. *Nahrung*. 32: 343-350.
- Saguy, S., and Dana, D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *J Food Eng*. 56: 143-52.
- Simon, J., Muller, H.P., Koch, R. and Muller, V. 1998. Thermoplastic and biodegradable polymers of cellulose. *Polymer Degradation and Stability*. 59: 107-115.
- Shyu, S.L., Hau, L.B., and Hwang, L.S. 1998. Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. *J Am Oil Chem Soc*. 75(10): 1393-1398.
- Sun, X.F., Sun, R.C., Sun, J.X. 2002. Acetylation of rice straw with or without catalysts and its characterization as a natural adsorbent in oil spill cleanup. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(22): 6428-6433.
- Totini, N., Yamaguchi, A., Takada, M., and Moriya, M. 2006. Colour deterioration of oil during frying. *Journal of Oleo Science*. 55(2): 51-57.
- Valdes, A.F., and Garcia, A.B. 2006. A study of the evolution of the physiochemical and structural characteristics of olive and sunflower oils after heating at frying temperatures. *Food Chemistry*. 98: 214-219.
- Valenzuela, A., Sanhueza, J., Nieto, S., Petersen, G., and Tavella, M. 2003. *Grasas y Aceites*. 53(13): 568-573.

บทที่ 7

บทสรุป

7. บทสรุปของการศึกษา

1. วัตถุประสงค์ที่เหมาะสมต่อการนำเซลล์โลสมาดัดแปรเป็นเซลล์โลสอะซิเตทเพื่อให้ได้ฟิล์มและเส้นใยที่ดีในการผลิตกระดาษกรองจากวัสดุทางธรรมชาติคือ เปลือกข้าวโพดข้าวเหนียว และวิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตที่ได้มากและลักษณะเส้นใยที่ดีในการสกัดแยกเอาเซลล์โลสออกมาจากเปลือกข้าวโพด คือ วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ

2. การใช้วิธีการสกัดเซลล์โลสที่แตกต่างกันจะได้ ปริมาณไฮโดรเซลล์โลสและปริมาณแอลฟา-เซลล์โลสที่ได้ไม่แตกต่างกัน แต่ร้อยละผลผลิตที่ได้จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยวิธีกระบวนการขึ้นต้น (pretreatment) ด้วยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนนำไประเบิดด้วยไอน้ำลักษณะของเส้นใยที่ได้จะเหนียวและแข็ง การสกัดเซลล์โลสวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำนั้นจะสามารถช่วยเพิ่มร้อยละผลผลิตที่ได้เพิ่มมากขึ้นด้วยรวมถึงลักษณะของเยื่อที่ได้จากการระเบิดด้วยไอน้ำจะดีกว่า และการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดหรือการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนการระเบิดด้วยไอน้ำจะช่วยเพิ่มความสว่าง (L^*) ให้กับเซลล์โลส เพราะโซเดียมไฮดรอกไซด์มีคุณสมบัติฟอกสีได้ด้วย

3. กระดาษกรองที่ผลิตจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษนั้น สามารถใช้ในการกรองน้ำมันทอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดได้ โดยช่วยลดค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ (TPM) และค่าสีของน้ำมันทอดโดยจะทำให้ให้น้ำมันทอดค่ามีความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดน้อยลงจึงสามารถช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของน้ำมันหรือช่วยชะลออัตราการเสื่อมเสียของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดได้เป็นอย่างดี

4. กระดาษกรองที่ผลิตจากเปลือกข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการระเบิดด้วยไอน้ำและผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 ของน้ำหนักเยื่อกระดาษ และผสมเซลล์โลสอะซิเตทจากเปลือกข้าวโพดนั้นสามารถใช้ในการกรองน้ำมันทอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดได้ โดยช่วยลดค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณสารประกอบที่มีขี้ และ

ค่าสีของน้ำมันทอดโดยจะทำให้สีน้ำมันทอดค่ามีความสว่าง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเป็นสีแดงลดน้อยลงจึงสามารถช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของน้ำมัน หรือช่วยชะลออัตราการเสื่อมเสียของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดได้เป็นอย่างดี และการเพิ่มเซลล์ไลโปอะซิเตทลงไปในแผ่นกระดาษกรองจะช่วยเสริมและเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองน้ำมันทอดให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นมากกว่าการใช้สารดูดซับผสมเพียงอย่างเดียว

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ผลทางเคมีของเซลลูโลส

1. การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเซลลูโลส

การหาปริมาณไฮโดรเซลลูโลสโดยวิธี acid chlorite ด้วยวิธีของ Browing มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มล.
2. เติมน้ำกลั่น 160 มล. และกรดอะซิติก 0.5 มล. และโซเดียมคลอไรด์ 1.5 ± 0.1 กรัม ตามลำดับ ลงในขวดก้นกลมโดยทำการทดลองในตู้ควั่น
3. นำขวดก้นกลมไปตั้งในอ่างน้ำ (water bath) ที่มีอุณหภูมิประมาณ 70 ถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ
4. หลังจากครบ 1 ชั่วโมง เติมกรดอะซิติก 0.5 มล. ตามด้วย โซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัม ลงในสารละลายที่ยังร้อนอยู่แล้วเขย่าขวด
5. หลังจากครบ 2 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง ให้ปฏิบัติตามข้อ 4 เมื่อครบชั่วโมง
6. นำขวดก้นกลมมาวางในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งสารละลายในขวดมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แล้วนำสารละลายมากรอง แล้วล้างด้วยน้ำเย็นและอะซิโตน
7. หลังจากนั้นนำไปอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส หลังจากอบแล้วนำมาชั่งน้ำหนักและเก็บตัวอย่างไว้วิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสต่อไป
8. คำนวณหาปริมาณไฮโดรเซลลูโลสจาก

$$\text{ร้อยละไฮโดรเซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของไฮโดรเซลลูโลสหลังการอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง}}$$

2. การวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส

การหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส วิเคราะห์ตามTAPPI T203 om-88 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างจากการวิเคราะห์ร้อยละไฮโดรเซลลูโลสประมาณ 1.5 ± 0.1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 400 มล. เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 % ปริมาตร 75 มล.ลงไป แล้วปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ที่ประมาณ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส
2. กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนจนกระทั่งเยื่อกระจายอย่างสมบูรณ์
3. ล้างเครื่องกวนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 17.5 ปริมาตร 25 มล. (ปริมาตรรวมของสารละลายเท่ากับ 100 มล.) คนสารละลายด้วยแท่งแก้ว นำไปแช่ในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 0.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
3. เติมน้ำกลั่นลงในสารละลายปริมาตร 100 มล. แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ทิ้งไว้อีกประมาณ 30 นาที
4. กรองสารละลาย
5. ล้างเยื่อด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งเป็นกลาง และกรดอะซิติกร้อยละ 10 ปริมาตร 40 มล.
6. นำไปอบให้แห้งที่ 105 องศาเซลเซียส ในเตาอบ
7. คำนวณหาร้อยละแอลฟา-เซลลูโลสจาก

$$\text{ร้อยละแอลฟา-เซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแอลฟา-เซลลูโลสหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

3. การตรวจสอบลักษณะปรากฏทางสัณฐานของเซลลูโลสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) (Walker, 1976)

1. นำตัวอย่างติดกระจายลงบนเทปกาวยางสองหน้าที่ติดอยู่บนแท่งอลูมิเนียม (aluminum stab)
2. นำไปเคลือบทองโดยใช้ sputter coater โดยใช้ความดันในเครื่องต่ำกว่า 0.1 มิลลิบาร์ ใช้ระยะเวลาการเคลือบประมาณ 160 วินาที
3. วางแท่งอลูมิเนียมที่ผ่านการเคลือบทองแล้ว ลงในช่องสำหรับใส่แท่งอลูมิเนียมภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
4. นำไปถ่ายภาพขยายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง (SEM) โดยควบคุมความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 15 กิโลโวลต์ ที่กำลังขยาย 200, 1000 และ 2000 เท่าตามลำดับ

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน

1. การวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid; FFA) โดยวิธีการของ AOCS, 1990

สารเคมี

1. แอลกอฮอล์ (alcohol) ร้อยละ 95 ใช้สำหรับละลายน้ำมันที่ต้องการจะทดสอบ โดยก่อนใช้ต้องเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอิน (phenolphthalein) และค่างเล็กน้อย จนเกิดสีชมพูจึงนำไปใช้
2. สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินสำหรับเป็นอินดิเคเตอร์ (สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินร้อยละ 1 ในแอลกอฮอล์ร้อยละ 95)
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (ความเข้มข้นขึ้นกับปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่คาดว่าจะพบในน้ำมันตัวอย่าง)

FFA range %	ปริมาณสารตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรของ แอลกอฮอล์ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของ NaOH
0.00 – 0.20	56.4 ± 0.20	50	0.1 N
0.20 – 1.00	25.2 ± 0.20	50	0.1 N
1.00 – 30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25 N
30.0 – 50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 N หรือ 0.1 N
50.0 – 100.0	3.525 ± 0.001	100	1.0 N

การทดสอบ

1. ให้ความร้อนแก่น้ำมันตัวอย่าง เพื่อให้อยู่ในรูปของเหลว อย่าให้อุณหภูมิเกินจุดหลอมเหลวมากกว่า 10 องศาเซลเซียส
2. ชั่งน้ำมัน 7.05 ± 0.05 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. เติมแอลกอฮอล์ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ที่ทำการทดสอบแล้วว่าเป็นกลางขณะร้อน และฟีนอล์ฟทาเลอิน 2 มิลลิลิตร

4. ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งสารตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพู โดยสีชมพูจะต้องไม่เปลี่ยนภายใน 30 วินาที

การคำนวณ

$$\text{ร้อยละกรดไขมันอิสระ} = \frac{\text{ปริมาตรค่าที่ใช้ (มล.)} \times \text{ความเข้มข้นของด่าง (นอร์มัล)} \times 28.2}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

2. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value, P.V.) โดยวิธีการของ AOCS, 1990

สารเคมี

1. สารละลายกรดอะซิติกคลอโรฟอร์ม (acetic-chloroform) ในอัตราส่วนอะซิติก : คลอโรฟอร์ม เป็น 3:2 (v/v) โดยผสมกรดกลacialอะซิติก (glacialacetic) 3 ส่วนกับ คลอโรฟอร์ม (chloroform) 2 ส่วน
2. สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว (potassiumiodide) เตรียมโดยใช้สาร โปแตสเซียมไอโอไดด์ 80 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร โดยไม่ต้องคนสารให้ละลาย นำเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวเก็บในขวดสีชา เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับแสง การทดสอบความอิ่มตัวทำโดยเติมสารละลายแป้ง 2 หยด ในโปแตสเซียม-ไอโอไดด์ 0.5 มิลลิลิตร ที่ผสมในสารละลายระหว่างอะซิติกคลอโรฟอร์มจำนวน 30 มิลลิลิตร ถ้าสารละลายมีสีฟ้าต้องเติมสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต (sodiumthiosulfate) 0.1 นอร์มัล มากกว่า 1 หยด
3. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล เทียบมาตรฐานโดยใช้โปแตสเซียมไดโครเมตเป็น Primary Standard ซึ่งมีขั้นตอนการเทียบมาตรฐานดังนี้
 - 3.1 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 24.9 กรัมในน้ำกลั่น 1 ลิตร
 - 3.2 นำโปแตสเซียมไดโครเมตมาบดละเอียดแล้วทำให้แห้งที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งมา 0.16 ± 0.22 กรัม ใส่ในขวดปริมาตร 500 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 5 นาที เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต เขย่าอย่างต่อเนื่องจนสีเหลืองจางหายไป กำหนดความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟต

$$\text{ความเข้มข้นของ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ (นอร์มัล)} = \frac{\text{น้ำหนักของโปแตสเซียมไดโครเมต} \times 20.394}{\text{จำนวนมิลลิลิตรของโซเดียมไธโอซัลเฟต}}$$

การทดสอบ

1. ชั่งน้ำมันตัวอย่าง 5.00 ± 0.05 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรที่มีจุกปิด เติมสารละลายผสมของอะซิติกกับคลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 3:2 จำนวน 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปิดสารละลายอิมัลชันของโปแตสเซียมไอโอไดด์จำนวน 0.5 มิลลิลิตร
2. เก็บในที่มืดนาน 5 นาที หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร
3. ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ค่อยๆ เติมและเขย่าอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งสีเหลืองของไอโอดีนจางหายไป เติมสารละลายน้ำแข็ง 0.5 มิลลิลิตร ไตเตรตโดยเขย่าอย่างสม่ำเสมอ จนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป

การคำนวณ

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์} = \frac{\text{ปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟต (มล.)} \times N \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบที่มีขั้ว (Total Polar Material; TPM)

สารเคมี

1. สารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน ปิโตรเลียมอีเทอร์ : ไดเอทิลอีเทอร์เป็น 87:13 (ปริมาตร โดยปริมาตร) โดยผสม ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) 87 ส่วนกับไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) 13 ส่วน
2. ซิลิกาเจล (silica gel)
3. sea-sand

การเตรียมคอลัมน์

1. เติมสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์กับไดเอทิลอีเทอร์ลงในคอลัมน์ แล้ว นำใบแก้วรองที่บริเวณด้านล่างของคอลัมน์ และใช้แท่งแก้วดันฟองอากาศออกให้หมด
2. ชั่งซิลิกาเจลน้ำหนัก 25 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และเติม สารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ อัตราส่วน 87:13 ปริมาตร 80 มิลลิลิตร แล้วเทลงในคอลัมน์ผ่านกรวยกรอง

3. เติม sea-sand น้ำหนัก 4 กรัมผ่านกรวยกรองลงในคอลัมน์

การทดสอบ

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 2.5 ± 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร และละลายด้วยสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 87:13 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วใช้ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างค่อยๆ เทใส่ลงในคอลัมน์
2. นำขวดกั่นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ที่อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน และวางไว้ที่ได้คอลัมน์
3. ชะส่วนของสารประกอบที่ไม่มีขั้วด้วยสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ในอัตราส่วน 87:13 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ไหลผ่านลงไปคอลัมน์ที่บรรจุซิลิกาเจลและสารละลายตัวอย่างอยู่
4. ปรับอัตราการไหลให้สารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์ และไดเอทิลอีเทอร์ 150 มิลลิลิตร ไหลผ่านคอลัมน์ให้หมดภายในเวลา 60 ถึง 70 นาที
5. หลังจากชะด้วยสารละลายผสมของปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์หมดแล้ว ให้นำขวดกั่นกลมอีกหนึ่งขวดมาวางที่ได้คอลัมน์และชะส่วนของสารประกอบที่มีขั้วด้วยสารละลายไดเอทิลอีเทอร์ปริมาตร 150 มิลลิลิตร
6. ระเหยส่วนของสารละลายที่อยู่ในขวดกั่นกลมด้วยเครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิของอ่างน้ำไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส
7. ทำให้ขวดกั่นกลมให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องและชั่งน้ำหนักของขวดกั่นกลม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณสารประกอบที่มีขั้ว, \% (w/w)} = \frac{[E - A]/E}{1} \times 100$$

$$A = \text{ปริมาณสารที่ไม่มีขั้ว (กรัม)}$$

$$E = \text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)}$$

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของน้ำมันทอด

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองและกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 ในระหว่างการทอดนึ่งไก่เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	กระดาษกรองธรรมดา ^a	กระดาษกรองผสม สารดูดซับร้อยละ 25 ^b	กระดาษกรองผสม สารดูดซับร้อยละ 35 ^c
0	0.1596 ^{aH} (0.01)	0.1596 ^{aG} (0.01)	0.1596 ^{aI} (0.01)
3	0.2093 ^{aG} (0.02)	0.1793 ^{bG} (0.01)	0.1993 ^{abH} (0.01)
6	0.2196 ^{aG} (0.01)	0.1891 ^{bF} (0.02)	0.1993 ^{bH} (0.03)
9	0.2798 ^{aG} (0.02)	0.2596 ^{bE} (0.04)	0.2585 ^{bG} (0.02)
12	0.2934 ^{aF} (0.03)	0.2736 ^{bE} (0.01)	0.2727 ^{bG} (0.03)
15	0.3478 ^{aF} (0.02)	0.3228 ^{abD} (0.02)	0.2950 ^{aF} (0.02)
18	0.3605 ^{aE} (0.01)	0.2689 ^{bE} (0.05)	0.2684 ^{bF} (0.01)
21	0.4011 ^{aD} (0.02)	0.3614 ^{cC} (0.01)	0.3419 ^{bE} (0.01)
24	0.4334 ^{aDC} (0.03)	0.4291 ^{aB} (0.02)	0.3610 ^{bB} (0.01)
27	0.4610 ^{aC} (0.02)	0.4000 ^{aB} (0.04)	0.3992 ^{bD} (0.02)
30	0.4997 ^{aB} (0.04)	0.4397 ^{aB} (0.03)	0.4123 ^{aA} (0.01)
33	0.5230 ^{aBA} (0.02)	0.4431 ^{bB} (0.02)	0.4206 ^{cC} (0.03)
36	0.5431 ^{aA} (0.01)	0.4406 ^{bA} (0.02)	0.4200 ^{cB} (0.02)

ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

^a กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No.1)เป็นชุดควบคุม;หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวันทั้งหมดเป็นระยะเวลา 6 วัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 Whatman No.1

^b กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 25 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 วัน

^c กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 วัน

^{a-c} ตัวอักษรภาษาอังกฤษภายในแถวที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

^{A-I} ตัวอักษรภาษาอังกฤษภายในคอลัมน์ที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง และกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 ในระหว่างการทอดนักเก็ตไก่เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	กระดาษกรองธรรมดา ^a	กระดาษกรองผสม สารดูดซับร้อยละ 25 ^b	กระดาษกรองผสม สารดูดซับร้อยละ 35 ^c
0	0.0994 ^{aG} (0.24)	0.0994 ^{aD} (0.24)	0.0994 ^{aF} (0.24)
3	0.9980 ^{aA} (0.54)	0.4970 ^{bB} (0.68)	0.2973 ^{cCD} (0.21)
6	0.6974 ^{aF} (0.80)	0.3976 ^{bB} (0.48)	0.1996 ^{cE} (0.34)
9	0.8240 ^{aC} (0.25)	0.2990 ^{bC} (0.29)	0.3000 ^{bCBD} (0.59)
12	0.6890 ^{aF} (0.30)	0.4691 ^{bBA} (0.14)	0.4192 ^{cA} (0.40)
15	0.7058 ^{aD} (0.31)	0.4286 ^{bBA} (0.25)	0.3637 ^{aCB} (0.88)
18	0.8954 ^{aCB} (0.24)	0.4505 ^{bBA} (0.88)	0.3485 ^{bCB} (0.09)
21	0.8973 ^{aCB} (0.26)	0.2493 ^{bC} (0.09)	0.1996 ^{bE} (0.29)
24	0.5964 ^{aEF} (0.40)	0.2979 ^{bC} (0.43)	0.2482 ^{bE} (0.13)
27	0.5906 ^{aED} (0.52)	0.3932 ^{bB} (0.54)	0.2512 ^{cED} (0.16)
30	0.6540 ^{aD} (0.80)	0.2983 ^{bC} (0.20)	0.2482 ^{cCD} (0.41)
33	0.6455 ^{aEDF} (0.45)	0.4006 ^{bB} (0.80)	0.2982 ^{cCBD} (0.50)
36	0.9901 ^{aB} (0.43)	0.4152 ^{bA} (0.56)	0.3945 ^{cB} (0.34)

ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

^a กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman No.1) เป็นชุดควบคุม; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวันทั้งหมดเป็นระยะเวลา 6 วัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 Whatman No.1

^b กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 25 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 วัน

^c กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณ ร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 วัน

^{a-c} ตัวอักษรภาษาอังกฤษภายในแถวที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

^{A-G} ตัวอักษรภาษาอังกฤษภายในคอลัมน์ที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบที่มีชีวิตในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองและกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 25 และ 35 ในระหว่างการทอดนักเก็ตไก่เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	กระดาษกรองธรรมดา ^a	กระดาษกรองผสม สารดูดซับร้อยละ 25 ^b	กระดาษกรองผสม สารดูดซับร้อยละ 35 ^c
0	7.02 (0.11)	7.02 (0.11)	7.02 (0.11)
3	13.45 (0.32)	11.89 (0.13)	12.93 (0.23)
6	14.85 (0.23)	12.00 (0.07)	12.09 (0.11)
9	15.17 (0.12)	15.99 (0.11)	14.91 (0.22)
12	16.14 (0.11)	19.65 (0.07)	20.28 (0.09)
15	20.68 (0.06)	20.15 (0.14)	21.98 (0.16)
18	21.23 (0.09)	17.46 (0.10)	14.71 (0.11)
21	20.22 (0.14)	18.22 (0.14)	15.75 (0.24)
24	27.01 (0.18)	22.08 (0.10)	22.63 (0.19)
27	28.07 (0.24)	20.92 (0.07)	12.26 (0.09)
30	28.07 (0.32)	24.53 (0.17)	19.02 (0.10)
33	27.20 (0.37)	17.09 (0.25)	16.85 (0.11)
36	27.82 (0.12)	20.37 (0.12)	19.55 (0.13)

ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

^a กรองด้วยกระดาษกรองธรรมดา(Whatman No.1)เป็นชุดควบคุม;หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวันทั้งหมดเป็นระยะเวลา 6 วัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษกรองธรรมดาWhatman No.1

^b กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ25 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 วัน

^c กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 6 วัน

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วย
กระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และสารดูดซับผสมร้อยละ
35 ผสมเซลลูโลสอะซิเตทในระหว่างการทอดนักเก็ตไก่เป็นระยะเวลา 42 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	กระดาษจากเปลือก ข้าวโพด ^a	กระดาษกรองผสม สารดูดซับร้อยละ 35 ^b	กระดาษกรองผสม สารดูดซับร้อยละ 35+CA ^c
0	0.2915 ^{aK} (0.03)	0.1997 ^{aJ} (0.03)	0.2195 ^{aK} (0.03)
3	0.2197 ^{aK} (0.02)	0.1987 ^{aJ} (0.02)	0.2691 ^{aJ} (0.02)
6	0.3095 ^{aJ} (0.02)	0.2993 ^{aI} (0.01)	0.3092 ^{aI} (0.02)
9	0.3596 ^{aI} (0.02)	0.3585 ^{aH} (0.01)	0.3588 ^{aH} (0.01)
12	0.4098 ^{aH} (0.02)	0.3727 ^{bG} (0.02)	0.4095 ^{aG} (0.01)
15	0.4493 ^{aG} (0.04)	0.4950 ^{aF} (0.01)	0.5085 ^{aF} (0.02)
18	0.5680 ^{aEF} (0.02)	0.5684 ^{aD} (0.02)	0.5318 ^{aEF} (0.03)
21	0.5405 ^{aF} (0.01)	0.5419 ^{aE} (0.02)	0.5337 ^{aE} (0.04)
24	0.5913 ^{aED} (0.03)	0.5361 ^{bE} (0.04)	0.5821 ^{abD} (0.03)
27	0.6187 ^{aD} (0.03)	0.5992 ^{aD} (0.01)	0.5906 ^{aD} (0.01)
30	0.7019 ^{aC} (0.04)	0.6123 ^{bC} (0.02)	0.6376 ^{bC} (0.02)
33	0.7200 ^{aC} (0.01)	0.7132 ^{bB} (0.01)	0.7364 ^{aB} (0.01)
36	0.8022 ^{aA} (0.01)	0.7457 ^{bA} (0.03)	0.7493 ^{bA} (0.01)
39	0.7527 ^{aB} (0.02)	0.7200 ^{bA} (0.02)	0.7130 ^{bA} (0.02)
42	0.8026 ^{aA} (0.01)	0.7296 ^{bA} (0.01)	0.7382 ^{bA} (0.01)

ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

^a กรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดเป็นชุดควบคุม;หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวันทั้งหมดเป็นระยะเวลา 7 วัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพด

^b กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลา ทั้งหมด 7 วัน

^c กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษและผสมเซลลูโลสอะซิเตท ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสม

^{a-c} ตัวอักษรภาษาอังกฤษภายในแถวที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

^{A-K} ตัวอักษรภาษาอังกฤษภายในคอลัมน์ที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และสารดูดซับผสมร้อยละ 35 ผสมเซลลูโลสอะซิเตทในระหว่างการทอดนั้กเกดไก่เป็นระยะเวลา 42 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	กระดาษจากเปลือกข้าวโพด ^a	กระดาษกรองผสมสารดูดซับร้อยละ 35 ^b	กระดาษกรองผสมสารดูดซับร้อยละ 35+CA ^c
0	0.0988 ^{aH} (0.21)	0.0994 ^{aF} (0.23)	0.0987 ^{aG} (0.19)
3	0.8885 ^{aEDC} (0.42)	0.7973 ^{aA} (0.29)	0.8398 ^{aBA} (0.29)
6	0.8883 ^{aED} (0.31)	0.6996 ^{bC} (0.39)	0.8887 ^{aA} (0.40)
9	1.0826 ^{aA} (0.28)	0.6879 ^{bD} (0.43)	0.7865 ^{bC} (0.36)
12	1.0456 ^{aBA} (0.19)	0.7185 ^{bB} (0.44)	0.7460 ^{bBC} (0.22)
15	0.7959 ^{aEF} (0.20)	0.7637 ^{aA} (0.80)	0.6974 ^{aDC} (0.70)
18	0.9453 ^{aBCD} (0.30)	0.6485 ^{bD} (0.46)	0.5870 ^{bE} (0.54)
21	0.9927 ^{aDC} (0.78)	0.6996 ^{aC} (0.13)	0.6963 ^{bDC} (0.42)
24	0.8952 ^{aEDC} (0.38)	0.7076 ^{bB} (0.20)	0.6974 ^{cDC} (0.20)
27	0.9909 ^{aBAC} (0.22)	0.7812 ^{cA} (0.20)	0.7990 ^{bBAC} (0.18)
30	0.8947 ^{aEDC} (0.24)	0.7682 ^{cA} (0.18)	0.5958 ^{bED} (0.67)
33	0.7407 ^{aF} (0.19)	0.6982 ^{aC} (0.52)	0.4435 ^{bF} (0.14)
36	0.7952 ^{aEF} (0.37)	0.7943 ^{bA} (0.29)	0.5973 ^{bED} (0.31)
39	0.7994 ^{aG} (0.28)	0.6899 ^{bD} (0.02)	0.4958 ^{cEF} (0.33)
42	0.9462 ^{aBDC} (0.16)	0.5788 ^{bE} (0.60)	0.5488 ^{bE} (0.18)

ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

^a กรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดเป็นชุดควบคุม;หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวันทั้งหมดเป็นระยะเวลา 7 วัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพด

^b กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 7 วัน

^c กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษและผลมเซลลูโลสอะซิเตท ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสม

^{a-c} ตัวอักษรภาษาอังกฤษภายในแถวที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

^{A-H} ตัวอักษรภาษาอังกฤษภายในคอลัมน์ที่แตกต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบที่มีชีวิตในน้ำมันทอดที่ผ่านการกรองด้วย
กระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมร้อยละ 35 และสารดูดซับผสมร้อยละ
35 ผสมเซลลูโลสอะซิเตทในระหว่างการทอดนักเก็ตไก่เป็นระยะเวลา 42 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	กระดาษจากเปลือก ข้าวโพด ^a	กระดาษกรองผสม สารดูดซับร้อยละ 35 ^b	กระดาษกรองผสม สารดูดซับร้อยละ 35+CA ^c
0	4.52 (0.03)	4.52 (0.03)	4.52 (0.03)
3	5.00 (0.12)	12.93 (0.11)	3.80 (0.11)
6	8.10 (0.14)	12.09 (0.14)	7.88 (0.08)
9	9.63 (0.23)	14.91 (0.09)	10.62 (0.09)
12	9.46 (0.40)	20.28 (0.13)	16.92 (0.13)
15	17.43 (0.34)	21.98 (0.11)	14.89 (0.07)
18	16.34 (0.37)	14.71 (0.15)	15.02 (0.09)
21	18.63 (0.46)	15.75 (0.06)	16.52 (0.13)
24	24.63 (0.45)	22.63 (0.14)	20.09 (0.15)
27	25.86 (0.56)	12.26 (0.13)	20.89 (0.12)
30	26.57 (0.87)	19.02 (0.06)	18.76 (0.10)
33	27.73 (0.19)	16.85 (0.40)	17.73 (0.07)
36	27.96 (0.38)	19.55 (0.13)	22.10 (0.09)
39	27.26 (0.14)	21.56 (0.15)	23.24 (0.05)
42	28.45 (0.11)	24.88 (0.09)	23.26 (0.06)

ตัวเลขในตารางแสดงค่าเฉลี่ย (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

^a กรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดเป็นชุดควบคุม; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวันทั้งหมดเป็นระยะเวลา 7 วัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพด

^b กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษ ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสมโดยทอดเป็นระยะเวลาทั้งหมด 7 วัน

^c กรองด้วยกระดาษผสมสารดูดซับผสมในปริมาณร้อยละ 35 ของน้ำหนักของเยื่อกระดาษและผลมเซลลูโลสอะซิเตท ; หลังจากการทอดทุกๆ 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน น้ำมันทอดจะถูกกรองด้วยกระดาษจากเปลือกข้าวโพดผสมสารดูดซับผสม

ประวัติผู้ทำวิจัย

- ชื่อ – สกุล :
 (ภาษาไทย) : นางสาวนิติพร จำรัสจำเริญดี
 (ภาษาอังกฤษ) : MISS NITIPORN JUMRUSJUMROENDEE
- ที่อยู่ : 49/67 หมู่ 8 ต.ท่าตลาด อ.สามพราน จ.นครปฐม 73110
- ประวัติการศึกษา
- พ.ศ. 2550 : กำลังศึกษาระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขา
เทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร
- พ.ศ. 2547 : ระดับปริญญาตรี ศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี
อาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร
- พ.ศ. 2543 : มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวัดไร่ขิงวิทยา จ.นครปฐม
- ประวัติการทำงาน :
- พ.ศ. 2547 – 2548 : พนักงานควบคุมคุณภาพ บริษัท กรุงเทพมหานครอินดัสเทรียล จำกัด
- ผลงานทางวิชาการ :
- พ.ศ. 2550 : การบรรยายทางวิชาการเรื่อง “ผลของวิธีการสกัดเซลล์โลสต่อคุณสมบัติ
ทางเคมีและกายภาพของเซลล์โลส” ในงานการประชุมทางวิชาการ
ศิลปากรวิจัย ครั้งที่ 1 วันที่ 22 พฤศจิกายน 2550 มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม