

20401



# ใบรับรองปัญหาพิเศษ



T096942

## เรื่อง

ศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันในดินที่ทอด  
ด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้

## จัดทำโดย

- 1. น.ส. ชุติมา      ประจวบศรีรัตน์ รหัสนักศึกษา 44040185
- 2. น.ส. สุวเพ็ญ      ชูแสงเลิศวิจิตร รหัสนักศึกษา 44040233
- 3. น.ส. อัมภา      วิจิตชาญ      รหัสนักศึกษา 44040239

สาขา อุตสาหกรรมเกษตร (พิเศษ)

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

*สุวิทย์ มาสหา*      *11* / *22* / *48*      อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ  
 (รศ.ดร. สุวิชัย นาครักษา )

ปพ.  
 ๘๖๑๗๘  
 ๒๕๔๗

ลงทะเบียน.....  
 เลขทะเบียน 96942  
 วันเดือนปี 15 JUN 2009

รายงานผลสอบโครงร่างปัญหาพิเศษ โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร  
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชา อุตสาหกรรมเกษตร (พิเศษ)  
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2547

เรื่อง

ศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันในโดนัททอดด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้  
(Edible coating to reduce fat uptake in deep fried doughnut)

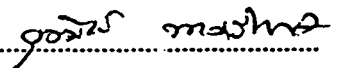
ผู้ดำเนินงาน

รหัส 44040185 นางสาว ชุติมา ประจวบศรีรัตน์  
รหัส 44040233 นางสาว สุวเพ็ญ ชูแสงเลิศวิจิตร  
รหัส 44040239 นางสาว อัมภา วิจิตรชาญ

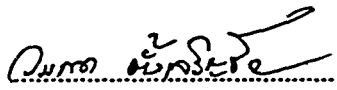
อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา

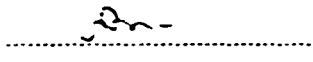
ผลการสอบโครงร่างปัญหาพิเศษ

  
.....  
(รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ (✓) ผ่าน  
( ) ไม่ผ่าน เหตุผล.....

  
.....  
(รศ.ดร. วรณา ตั้งเจริญชัย)

กรรมการสอบ (✓) ผ่าน  
( ) ไม่ผ่าน เหตุผล.....

  
.....  
(ดร. กิตติชัย บรรจง)

กรรมการสอบ (✓) ผ่าน  
( ) ไม่ผ่าน เหตุผล.....

วันที่ 19 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2547

ลงชื่อ.....

( )

อาจารย์ผู้ประสานงานปัญหาพิเศษ

## กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ มาจากการให้ความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ รวมทั้ง รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่ให้ความกรุณา ในการปรึกษาปัญหาต่างๆและช่วยแนะนำรูปแบบที่เหมาะสม รวมถึงขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ให้การสนับสนุน จนกระทั่งปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงจนกระทั่งเรียบร้อย

ทั้งนี้ขอขอบพระคุณ บริษัท แครี่เวิร์ล จำกัด, บริษัทวินแซนด์ อินดัสทรี จำกัด และ บริษัท Berli Jucker Scceialties Limited (BJC.) ที่สนับสนุนในด้าน Isolate Soy Protein e , Whey protein Isolate และ glycerine สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการที่คอยให้ความช่วยเหลือ คณะผู้จัดทำปัญหาพิเศษนี้โดยตลอดมา

## คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานที่คณะผู้จัดทำได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นหัวข้อในปัญหาพิเศษ เรื่องศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันใน โคนัททอดด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ ซึ่งในรายงานฉบับนี้ประกอบไปด้วย รายละเอียดเกี่ยวกับสารเคลือบที่บริโภคได้ไม่ว่าจะเป็น ความหมายของสารเคลือบที่บริโภคได้ คุณสมบัติของสารเคลือบที่บริโภคได้ องค์ประกอบต่างๆ ในสารเคลือบที่บริโภคได้ และงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาถึงสารเคลือบที่ช่วยในการลดปริมาณการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เป็นต้น รายงานฉบับนี้เป็นรายงานที่น่าสนใจในการนำไปค้นคว้าต่อหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้ ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาจากรายงานฉบับนี้และค้นหาข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงที่กล่าวถึงได้

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ศึกษา ค้นคว้า และผู้ที่จะนำไปใช้ไม่มากนักน้อย หากรายงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาดหรือขาดตกบกพร่องประการใดต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

น.ส. ชุติมา ประจวบศรีรัตน์ , น.ส. สุวเพ็ญ ชูแสงเลิศวิจิตร และ น.ส. อัมภา วิจิตรชาญ. 2547

:ชื่อเรื่อง ศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันในโดนัททอดด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้ ( Edible coating to reduce fat uptake in deep fried doughnut ). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา

### บทคัดย่อ

การผลิตฟิล์มเคลือบที่บริโภคได้สำหรับเคลือบผลิตภัณฑ์โดนัทที่ทอดในน้ำมันมาก เพื่อลดปริมาณการดูดซับน้ำมันของโดนัท โดยทำการผลิตสารเคลือบที่บริโภคได้จาก Whey Protein Isolate และ Soy Protein Isolate และมีกลีเซอรินเป็นพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งมีอัตราส่วนของ WPI ต่อปริมาณน้ำ เป็น 30 : 70 , 45 : 55 , 60 : 40 อัตราส่วนของ SPI เป็น 5:95 , 7.5 : 92.5 , 10 : 90 , 12.5 : 87.5 และมีส่วนผสมของกลีเซอรินในแต่ละอัตราส่วนเป็น 3 , 5 , 7 , 9 ใช้วิธีการเคลือบโดยการทาบนผิวของโดนัทที่ละด้านจนแห้งทั้ง 2 ด้าน ทำการทอดโดนัทที่ อุณหภูมิ 165 – 180 องศาเซลเซียส พบว่า ที่ความเข้มข้นของ WPI 30 45 และ 60 เมื่อนำไปเคลือบโดนัทแล้วนำไปทอดจะพบว่าฟิล์มที่เคลือบอยู่เกิดการแตกทำให้ปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่าโดนัทที่ยังไม่ได้เคลือบ ในส่วนของ SPI พบว่าเมื่อนำไปเคลือบโดนัทแล้วนำไปทอดเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน ปริมาณไขมันที่ได้มีค่าต่ำกว่าโดนัทที่ไม่ได้เคลือบ ซึ่งเมื่อดูจากปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้พบว่า SPI ที่ 10 % และกลีเซอรินที่ 5 % ของปริมาณของ SPI ทำให้มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดและมีความเงาของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นด้วย

.....  
.....  
.....

ลายมือชื่อนักศึกษา

*สุวเพ็ญ ชูแสงเลิศวิจิตร*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

*11 ธ.ค. ๕๕*

วัน/เดือน/ปี

## สารบัญ

|   |     |
|---|-----|
| สารบัญ                                  | I   |
| สารบัญตาราง                             | III |
| สารบัญรูปภาพ                            | IV  |
| บทนำ                                    | 1   |
| วัตถุประสงค์                            | 2   |
| การตรวจเอกสาร                           |     |
| ความหมายของ edible coating              | 3   |
| เหตุผลของการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบ       | 4   |
| คุณลักษณะของฟิล์มหรือสารเคลือบ          | 5   |
| คุณสมบัติของฟิล์มและการทดสอบ            | 6   |
| คุณสมบัติของฟิล์มที่มีผลต่อการเก็บรักษา | 7   |
| คุณภาพและชีวิตอายุการเก็บรักษา          |     |
| ของผลิตภัณฑ์อาหาร                       |     |
| ฟิล์มบริโภคนได้กับการใช้ประโยชน์        | 9   |
| วิธีการใช้ฟิล์มหุบเคลือบ                | 11  |
| การเกิดฟิล์ม                            | 13  |
| สารและสารเจือปนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม   |     |
| พลาสติกไซเซออร์                         | 16  |
| พอลิเมอร์                               | 28  |
| การทอด                                  |     |
| ไขมันและน้ำมัน                          | 50  |
| วิธีการทอดทางอุตสาหกรรม                 | 54  |
| เวย์โปรตีน                              | 57  |
| โปรตีนถั่วเหลือง                        | 67  |
| ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง           | 74  |
| อุปกรณ์                                 | 107 |
| วิธีการ                                 | 109 |
| ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง                  | 111 |

|               |     |
|---------------|-----|
| สรุป          | 117 |
| ข้อเสนอแนะ    | 118 |
| เอกสารอ้างอิง | 119 |
| ภาคผนวก       | ก   |

## สารบัญตาราง

|  |     |
|--|-----|
| ตารางที่ 1 องค์ประกอบของสวิตช์และแอชิตเวีย   | 58  |
| ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น<br>ที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาด              | 69  |
| ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด<br>ที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาด                 | 70  |
| ตารางที่ 4 น้ำมันที่ใช้ทอด โคนัท   | 90  |
| ตารางที่ 5 ผลของการทดสอบความแตกต่างแบบ triangle โดยการประเมินจากผู้ทดสอบ                               | 91  |
| ตารางที่ 6 ผลจากการทดสอบเป็นคู่โดยผู้บริโภค  | 93  |
| ตารางที่ 8 อัตราส่วน (%) ของปริมาณการดูดซึมของน้ำมันใน โคนัททอดในน้ำมันทั้ง 4 ชนิด                     | 95  |
| ตารางที่ 9 สูตรของสารละลายที่นำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มเคลือบผิวอาหาร  | 98  |
| ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและสารเคลือบฟิล์มที่รับประทานได้                         | 102 |
| ตารางที่ 11 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model                                       | 112 |
| <b>&gt; Univariate ของ เวียโปรตีน</b>  |     |
| ตารางที่ 12 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model ><br>Univariate ของ เวียโปรตีน        | 113 |
| ตารางที่ 13 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Mode<br>Univariate ของ Soy protein Isolate  | 114 |
| ตารางที่ 14 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model<br>Univariate ของ Soy protein Isolate | 116 |
| <b>ภาคผนวก</b>   |     |
| ตารางที่ 1 แสดงปริมาณ ไขมันที่วิเคราะห์ได้   | ก   |
| ตารางที่ 2 แสดงปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้   | ง   |
| ตารางที่ 3 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model<br>> Univariate ของ เวียโปรตีน         | ช   |
| ตารางที่ 4 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model<br>> Univariate ของ ซอยโปรตีน          | ญ   |

## สารบัญรูป

|   |    |
|---|----|
| รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของแอลฟาแลคโตโกลบูลิน               | 62 |
| รูปที่ 2 แสดงการเกิดเจลของ โปรตีน                         | 66 |
| ภาชนะบรรจุ  |    |
| รูปที่ 1 Refined Glycerin USP                             | ฐ  |
| รูปที่ 2 Whey Protein Isolate                             | ฐ  |
| รูปที่ 3 Isolate Soy Protein                              | ฑ  |
| รูปที่ 4 เครื่องตีไข่                                     | ค  |
| รูปที่ 5 แสดงการทอดของโคนัท                               | ค  |
| รูปที่ 6 Hot Air Oven                                     | ค  |
| รูปที่ 7 ปีโตรเลียมอีเทอร์                                | ค  |
| รูปที่ 8 การวิเคราะห์ไขมัน                                | ณ  |
| รูปที่ 9 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย WPI 30 % ก่อนการทอด    | ณ  |
| รูปที่ 10 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย WPI 45 % ก่อนการทอด   | ท  |
| รูปที่ 11 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย WPI 60 % ก่อนการทอด   | ท  |
| รูปที่ 12 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย WPI 30 % หลังการทอด   | ธ  |
| รูปที่ 13 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย WPI 45 % หลังการทอด   | ธ  |
| รูปที่ 14 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย WPI 60 % หลังการทอด   | น  |
| รูปที่ 15 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย SPI 5 % ก่อนการทอด    | น  |
| รูปที่ 16 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย SPI 7.5 % ก่อนการทอด  | บ  |
| รูปที่ 17 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย SPI 10 % ก่อนการทอด   | บ  |
| รูปที่ 18 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย SPI 12.5 % ก่อนการทอด | ป  |
| รูปที่ 19 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย SPI 5 % หลังการทอด    | ป  |
| รูปที่ 20 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย SPI 7.5 % หลังการทอด  | ผ  |
| รูปที่ 21 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย SPI 10 % หลังการทอด   | ผ  |
| รูปที่ 22 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย SPI 12.5 % หลังการทอด | ฝ  |
| รูปที่ 23 Control ก่อนและหลังการทอด                       | พ  |

## ศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันในโดนัททอดด้วยสารเคลือบที่บริโภคได้

### Edible coating to reduce fat uptake in deep fried doughnut

#### บทนำ

การใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่บริโภคได้ในการรักษาคุณภาพและยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารไม่ใช่เรื่องใหม่ แท้จริงแล้วการเคลือบอาหารเป็นความคิดดั้งเดิมที่จะเลียนแบบสารเคลือบผิวตามธรรมชาติ และได้มีการศึกษาพัฒนาคุณสมบัติด้านต่างๆของฟิล์ม เพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากฟิล์มและสารเคลือบได้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะบทบาททางด้านผลิตภัณฑ์อาหาร

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาสนใจด้านสุขภาพและโภชนาการมากขึ้น จึงมีความสนใจในผลิตภัณฑ์ประเภทที่มีไขมันต่ำเริ่มมากขึ้น ซึ่งอาจมีผลทำให้ปริมาณอาหารประเภทที่ใช้ไขมัน เป็นส่วนประกอบในกรรมวิธีการผลิตลดลง แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีผู้บริโภคบางส่วนยังคงให้ความสนใจต่อผลิตภัณฑ์อาหารจากการทอดแบบน้ำมันท่วมถึงแม้ว่าการบริโภคไขมันที่มากเกินไปร่างกายได้รับพลังงานมากกว่าที่ต้องการซึ่งส่งผลให้น้ำหนักมากเกินไปจนเกิดโรคอ้วน (Obesity) โรคคอเลสเตอรอลในเลือดสูง ความดันเลือดสูงและโรคหัวใจ เป็นต้น ดังนั้นอาหารที่ผ่านการทอดที่ดีควรมีไขมันต่ำแต่ลักษณะของอาหารภายในยังคงมีความอ่อนนุ่มและชื้น แต่ภายนอกกรอบ ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการของผู้บริโภค อาหารที่ทอดในน้ำมันมากเป็นกระบวนการทำแห้งวิธีหนึ่งที่ใช้การถ่ายเทความร้อนปานกลางและซึมผ่านเข้าไปในอาหารซึ่งมีผลต่อรสชาติและสารอาหารอีกด้วยการศึกษาวิจัยในการลดปริมาณไขมันหรือการดูดซึมไขมันในระหว่างการทอดเกิดขึ้นมาไม่นาน Edible coating จึงกลายเป็นการแก้ปัญหาอย่างหนึ่งในการป้องกันการดูดซึมไขมันระหว่างการทอดในอาหารที่ทอดในน้ำมันมากโดยใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ก่อนการทอดเพื่อลดการดูดซึมไขมันของผลิตภัณฑ์

## วัตถุประสงค์

ศึกษาถึงความเข้มข้นของ Whey Protein และ Soy Protein ในการผลิตสารเคลือบ โดยพิจารณาถึงความสามารถในการป้องกันการดูดซับน้ำมันของโคนัททอด

## การตรวจเอกสาร

### 1. ความหมายของ Edible coating

สารเคลือบที่รับประทานได้ (Edible coating) หมายถึงวัสดุแผ่นบางที่รับประทานได้ที่นำมาใช้กับอาหารด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การห่อหุ้ม (enrobing) การจุ่ม (Dipping) การแปรง (brushing) หรือการพ่นฝอย (spraying) เพื่อกันมิให้ก๊าซไอระเหย และสารถูกละลาย(solute) เข้าออกจากอาหารได้ช่วยชะลอการเสื่อมเสียของอาหาร

โดยทั่วไปคำว่า Film หรือ Coating ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่การเคลือบ เป็นการนำเอาสารมาเคลือบกับพื้นผิวของผลผลิตโดยตรงแล้วทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางๆที่พื้นผิว แต่การใช้ฟิล์มจะต้องมีการผลิตเป็นฟิล์มขึ้นก่อนแล้วจึงนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร โดยมักจะใช้ในรูปแบบของฟิล์มเคลือบ(coated Film) และสารประกอบหรือวามินเนตฟิล์ม (Laminated Film) อย่างไรก็ตามฟิล์มที่รับประทานได้มีเพียง 3 ชนิดเท่านั้นที่มีการนำมาใช้ทางการค้า เนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ใช้บรรจุอาหาร ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด โดยทั่วไปแล้วฟิล์มพลาสติกมีคุณสมบัติในการขวางกั้น ( barrier ) ไม่ให้อิอน้ำและก๊าซ ผ่านเข้าออกได้ดีกว่าฟิล์มรับประทานได้ แต่กระนั้นก็ยังมีการค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับฟิล์มต่อไป แม้ไม่อาจใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้แทนจากวัสดุสังเคราะห์หรือพลาสติกทั้งหมด แต่ก็สามารถใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบดังกล่าวเป็นส่วนประกอบในการปรับปรุงคุณภาพอาหาร หรือยืดอายุการเก็บรักษาและเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ เนื่องจากฟิล์มที่รับประทานได้มีข้อดีอื่นๆ ที่เหนือกว่าฟิล์มพลาสติกหลายประการจึงคาดว่าฟิล์มที่รับประทานได้จะมีบทบาทสำคัญต่อไปในอนาคต

(Thutiyaopom . 2000 )

ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้จัดเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหารประเภทหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาปรับปรุงให้มีการพัฒนาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพของอาหารได้คือประเภทของสารที่ใช้ผลิตเป็นฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้นั้น ได้แก่ สารพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งความสามารถในการเกิดฟิล์มเหล่านี้จะให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน การที่จะทราบว่าจะใช้ฟิล์มประเภทใดในการห่อหุ้มนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้และประเภทของการห่อหุ้ม วัตถุประสงค์ของการใช้ ได้แก่ การควบคุมอัตราการซึมผ่านไอน้ำและแก๊ส ป้องกันมิให้สารหอมระเหยสูญหายไป ห่อหุ้มอาหารให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และป้องกันการแตกหักเสียหาย เป็นต้น (Kester and Fennema . 1986 )

## 2. เหตุผลของการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้

ปัจจุบันวิวัฒนาการของบรรจุภัณฑ์ได้เริ่มพัฒนาแบบก้าวกระโดด อย่างไรก็ตามสิ่งมหัศจรรย์อย่างพลาสติกก็ได้กลายเป็นฝันร้ายโดยเฉพาะเมื่อมีปัญหาขยะพลาสติกสิ้นเมือง บรรจุภัณฑ์ที่สามารถบริโภคได้ (Edible Packaging) จึงกลายเป็นที่สนใจในแวดวงอุตสาหกรรมอาหารและหลายหน่วยงานก็ได้ทำงานวิจัย เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น สำหรับชาวเอเชีย อาจจะคุ้นเคยกับสิ่งห่อหุ้มอาหารที่สามารถบริโภคได้ นั่นคือกระดาษสาสีขาวที่ห่อหุ้มลูกอมชื่อดัง “ White Rabbit Creamy Candy ” จากประเทศจีน ปัจจุบันสามารถหาซื้อลูกอมที่ว่ามีได้ที่มาเลเซีย เนื่องจากเป็นกระดาษสาที่ผลิตขึ้นจากข้าว (rice paper) และสามารถรับประทานเข้าไปพร้อมกับลูกอมได้เลย

สิ่งห่อหุ้มอาหารซึ่งสามารถนำมาบริโภคได้สามารถนำมาใช้เคลือบบริเวณพื้นผิวของอาหาร ใช้แยกองค์ประกอบต่างๆออกจากกัน รวมทั้งทำหน้าที่เป็นปลอก (Casing) ถุง (pouches) หรือกระดาษ/ฟิล์ม ห่อ (wraps) ช่วยถนอมรักษาคุณภาพของอาหารโดยเป็นตัวกั้นขวาง (barrier) ออกซิเจน ความชื้น น้ำมัน และกลิ่นต่างๆ และเป็นตัวนำพาสารผสมอาหารที่มีบทบาทเฉพาะ เช่น สารแอนติออกซิแดนซ์ หรือสารป้องกันจุลินทรีย์ และยังช่วยปรับปรุงลักษณะปรากฏของโครงสร้างของอาหารและรักษาคุณภาพของอาหาร

ถึงแม้ว่าการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้ ไม่สามารถใช้แทน วัตถุประสงค์สังเคราะห์หรือพลาสติกทั้งหมด แต่ฟิล์มหรือสารเคลือบดังกล่าว สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการปรับปรุงคุณภาพอาหาร หรือยืดอายุการเก็บ และเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ วัตถุประสงค์ที่ใช้โดยทั่วไปของการใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้กับฟิล์มพลาสติกบรรจุอาหารก็มีความคล้ายคลึงกัน วัตถุประสงค์ของการใช้ ได้แก่ การควบคุมอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (อาจอยู่ในรูปความชื้นในอาหารและในบรรยากาศ) และ แก๊ส ป้องกันมิให้สารหอมระเหยสูญเสียไป ห่อหุ้มอาหารให้ปลอดภัยจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และป้องกันการแตกหักเสียหาย เป็นต้น ( Kester และ Fennema ,1986)

### 3. คุณลักษณะของฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้

คุณลักษณะของฟิล์มและสารเคลือบอาหารจะมีลักษณะอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารต่างชนิดกันต้องการฟิล์มหรือสารเคลือบที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาถึงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งได้แก่ คุณสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นและก๊าซ รวมถึงสภาพการเก็บ การขนส่ง กระบวนการผลิตและวัตถุประสงค์ของการผลิต เช่น อาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงมาก จำเป็นต้องใช้ฟิล์มที่มีความต้านทานในการซึมผ่านของออกซิเจนสูง หรือในผักผลไม้สดจำเป็นต้องเคลือบฟิล์มเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นและการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ( caramelization ) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ภายในแข็งสำเร็จรูปต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะทั้งสองดังกล่าวรวมกัน จึงต้องใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบที่แตกต่างกันซึ่งไม่มีผลต่อรสชาติและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์และเมื่อพิจารณาในแง่ของสิ่งแวดล้อมพบว่า ในปัจจุบันปัญหาของการกำจัดของเสียเนื่องมาจากภาชนะบรรจุที่เพิ่มขึ้นทุกขณะ จึงได้มีการค้นคว้าและพัฒนาถึงภาชนะบรรจุที่สามารถย่อยสลายหรือบริโภคได้มากขึ้น ฉะนั้นจึงขอกล่าวข้อดีของฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ที่เหนือกว่าฟิล์มพลาสติก จากการรวบรวมของ Gennadios และ Weller (1990) มีดังนี้คือ

1. บริโภคฟิล์มได้พร้อมผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ อันเป็นจุดเด่นที่เห็นได้ชัด ในการลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม
2. ในกรณีที่ไม่บริโภคฟิล์ม ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ โดยง่าย เป็นการช่วยลดปัญหามลพิษเช่นกัน
3. เพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัส ชวนให้น่ารับประทานผลิตภัณฑ์ยิ่งขึ้น เมื่อใช้ฟิล์มนี้และเข้ากันได้ดีกับสารประกอบที่ให้กลิ่นรสและความหวาน เป็นต้น
4. เสริมคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะฟิล์มที่ทำจากโปรตีน
5. ใช้หุ้มอาหารโดยแยกออกเป็นแต่ละชิ้น เช่น ถั่ว และสตอเบอรี่
6. ใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการถ่ายเทความชื้นและไขมันในเนื้ออาหารที่แตกต่างกัน เช่น พืชจำพวก ผาย เป็นต้น
7. ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันจุลินทรีย์ c3649 .ละสารกันหืน และยังควบคุมอัตราการซึมผ่าน ของสารกันเสียจากฟิล์มเข้าสู่เนื้ออาหาร
8. สามารถทำฟิล์มให้เป็นเม็ดแคปซูล บรรจุสารให้กลิ่นรส และสารทำให้ขึ้นฟู(leaveningagent) ได้ เพื่อควบคุมการเติมสารที่ใส่ลงไปอย่ามีประสิทธิภาพ
9. สามารถใช้ร่วมกับฟิล์มพลาสติก โดยใช้ฟิล์มที่รับประทานได้สัมผัสกับอาหาร โดยตรงสำหรับคุณสมบัติของฟิล์มที่รับประทานได้

#### 4. คุณสมบัติของฟิล์มและการทดสอบ

การนำเอาฟิล์มไม่ว่าชนิดใดมาใช้เป็นภาชนะบรรจุ ต้องคำนึงถึงโครงสร้างและสมบัติการใช้งาน โดยฟิล์มจะมีคุณสมบัติเช่นใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของพอลิเมอร์หลัก สารปรุงแต่ง สูตร และวิธีการผลิต ซึ่งสามารถจัดจำแนกสมบัติของฟิล์มได้กว้างๆ ( Mount,1969) คือ สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความโปร่งแสง ความเป็นมันวาว ความหนา สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ได้แก่ การซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor permeability) การซึมผ่านของออกซิเจน (oxygen permeability ) สมบัติทางกล เช่น การต้านทานแรงดึงขาด ( tensile strength ) ซึ่งหมายถึงความสามารถของฟิล์มที่จะต้านแรงดึงขาดซึ่งกระทำที่ปลายของชิ้นทดสอบจนชิ้นทดสอบนั้นขาด การ

ยืดตัว ( elongation) ความทนทานต่อการพับขาด (folding endurance ) ซึ่งหมายถึง จำนวนการพับไปพับมา (double folds) ที่ทำให้แผ่นทดสอบขาดจากกันเมื่อใช้แรงค้ำที่กำหนด และสมบัติเชิงความร้อน เช่น การบิดผนิก การหดตัวเป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสมบัติที่จำเป็นต่อการบรรจุ เช่น การต้านทานไขมัน วิธีการที่ใช้ประเมินค่าสมบัติต่างๆ ของภาชนะบรรจุที่สามารถบริโภคได้สามารถนำมาใช้ทดสอบฟิล์มบริโภคได้ แต่อย่างไรก็ตามฟิล์มบริโภคได้จะได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมมากกว่า โดยฟิล์มที่เป็นพอลิเมอร์มีขั้วจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นมาก ดังนั้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำฟิล์มมักจะแตก แต่ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงฟิล์มจะบวมพองทำให้คุณสมบัติการขวางกั้นของฟิล์มเสื่อมลง ( Guilbert, 1986 )

สถานะการทดสอบสมบัติของฟิล์มมีหลายมาตรฐานที่ผ่านการรับรอง จากองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ ( the International Organization for Standardization , ISO) เช่น ก่อนการทดสอบกำหนดให้นำแผ่นฟิล์มไปเก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75-80 และอุณหภูมิ 20 – 25 องศาเซลเซียส หรือความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เป็นต้น เพราะสมบัติทางกายภาพของฟิล์มขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งจำเป็นต้องทดสอบที่สภาวะเดียวกันเพื่อลดความผันแปรให้น้อยที่สุด ( Schricker,1970)

##### 5. คุณสมบัติของฟิล์มที่มีผลต่อการเก็บรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร

การยืดอายุการเก็บของอาหารให้สามารถเก็บได้นาน โดยการใช้ฟิล์มที่รับประทานได้นั้นปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของฟิล์มที่มีอยู่ด้วยกันหลายประการ ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี เช่น คุณสมบัติในการต้านทานแรงดึงของฟิล์ม ความต้านทานการซึมผ่านของไขมันและก๊าซ ความต้านทานต่อการฉีกขาด โดยเฉพาะการแพร่ผ่านของน้ำที่มีสาเหตุมาจาก Critical water ของ aw ซึ่งมีผลโดย

ตรงต่อคุณภาพและอายุการเก็บของอาหาร กล่าวคือการเพิ่มขึ้นของ  $a_w$  ในช่วงที่มากกว่า 0.4 - 0.45 จะเป็นผลให้เกิดความสูญเสียความกรอบของเมล็ดธัญพืช และอาหารขบเคี้ยว ซึ่งค่า  $a_w$  ที่สูงกว่าช่วงนี้จะทำให้ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ในเปลือกชั้นนอกของพายุ เมื่อเกิดการซึมผ่านของความชื้นเข้าไปในผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดลักษณะเหนียวของยางเหนียวขึ้น ไม่น่ารับประทาน นอกจากนี้ค่า Critical  $a_w$  value มีผลต่อการแพร่ขยายของจุลินทรีย์ในอาหารโดยแบคทีเรีย ยีสต์และรา โดยการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้จะถูกยับยั้งที่  $a_w$  0.85 0.70 และ 0.60 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า การแพร่ผ่านของน้ำเข้าสู่ผลิตภัณฑ์อาหารมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงได้มีการศึกษาถึงความสามารถในการขวางกั้นน้ำของฟิล์มที่รับประทานได้ที่ผลิตจากโปรตีน โพลีแซคคาไรด์และไขมัน ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความสามารถของฟิล์มประเภทนี้ในการลดการแพร่ผ่านของความชื้นเข้าสู่ผลิตภัณฑ์แล้วจะพบว่า ทำได้ค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากฟิล์มประเภทนี้เป็นทั้งภาชนะบรรจุและส่วนประกอบของอาหาร จึงมีทั้งปัจจัยภายในและภายนอกที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น

- a. ฟิล์มที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบจะมีความสามารถในการแพร่ผ่านน้ำได้ต่ำและเป็นพวกที่มีความไม่ชอบรวมตัวกับน้ำสูง (Hydrophobicity)
- b. ประสิทธิภาพในการขวางกั้นน้ำของฟิล์มแบบหลายองค์ประกอบ (Multicomponent film) นั้นขึ้นกับการกระจายตัวของสารที่ไม่ชอบรวมตัวกับน้ำในโครงสร้างหรือผิวหน้าฟิล์ม
- c. ความหนาของฟิล์มที่เพิ่มขึ้นจะทำให้น้ำสามารถแพร่ผ่านฟิล์มได้น้อยลง

## 6. ฟิล์มบริโกลด์กับการใช้ประโยชน์

มีการนำฟิล์มบริโกลด์มาใช้ประโยชน์ในหลายด้านดังนี้คือ

6.1 เป็นตัวกันก๊าซ คุณสมบัติในการเป็นตัวกันก๊าซของฟิล์มเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก สามารถนำฟิล์มที่เป็นตัวกันออกซิเจนมาใช้ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันในอาหาร ( การเกิดกลิ่นหืน การสูญเสียวิตามินจากการออกซิไดส์และอื่น ๆ ) ในทางตรงกันข้ามความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซที่สูงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเคลือบผักและผลไม้สด โดยเฉพาะความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การพัฒนาฟิล์มให้มีคุณสมบัติยอมให้ก๊าซบางชนิดเลือกผ่าน เช่น ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซเอทิลีน เป็นต้น ทำให้สามารถควบคุมการหายใจและการเจริญของจุลินทรีย์ได้

Klose และคณะ ( 1952 ) ได้ทดลองใช้ฟิล์มเจลลาตินกับผลิตภัณฑ์เนื้อแช่แข็ง พบว่า จะสามารถป้องกันการเกิดกลิ่นหืนได้

Eak และ Ludi ( 1960 ) ใช้ไข ( wax ) เคลือบผลส้ม พบว่า ไขจะช่วยเพิ่มปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์และลดปริมาณของออกซิเจนภายในผลส้ม

Blank ( 1962 , 1972 ) พบว่า ไขมันมีคุณสมบัติในการต้านออกซิเจนได้ดีที่สุด เนื่องจากประกอบด้วยสายโซ่ที่เป็นเส้นตรงและกรดไขมันอิ่มตัว การเพิ่มขึ้นของหมู่ที่ไม่อิ่มตัวและความยาวของสายคาร์บอนที่ลดลงจะเป็นผลทำให้คุณสมบัติในการเป็นตัวกันก๊าซออกซิเจนลดลง

Grouber (1983) ใช้ฟิล์มเจลลาตินกับลูกอมและอาหารแห้ง พบว่า สามารถช่วยรักษากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ไว้ได้

6.2 เป็นตัวกันความชื้น การเคลื่อนที่ผ่านความชื้นเนื่องจากความดันไอน้ำ หรือความเข้มข้นขององค์ประกอบต่างๆ มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส และทางจุลินทรีย์ภายในผลิตภัณฑ์อาหาร ตัวอย่างเช่น ลูกเกด ลูกอม และผลิตภัณฑ์ที่เคลือบช็อกโกแลต แครกเกอร์ บิสกิต พืชฯ อาจเกิดลักษณะที่ไม่ต้องการ ซึ่งเป็นผลจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง

Allen และคณะ (1963) ใช้สารเคลือบจากแป้งข้าวโพดและอัลจินเนตในผลิตภัณฑ์เนื้อ พบว่าสามารถลดการสูญเสียความชื้นได้ร้อยละ 40- 48

Kester และ Fennema ( 1989 ) ศึกษาการใช้ฟิล์มลิดิต – cellulose เพื่อป้องกันการซึมผ่านของความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็ง พบว่า แผ่นฟิล์มจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่ไม่ใช้แผ่นฟิล์ม

Avena Bustillos และ คณะ (1993) ใช้สารเคลือบผสมระหว่าง โซเดียมแคลซิเนต และกรดสเตียริก กับแครอทที่ปอกเปลือกแล้ว พบว่า สารเคลือบจะทำให้เกิดความคงตัวในช่วงระยะเวลาการเก็บและช่วยลดการสูญเสียความชื้น

### 6.3 เป็นตัวกันไขมันและน้ำมัน

Gold (1969) ได้ทดลองใช้ฟิล์มเซลลูโลสกับมันฝรั่งและหอมทอด พบว่าฟิล์มเซลลูโลสสามารถต้านการดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 10 – 15 ในขณะทอด

Balasubramaniam และคณะ (1997) ศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์ม HPMC ที่เคลือบลูกชิ้นไก่ (chicken ball ) ในการรักษาความชื้นและลดปริมาณไขมันในระหว่างการทอดพบว่า ลูกชิ้นที่มีการเคลือบแผ่นฟิล์ม ภายหลังจากทอดมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.4 และมีปริมาณไขมันลดลงร้อยละ 33.7 เมื่อเปรียบเทียบกับลูกชิ้นที่ไม่มีการเคลือบแผ่นฟิล์ม

6.4. ใช้เป็น surface retention agent ควบคุมการแพร่กระจายของวัตถุเจือปน (food additive ) เข้าไปภายในส่วนกลางของอาหาร ปรับปรุงความคงทนอาหาร ด้านจุลินทรีย์โดยพื้นที่ผิวที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์หลายชนิด การใช้ฟิล์มบริโกลได้จึงถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ในอาหาร โดยการใช้ร่วมกับวิธีอื่น เช่น การแช่เย็น และการควบคุมสภาวะบรรยากาศ

Torres และคณะ (1985 ) ศึกษาประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณกรดซอร์บิกที่ผิวของผลิตภัณฑ์ในสภาวะต่าง ๆ โดยใช้ฟิล์มเมทริลเซลลูโลส และกรดปาล์มิติกกับ

อาหารที่ pH 5.0 และ water activity 0.8 สภาวะการเก็บที่ 24 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของเมทริลเซลลูโลสต่อกรดปาล์มิติกเท่ากับ 3 : 1 พบว่าฟิล์มสามารถลดการแพร่กระจายของกรดซอร์บิกเข้าไปภายในอาหารได้มากกว่าร้อยละ 50 . ถ้าเก็บในสภาวะห้องเย็น (5 องศาเซลเซียส) จะสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานยิ่งขึ้น --

## 7. วิธีการใช้ฟิล์มขุบเคลือบที่บริโกลได้กับผลิตภัณฑ์อาหาร (พนิดา รัตนปิติกรณ 2541)

### 7.1 การขุบเคลือบ

การขุบเคลือบเป็นการเคลือบฟิล์มบนผิวของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยขุบเคลือบหรือจุ่มในสารเคลือบส่วนใหญ่ใช้วิธีนี้กับผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ หลังการขุบหรือจุ่มต้องกำจัดสารเคลือบส่วนเกินออก จากนั้นทำให้แห้ง หรือทำให้เกิดการแข็งตัวในกรณีที่สารเคลือบนั้นเป็นไขมันผลิตภัณฑ์อาหารที่นิยมเคลือบด้วยวิธีนี้ ได้แก่ ผักผลไม้ และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์นักวิทยาศาสตร์ทางอาหารหลายท่าน (Vandoren ,1944 ; Newhall และ Grierson,956 ; Long,1964 ) รายงานว่า การขุบเคลือบผักผลไม้ในถังเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้อย ขึ้นคอนการขุบ เริ่มจากล้างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

ซุบ และทำให้ผิวหนังบริเวณที่ต้องการ ซุบแห้ง จากนั้นจุ่มลงบนถังที่บรรจุสารเคลือบซึ่งอาจเป็นเรซิน หรืออิมัลชัน การซุบต้องทำให้เปียกอย่างทั่วถึงโดยไม่ต้องคำนึงเวลาในการซุบเคลือบเพื่อให้เกิดการห่อหุ้มที่ดี วิธีนี้จะได้ชั้นฟิล์มเคลือบที่หนาหลังซุบลำเลียงผลิตภัณฑ์ด้วยสายพานไปเครื่องเป่าแห้งด้วยลมร้อน หรือทำให้แห้งที่อุณหภูมิปกติ การซุบในถังขนาดใหญ่ติดต่อกันหลายๆครั้งจะทำให้เกิดการสะสมของจุลินทรีย์ ดินและเศษสิ่งสกปรกที่ติดมากับผลิตภัณฑ์ จึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยกรองเศษสิ่งสกปรกออกจากสารเคลือบ นอกจากนี้ก่อนการซุบเคลือบต้องทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์แห้งสนิทเพื่อป้องกันการเจือจางของสารเคลือบ

## 7.2 การทำให้เกิดฟอง

Hartman and Isenberg(1956)กับ Longand Leggo(1956) รายงานวิธีการใช้อิมัลชันเป็นสารเคลือบผิวในรูปฟองซึ่งเตรียมโดยเติมสารที่ทำให้เกิดฟอง หรือโดยเติมสารที่ทำให้เกิดฟอง หรือโดยการอัดอากาศ ที่ความดันต่ำกว่า 3.5 กิโลปาสกาล เข้าไปในถังที่บรรจุ อิมัลชัน จากนั้นหยดโฟมที่ได้ลงบนผลิตภัณฑ์ที่เคลื่อนที่อยู่บนลูกกลิ้งหมุนกระจายสารเคลือบให้ทั่วผิวหรือผลิตภัณฑ์โดยใช้แปรง หรือเครื่องพัดโบก ที่ทำด้วยผ้า(cloth flaps) กำจัดสารเคลือบผิวส่วนเกินออก โดยใช้ลูกกลิ้งที่ติดตั้งอยู่ใต้ลูกกลิ้งหมุน และวนสารเคลือบกลับมาใช้ใหม่ได้ผิวของผลิตภัณฑ์เคลือบจะมีลักษณะไม่เรียบและไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ต้องมีการกลิ้งไปมาเพื่อให้โฟมแตกออกได้ และช่วยการกระจายตัวของสารเคลือบ

## 7.3 การพ่นฝอย

การพ่นฝอยเป็นการพ่นสารเคลือบในลักษณะละอองขนาดเล็กลงบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์อาหาร ชั้นเคลือบที่ได้มีลักษณะบาง และมีความสม่ำเสมอมากกว่าการซุบเคลือบ แต่การพ่นฝอยจะเคลือบผลิตภัณฑ์ได้เพียงด้านเดียว เช่นการเคลือบฟิล์มเคลือบบนผิวหนังของแป้งพืชม้วน ซึ่งป้องกันไม่ให้ความชื้นจากชั้นของส่วนที่เป็นหน้าพืชม้วนเข้าไปในส่วนของแป้ง

การพ่นฝอยเป็นวิธีการแบบดั้งเดิมในการเคลือบผักและผลไม้ในอดีตจะใช้การพ่นฝอยที่ความดันต่ำซึ่งทำให้สารเคลือบออกมาจำนวนมากจึงมีสารเคลือบส่วนเกินเหลือหลังจากเคลือบผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปจะมีการกำจัด สารเคลือบส่วนเกินออกและวนนำกลับมาใช้ใหม่คั้งนั้นจะเกิดปัญหาเช่นเดียวกับการชุบเคลือบคือ เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ สิ่งสกปรก และการเจือจางของสารเคลือบ ต่อมามีการพัฒนากระบวนการพ่นฝอยที่ความดันสูงระหว่าง 414-553 กิโลปาสกาล วิธีนี้จะใช้สารเคลือบในปริมาณน้อยลงแต่เคลือบได้อย่างทั่วถึง โดยไม่ต้องวนสารเคลือบส่วนเกินที่เหลือกลับมาใช้ใหม่อย่างไรก็ตามการใช้งานต้องคำนึงถึงขนาดหัวฉีด (nozzle) โดยถ้าใช้หัวฉีดที่มีขนาดเล็กจะทำให้เกิดการอุดตันบ่อย และถ้าใช้หัวฉีดขนาดใหญ่จะทำให้มีสารเคลือบออกมามากเกินไป อาจแก้ไขได้โดยการใช้ระบบลมในการพ่นฝอย โดยป้อนอากาศที่ความดันต่ำกว่า 35 กิโลปาสกาลไปที่หัวฉีด และป้อนสารเคลือบที่ความดันต่ำกว่า 276 กิโลปาสกาล ซึ่งระบบนี้จะช่วยให้การพ่นฝอยมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไม่ต้องคำนึงถึงขนาดของหัวฉีด แต่วิธีดังกล่าวนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงHernandez (1994) อธิบายว่า ปัญหาที่พบเสมอในการเคลือบผลไม้ คือการเกิดฝุ่น (dusting) และการเกิดผงแป้ง (powdering) เกิดจากไขที่สะสมความชื้นมากจนเกิดการแข็งตัวหลังจากพ่นออกจากหัวฉีดก่อนที่จะตกลงบนผิวของผลิตภัณฑ์สาเหตุจากการเลือกใช้ชนิดของสารเคลือบ ไม่เหมาะสมส่วนการเกิดผงแป้งมีสาเหตุจากการเกิดการแยกออกจากกันของสารเคลือบบนผิวของผลิตภัณฑ์เนื่องจากใช้วิธีการล้าง และทำแห้งผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสม เมื่อเคลือบไขลงบนพื้นผิวที่สกปรกจะเคลือบไม่ติดหรือติดอย่างไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโอกาสที่จะเกิดการเสียหาย

## 8. การเกิดฟิล์ม

ฟิล์มที่รับประทานได้เกิดขึ้นจากการทำให้สารที่สามารถเกิดฟิล์มได้ละลายหรือกระจายตัวแล้วใช้วิธีต่างๆ ในการแยกสารนั้นออกจากตัวทำละลาย เช่น การทำให้ตัวทำละลายระเหยไป การเติมอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้เกิดพันธะข้าม การปรับความเป็นกรดเบส ซึ่งเรียกว่า โคแอกเซอเวชัน (Coacervation) หรือ โดยการทำให้สารที่เกิดฟิล์มที่ห่อหุ้มเหลวนั้นแข็งตัว (Solidification) ซึ่งฟิล์มที่บริโภคได้มีองค์ประกอบหลักคือ พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลซึ่งมีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์ม ตัวทำละลายและสารเจือปนซึ่งเติมลงไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม

ในการเตรียมฟิล์มจะมีแรง 2 ชนิด ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้แก่ แรงโคฮีชัน ( Cohesion ) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลโพลิเมอร์ด้วยกันเองจะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์ม ทำให้เกิดการเชื่อมต่อของผิววัตถุเดียวกันสร้างพันธะที่แข็งแรง ซึ่งจะช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกจากกันปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ ระบบการละลาย และสภาวะใดการเตรียมฟิล์ม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ การแผ่กิ่งก้านสาขา และการกระจายกลุ่มที่มีขั้วบนสายพอลิเมอร์ คือสายพอลิเมอร์ที่ยาวจะทำให้เกิดการยึดเกาะกันได้ดี การกระจายของกลุ่มที่มีขั้วอย่างมีระเบียบในสายพอลิเมอร์จะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจน และพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่ทำให้มีความแข็งแรงการละลายของพอลิเมอร์ในการเตรียมฟิล์มยังมีผลต่อโคฮีชัน คือ ถ้าโมเลกุลของพอลิเมอร์ละลายหรือขยายตัวได้มากที่สุดจะได้โครงสร้างที่เชื่อมกันด้วยแรงโคฮีชันที่มาก ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรง ส่วนสภาวะในการเตรียมฟิล์มนั้น ควรเตรียมฟิล์มโดยใช้สารละลายที่อุ่น และทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยของตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของพอลิเมอร์ถูกตรึงก่อนที่จะเชื่อมกันอย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดรูเข็ม ( pingoles ) หรือทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทำให้การซึมผ่านของฟิล์มเพิ่มขึ้น ระดับของแรงโคฮีชันมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของฟิล์ม ได้แก่ ความหนาแน่น ความอัดแน่น ( compactness ) ความโปร่งเป็นรูพรุน ( porosity ) ความสามารถในการซึมผ่าน ( permability ) ความยืดหยุ่น ( flexibility ) และความเปราะ เป็นต้น ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่งคือ แรงแอดฮีชัน ( adhesion ) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับสารอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมฟิล์มทำให้เกิดโครงร่างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับพลาสติกไซเซออร์ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของฟิล์มเช่นกัน

## 9. การขึ้นรูปฟิล์ม

การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ การขึ้นรูปที่รวดเร็วเป็นความต้องการในแง่ของโรงงานอุตสาหกรรม แต่จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม เพื่อให้ฟิล์มขึ้นรูปไม่เร็วเกินไป มิฉะนั้นฟิล์มจะไม่สม่ำเสมอ ผิวหน้าขรุขระและแตกง่าย วิธีการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มมีหลายวิธีด้วยกัน คือ

### 1. วิธีหล่อลงบนพิมพ์ ( solvent casting )

เป็นการขึ้นรูปฟิล์ม โดยการนำส่วนผสมของสารละลายมาทาแผ่ให้เป็นแผ่นบางลงบนถาด หรือภาชนะที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำให้ฟิล์มแห้ง

### 2. วิธีเอ็กซ์ทรูชัน (extrusion)

เป็นการขึ้นรูปฟิล์มโดยใช้เครื่องมือในการทำให้ฟิล์มขึ้นรูปเป็นแผ่นบาง ๆ ตัวอย่างเช่น การเตรียมฟิล์มจาก สตาร์ชที่มีอะไมโลส ร้อยละ 50 – 80 พลาสติก ไซเซอรร้อยละ 0 –30 และน้ำร้อยละ 20 – 50 ฟิล์มที่ได้มีความชื้นร้อยละ 7 – 15 ความหนา 1 – 4 มิล (1 มิล (mill) = 0.0254 มิลลิเมตร ) แต่จะต้องมีการทำให้อะไมโลสเป็นสารเทอโมพลาสติกเสียก่อนจึงจะขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ได้

### 3. calendaring

เป็นวิธีการทำแห้งด้วยลูกกลิ้ง โดยผ่านแผ่นฟิล์มเข้าไปในลูกกลิ้งที่ร้อน เพื่อรีดให้ฟิล์มเรียบและแห้ง ความหนาของฟิล์มที่ต้องการขึ้นกับแรงกดอัดของลูกกลิ้งบนแผ่นฟิล์มและระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งสองลูกที่ผ่านฟิล์มเข้าไป

สารที่ใช้ผลิตฟิล์มที่รับประทานได้มีหลายชนิด โดยฟิล์มที่ผลิตขึ้นเหล่านี้ อาจใช้สารชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของแต่ละชนิดมาใช้ ประโยชน์ ซึ่งประสิทธิภาพของฟิล์มแต่ละชนิดนั้นขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตที่จะต้องมีการควบคุมเทคนิคและวิธีการผลิตให้เหมาะสม

การเพิ่มความร้อนหรืออัตราการระเหยของสารละลายที่ใช้ในการทำฟิล์ม และความเข้มข้นของตัวกลางที่ใช้จะมีผลต่อแรงในการเกาะตัวกันของแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะทำให้มีลักษณะของฟิล์มที่ไม่เกาะตัวกันหรือทำให้เกิดรูพรุนในฟิล์ม นอกจากนี้แรงในการเกาะตัวของฟิล์มมีทั้งแรง adhesive และ cohesion จะมีผลต่อคุณภาพของแผ่นฟิล์ม โดยแรงนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของของสารโพลีเมอร์ที่ผลิตได้ เช่น ค่าของมวลโมเลกุล ขั้ว (polarity) และความแข็งแรงของฟิล์ม ลำดับการแตกสาขาของสายโพลีเมอร์

#### 9. สารและสารเจือปนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม (มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด 2535)

สารที่ใช้ในการทำฟิล์มที่บริโภคได้มีหลายชนิด เช่น โพลีแซ็กคาไรด์ โปรตีน ลิพิด ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียวหรือหลายชนิดรวมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ ตัวอย่างของฟิล์มที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ฟิล์มที่มีสตาร์ช และแอลจินेट หรือมีสตาร์ชและวุ้น ลิพิดแบบไฮโดรคอลลอยด์ เป็นต้น สารหลายชนิดที่นำมารวมกันเป็นฟิล์มบริโภคได้ จะทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติในการห่อหุ้มอาหารดีทางประสาทสัมผัส ทำให้น่ารับประทานและเพิ่มคุณค่าทางอาหารอีกด้วย (มณฑาทิพย์, 2535)

##### 9.1 พลาสติคไซเซอร์

พลาสติคไซเซอร์ (plasticizer) ตามคำนิยามของ IUPAC หมายถึง สารที่เข้าไปรวมอยู่กับพลาสติค หรือ elastomer แล้วช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนต่อการใช้งาน และการยืดตัวแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พลาสติคไซเซอร์ภายใน(internal

plasticizer ) และ พลาสติกไซเซอรันอก (external plasticizer ) พลาสติกไซเซอรันภายใน เป็นสารที่เติมลงไปแล้วรวมเป็นส่วนหนึ่งของพอลิเมอร์ ทำหน้าที่เป็นสารร่วมช่วยในการเกิดพอลิเมอร์(copolymerization) (Billmeyer, 1962) พันธะระหว่างโมเลกุลของ พลาสติกไซเซอรันและพอลิเมอร์ เป็นแบบโควาเลนต์การเข้าไปแทรกอยู่ในพอลิเมอร์ทำให้สมมาตรของโมเลกุลเสียไป พอลิเมอร์จึงมีคุณสมบัติยืดหยุ่นไม่แตกง่าย และ พลาสติกไซเซอรันภายนอก เป็นสารที่เติมลงไปในโครงสร้างของพอลิเมอร์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่าง โมเลกุลของพอลิเมอร์และพลาสติกไซเซอรันเป็นแบบไดโพลทำให้แรงระหว่าง โมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลงเกิด โครงสร้างที่อ่อนตัว ( Bauer และคณะ, 1981 ; Bakker, 1986 )

คุณสมบัติของพลาสติกไซเซอรันที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ ที่ใช้ในการทำฟิล์ม(Compatible) โดยมีแรงระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสองคล้ายคลึงกัน มีจุดเดือดสูง ระเหยยากละลายในตัวทำละลายที่ใช้ได้ดี นอกจากนี้ควรจะไม่มีสี กลิ่น รส ไม่เป็นพิษ และไม่ติดไฟ ถ้าใช้พลาสติกไซเซอรันที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจะช่วยป้องกันมิให้เกิดการแยกตัวระหว่างการทำฟิล์มให้แห้ง ฟิล์มที่ได้มีลักษณะทางกายภาพที่ดี สามารถคงความยืดหยุ่นตลอดการใช้งาน (Guilbert, 1986)หน้าที่ของพลาสติกไซเซอรัน คือ จะทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ติดกันอ่อนลงเป็นผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงขาด ( tensile strength ) ลดลง ฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้นและช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม นอกจากนี้ผลจากการที่โครงสร้างฟิล์มจับกันแบบหลวมๆจะลดความสามารถของฟิล์มในการเป็นตัวขัดขวางก๊าซและไอน้ำต่างๆ ( Kester และ Fennema, 1986 )

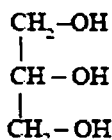
พลาสติกไซเซอรันไม่ให้เกิดกลิ่นรสหรือให้กลิ่นรสน้อยมาก และมีระดับความคงตัวของฟิล์มสูง คุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความคงตัวทางเคมี สี กลิ่นรส โดยจะมีความสำคัญมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์ม ความเข้มข้นของพลาสติกไซเซอรันจะอยู่ประมาณร้อยละ 10 -60 ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของฟิล์ม ชนิดของฟิล์มและลักษณะการนำไปใช้

ฟิล์มที่บริโภคได้จะมีลักษณะเช่นเดียวกับฟิล์มจากพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆคือประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีมวล โมเลกุลสูงและสารทำละลายแล้วยังมีพลาสติกไซเซออร์เป็นองค์ประกอบสำคัญเพื่อทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มให้มีความยืดหยุ่น(พลาสติกไซเซออร์ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโพลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลงเป็นผลทำให้ค่าต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) ลดลง เพียงพอไม่แตกหักระหว่างการเก็บรักษาและนำไปใช้ พลาสติกไซเซออร์ที่นำมาใช้จะต้องได้รับอนุญาต จาก FDA โดยมีการพิสูจน์และยอมรับแล้วว่าไม่เป็นอันตรายต่อ ผู้บริโภคทั้งในระยะเฉียบพลันและระยะยาว พลาสติกไซเซออร์ที่นำมาใช้กับฟิล์มที่บริโภคได้มีหลาย ประเภทได้แก่ โมโน ไค และ โอลิโกแซ็คคาไรด์ (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส ฟรักโทส น้ำผึ้ง) พวกพอลิออลได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล โพลีเอทิลีนไกลคอล พวกลิพิดและอนุพันธ์ของลิพิด ได้แก่ กรดไขมัน เป็นต้น ปริมาณการใช้พลาสติกไซเซออร์โดยทั่วไปประมาณร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนักแห้ง (Guilbert, 1986)

#### 9.1.1 พอลิออล (polyols) หรือ พอลิไฮคริกแอลกอฮอล์

เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งหมู่คีโตนหรือแอลดีไฮด์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิล พอลิออลบางชนิดพบในผลไม้โดยเฉพาะพวกที่มีคาร์บอน 6 อะตอม เช่น ซอร์บิทอลหรือสามารถผลิตจากปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนให้กับน้ำตาล (hydrogenation) พอลิออลมีคุณสมบัติคงทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีจึงไม่สลายตัวง่าย ดูดซับและเก็บความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้ มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลมีแคลอรีเพียง 2.4 กิโลแคลอรีต่อกรัม เนื่องจากถูกดูดซึมได้ช้ามาก จึงสามารถใช้กับผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ นอกจากนี้ยังไม่ทำให้ฟันผุ เพราะแบคทีเรียในปากไม่สามารถใช้ได้ JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) กำหนดปริมาณการบริโภคต่อวัน (ADI) ของพอลิออลเป็น “not specified” หมายถึง สามารถใช้ได้ในระดับที่กระบวนกรแปรรูปเพื่อให้ได้อาหารที่มีคุณลักษณะตามต้องการ อย่างไรก็ตามพอลิออลอาจมีผลทำให้ระคายท้อง ดังนั้นผู้ใหญ่ไม่ควรบริโภคเกิน 60-80 กรัมต่อวัน และเด็กอายุ 5-16 ปีควรบริโภคไม่เกิน 30-40 กรัมต่อวัน (Le Bot และGouy,1995)

การนำพอลิออลมาใช้เป็นพลาสติกไซเซอรินในฟิล์มบริโกลได้มีหลายชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล ( glycerol) หรือ กลีเซอริน (glycerine) เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโมเลกุล  $C_3H_8O_3$  โครงสร้างโมเลกุลดังภาพ

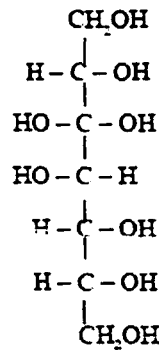


ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของกลีเซอรอล

ที่มา : Windhoiz (1976)

มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้ในการผลิตสบู่และกรดไขมัน มีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด รสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาลผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ และแอลกอฮอล์ได้ดีมาก เป็นสารทำละลายน้ำมันได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจากอากาศได้ดีพอสมควร ดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง ( Windhoiz, 1976 ) ฟิล์มบริโกลได้หลายชนิดใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร ( Mark และ คณะ, 1966; มณฑาทิพย์, 2534 ; Mahmoud และ SaOvello, 1992 ; Gontard และคณะ , 1993 ; Park และคณะ ,1993 ; Mchugh และ คณะ ,1994 )

ซอร์บิทอล ( sorbitol ) เป็นพอลิออลที่พบมากที่สุดชนิดหนึ่ง มีคาร์บอน 6 อะตอม น้ำหนักโมเลกุล 182.17 มีสูตรโมเลกุล  $C_6H_{14}O_6$  โครงสร้างโมเลกุลแสดงดังภาพ



ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างของซอร์บิทอล

ที่มา : Le Bot และ Gouy, 1995

ซอร์บิทอลพบในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล แพร์ เชอร์รี่ พลัม พืช สาหร่าย ผลนัท ใบยาสูบ เป็นต้น ปัจจุบันสังเคราะห์จากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนของเดกซ์โตรส ปกติจะใช้ไนเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้อุณหภูมิสูง 150 องศาเซลเซียส ความดัน 100 – 150 บรรยากาศ ซอร์บิทอลเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น มีรสหวาน ละลายน้ำได้ ใช้เป็นพลาสติกไซเซออร์ สารรักษาความชื้น (moisture conditioner) สารให้ความหวานแทนน้ำตาล เป็นต้น (Aurand และ Woods, 1973 ; Windholz และ คณะ, 1976 ; Bilitz และ Grosch, 1987 ; กุลยา, 2533) มีการศึกษาการใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ในฟิล์มบริโกลได้หลายชนิด ( ปันดดา , 2540 , Mchuge และ Krochta , 1994 ; Cherian และ คณะ , 1995 ; Harald และคณะ , 1996 ) ในทางการค้าจะผลิต D-ซอร์บิทอลจากการเร่งปฏิกิริยาของการเติมไฮโดรเจนของ D-กลูโคส ซึ่งได้จากการย่อยสสารซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงด้วยเอนไซม์ ซอร์บิทอลเป็นผลึกสีขาวอยู่ในรูปของ แกรมมา ซอร์บิทอลซึ่งคงตัว มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลครึ่งหนึ่ง ละลายน้ำได้ดี สารละลายที่ได้มีความหนืดต่ำ เป็นสารละลายน้ำมันที่ไม่ดี เมื่อใช้ความเข้มข้นร้อยละ 3 - 60 สามารถรักษาความชื้นและคงลักษณะของความยืดหยุ่นไว้ได้ (Le Bot และ Gouy, 1995)

### 9.1.2 พอลิเอททิลีน ไกลคอล (polyethylene glycol or PEG)

พอลิเอททิลีน ไกลคอล มีสูตรทั่วไป คือ  $H(OCH_2CH_2)_n OH$  โดยที่ค่า  $n$  มีค่ามาก กว่าหรือเท่ากับ 4 พอลิเอททิลีน ไกลคอลมีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรืออยู่ในรูปของเหลวใส มีความข้นหนืด ละลายน้ำได้ ให้สารละลายใส เสื่อมเสียได้ยากเนื่องจากเชื้อราไม่สามารถเจริญได้ มีความเป็นพิษต่ำ เช่น พอลิเอททิลีน ไกลคอล 400 มีค่า  $n$  อยู่ระหว่าง 8.2 - 9.1 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 380 - 420 อยู่ในรูป ของเหลวข้นหนืด มีกลิ่นจางๆ ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นเล็กน้อย (Windholz, 1976)

#### บทบาทของพลาสติกไซเซอรันในฟิล์มที่บริโภคได้

การเติมพลาสติกไซเซอรันในระหว่างการเตรียมฟิล์มที่บริโภคได้นั้นใช้วิธีการละลาย โดยทั้งพลาสติกไซเซอรันและพอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายชนิดเดียวกัน ระหว่างการละลายมีการกวนผสมพร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาเหมาะสม แล้วจึงนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกไปในสภาวะที่ไม่รุนแรง การใช้พลาสติกไซเซอรันลักษณะนี้จะเป็นภายนอก (external) คือ เมื่อเติมพลาสติกไซเซอรันลงไปแล้วจะไปจับยึดกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะเวเลนซีทุติยภูมิ (secondary valency) (Mellan, 1961) เกิดพันธะมีขั้วหรือพันธะไฮโดรเจนอย่างหลวม ๆ ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนลงซึ่งเกิดจากสาเหตุ 2 ประการคือ อิทธิพลของความร้อนในระหว่างการเตรียมสารละลายฟิล์มทำให้พลาสติกไซเซอรันสามารถแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างสายของพอลิเมอร์ง่ายขึ้น และพันธะไฮโดรเจนหรือแรงอื่น ๆ ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ถูกหักล้างไป เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดที่แข็งแรงระหว่างพอลิเมอร์กับพลาสติกไซเซอรันทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์ไม่สามารถจับตัวกันเองได้ (Beeler และ Finney, 1983) ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ลดความเปราะแตกง่าย การต้านทานแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้น แต่ค่าการต้านทานแรงดึงขาดลดลง นอกจากนี้พลังงานที่ใช้ในการแยกสายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันยังมีความสัมพันธ์กับพลังงานที่ไปกระตุ้นการแพร่กระจายของก๊าซและไอน้ำให้ผ่านแผ่นฟิล์ม ดังนั้นเมื่อแรงดึงดูด

ระหว่างสายโซ่ลดลงทำให้ค่า  $E_d$  ( energy of activation for diffusion =  $E_d$  ) ลดลง การดูดซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำผ่านแผ่นฟิล์มจึงเพิ่มขึ้น ( Banker, 1966 )

### ผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มบรีโกลได้

คุณสมบัติของฟิล์มบรีโกลได้ที่มีการเติมพลาสติกไซเซออร์ลงไปจะเป็นอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับชนิดโครงสร้างทางเคมี ความเข้มข้นที่ใช้ และระดับการกระจายตัวของสารในฟิล์ม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์รวมทั้งการเตรียมฟิล์มอีกด้วย ( Kester และ Fennema , 1986 ) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลาสติกไซเซออร์ในฟิล์มฟิลิแซ็กคาไรด์มีดังนี้

Mark และคณะ (1966) ศึกษาการเตรียมฟิล์มจาก amylo maize starch ซึ่งมีปริมาณอะมิโลส ร้อยละ 71 ขึ้นรูปบนแผ่นกระจกเคลือบซิลิโคนแล้วนำไปทำแห้งโดยใช้ลมร้อน พบว่า ฟิล์มที่ได้ทั้งที่มีการใช้กลีเซอรินร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก และฟิล์มที่ไม่ใช้กลีเซอริน ไม่พบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 5 และ 25 องศาเซลเซียส ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 100

Park และ คณะ (1993) ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์ต่อฟิล์มเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้พลาสติกไซเซออร์ 3 ชนิด ได้แก่ พอลิเอทรีน ไกลคอล พอลิอิน ไกลคอล และกลีเซอริน ที่มีความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0.17 , 0.33 , 0.50 , 0.66 มิลลิลิตร พลาสติกไซเซออร์ต่อกรัม เซลลูโลส และควบคุมความหนาของแผ่นฟิล์ม พบว่า เมื่อให้ความเข้มข้นของพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้น ค่าต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มทั้ง 2 ชนิดลดลง แต่ค่าการยืดตัวเพิ่มขึ้น และการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเอทรีน ไกลคอลมีผลต่อการเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มมากกว่าพลาสติกไซเซออร์อีก 2 ชนิด ส่วนค่าคุณสมบัติในการขวางกั้น พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพอลิอิน ไกลคอล ค่าการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนของฟิล์มทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของ พอลิเอทรีน ไกลคอล ไม่มีผลต่อค่าทั้ง 2 นี้ โดยพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้น 0.33 มิลลิลิตร พลาสติกไซเซออร์ต่อกรัมเซลลูโลสค่า

ทั้ง 2 มีค่าสูงสุด สำหรับกลีเซอริน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจนถึง 0.33 มิลลิลิตร พลาสติก ไซเซออร์ต่อกรัมเซลลูโลส ค่าการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มทั้ง 2 ชนิดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นมากกว่าค่านี้จะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของกลีเซอรินไม่มีผลต่อค่าการซึมผ่านของออกซิเจน ของฟิล์มทั้ง 2 ชนิด

สำหรับฟิล์มโปรตีน ก็มีงานวิจัยหลายเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลาสติก ไซเซออร์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม Mahmoud และ Savello (1992) รายงานผลของความเข้มข้นของกลีเซอรินในฟิล์มเวย์โปรตีนที่มีต่อค่าแรงที่นำไปให้ฟิล์มแตก ( breaking force) และปริมาณความชื้นของฟิล์มโดยใช้กลีเซอรินร้อยละ 0.125, 0.25, 0.5, 1 และ 2 ของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของกลีเซอรินเพิ่มขึ้นแรงที่ใช้ในการทำให้ฟิล์มแตก จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 100 ถึง 1900 กรัมต่อตารางเซนติเมตร และความชื้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 28

Gontard และคณะ (1993) ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรินต่อการทนต่อแรงที่มึ่มทะลุ (pencture strength) ของฟิล์มกลูเตน โดยใช้กลีเซอรินปริมาณ 0 – 33.3 กรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง พบว่า เมื่อใช้กลีเซอรินตั้งแต่ 15 กรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งขึ้นไปทำให้ค่าการต้านทานแรงที่มึ่มทะลุลดลงจาก 2 ถึง 0.25 นิวตัน และการเสียรูป (deformation) เพิ่มขึ้นจาก 5 ถึง 20 มิลลิเมตร ส่วนอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 0.00345 ถึง 0.00545 กรัม มิลลิเมตรต่อตารางเซนติเมตรต่อวัน

Gennadios และคณะ (1996) ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มที่เตรียมจากโปรตีนไข่ขาว ผสมกลีเซอรินร้อยละ 30 , 40 , และ 50 หรือพอลิเอทรีนไกลคอลหรือซอร์บิทอลร้อยละ 50 และ 60 โดยน้ำหนักของโปรตีนเพื่อเป็นพลาสติกไซเซออร์ พบว่าฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลร้อยละ 50 มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุดฟิล์มที่ใช้พอลิเอทรีนไกลคอลมีค่าการยึดตัวสูงที่สุด และฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอลหรือพอลิเอทรีนไกลคอลมีค่าการต้านทานแรงดึงขาดมากกว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอริน

### 9.1.3 กรดไขมัน (Fatty Acids)

ในธรรมชาติกรดไขมันเกิดขึ้นในรูปที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในไขมัน และน้ำมัน ที่พบในรูปของกรดไขมันอิสระมีน้อย จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ เพราะการสังเคราะห์กรดไขมันมรสารเริ่มต้นเป็นหมู่แอซทิล ซึ่งมีคาร์บอน 2 อะตอม มาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น พันธะในโมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมดเรียกว่า กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acids) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 อันหรือมากกว่า 1 อัน เรียกว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) กรดไขมันที่พบในอาหารจะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 4 ถึง 24 อะตอม ส่วนที่พบมากในร่างกายมีจำนวนคาร์บอน 19 – 20 อะตอม

กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรทั่วไป เป็น  $C_nH_{2n}O_2$  เป็นกรดไขมันที่พันธะของคาร์บอนในโมเลกุลไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีก กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย ได้แก่ กรดแอซติก (คาร์บอน 2 อะตอม) และ กรดบิวทริก (คาร์บอน 4 อะตอม) เป็นกรดไขมันที่ละลายได้ดีในน้ำ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 6 – 10 อะตอม ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ส่วนกรดไขมันที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไป ไม่ละลายน้ำ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามจำนวนพันธะคู่ ได้ดังนี้

Monounsaturated Acids เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 อัน มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-1}COOH$

Polyunsaturated Acids เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 อัน แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

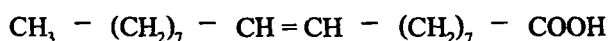
กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 อัน มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-3}COOH$  ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (linoleic) พบมากในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันงา น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดฝ้าย และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 3 อัน มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-5}COOH$  ได้แก่ กรดลิโนเลนิก (linolenic) พบมากในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันตับปลาและน้ำมันจากปลาทะเลต่างๆ

กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 4 อัน มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-7}COOH$  ได้แก่ อะเรคิโดนิก (arachidonic acid) พบเป็นจำนวนน้อยในน้ำมันถั่วเหลือง แต่พบมากในน้ำมันตับปลา และน้ำมันจากปลาทะเลต่างๆ

#### 9.1.3.1 กรดโอเลอิก (Oleic Acid)

เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ในโมเลกุล 1 คู่ มีสูตรโมเลกุลเป็น  $C_{18}H_{34}O_2$  โครงสร้างโมเลกุลดังภาพที่ 3 มวลโมเลกุล 282.45 จุกหลอมเหลว  $13.4\text{ }^{\circ}C$  พบในสัตว์และพืชทั่วไป กรดโอเลอิกบริสุทธิ์ ไม่มีสีหรือมีสีจางๆมีลักษณะเป็นของเหลว ไม่ละลายน้ำ ละลายในแอลกอฮอล์ กรดโอเลอิกมีหลายเกรดแบ่งตามสีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาลแดง (Windholz และคณะ , 1976 ; Alais และ Linden, 1991)

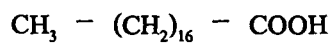


ภาพที่ 3 โครงสร้างของกรดโอเลอิก

ที่มา : Alais และ Linden(1991)

### 9.1.3.2 กรดสเตียริก (stearic acid )

เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม สูตรโมเลกุล  $C_{18}H_{36}O_2$  มีโครงสร้างโมเลกุล ดังภาพที่ 4 มวลโมเลกุล 284.47 จุดหลอมเหลว 69-70 $^{\circ}C$  พบในรูปของกลีเซอไรด์ ในไขวัว ไขมัน น้ำมันสัตว์และพืช เตรียมโดยกระบวนการไฮโดรจีเนชันของน้ำมันพืช ละลายน้ำได้เล็กน้อยมีลักษณะเป็นผลึกสีขาวหรือเหลืองอ่อน (Windholz และคณะ , 1976 ; Alais และ Linden, 1991)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของกรดสเตียริก  
ที่มา : Alais และ Linden(1991)

### บทบาทของกรดไขมันในฟิล์มบริโกลด์

การเติมกรดไขมันในสารละลายฟิล์มมีผลต่อการซึมผ่านของแผ่นฟิล์ม โดยความสามารถในการซึมผ่านของแผ่นฟิล์ม โดยความสามารถในการซึมผ่านของออกซิเจนของฟิล์มลามิเนตระหว่างเมทิลเซลลูโลสและซินจากข้าวโพดจะเพิ่มขึ้น เมื่อความยาวของสายโซ่ ( chain length) ลดลงและความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการลดลงของแรงแวนเดอร์วาลส์ ( van der Waals ) ระหว่างหมู่เอซิล ( acyl chains ) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสายโซ่มากยิ่งขึ้น (deGier และคณะ , 1968 )

### ผลของกรดไขมันต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่บริโกลด์

Kamper และ Fennema (1984) ศึกษาผลของการเติมกรดไขมันในสารละลายฟิล์มต่อความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำ พบว่า ความเข้มข้นของกรดสเตียริกที่เพิ่มขึ้นมีผลในการลดความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ (สภาวะการทดสอบ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ) การเพิ่มความเข้มข้นของกรดสเตียริกจนถึง

0.46 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีผลต่อการลดความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มอย่างมาก ในขณะที่ความเข้มข้นที่มากกว่า 0.46 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีผลต่อการลดความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำเพียงเล็กน้อย

Park และคณะ (1994c) ศึกษาผลของฟิล์มลามิเนตระหว่างเมทริคเซลลูโลสและชั้นจากข้าวโพดที่มีการเติมกรดไขมัน พบว่า ความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำจะลดลงเมื่อความยาวของสายโซ่และความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มมีค่าสูงสุด เมื่อเติมกรดลอริกร้อยละ 30 โดยร้อยละการขีดตัวของฟิล์มจะแปรผกผันกับค่าการต้านทานแรงดึงขาด

การเตรียมแผ่นฟิล์มบางชนิดอาจต้องใช้สารให้ความชุ่มชื้น (wetting agent) เพื่อทำให้สารละลายกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ หรืออาจใช้อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) เพื่อทำให้เกิดความคงตัวของฟิล์มอิมัลชัน อย่างไรก็ตามสารทั้ง 2 ชนิดมีผลให้สารบางชนิดผ่านแผ่นฟิล์มที่เตรียมไว้ได้มากขึ้น ในการเตรียมอาจผสมสารชนิดต่างๆ ลงไปในสารที่ทำฟิล์ม เช่น สารกันหืน (antioxidant) สารป้องกันจุลินทรีย์ (antimicrobial) แล้วห่อหุ้มอาหารที่จะเสื่อมสภาพ รวมทั้งยังสามารถเติมสารที่มีคุณค่าทางอาหาร สารให้รสชาติหรือรงควัตถุผสมในการเตรียมฟิล์มด้วย แต่การเติมสารเจือปนต่าง ๆ ให้ได้ผลดีนั้น ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของสารเจือปนเหล่านั้นด้วย เพราะอาจทำให้ฟิล์มลดความสามารถในการต้านทานไอระเหยหรือก๊าวนออกจากรั้วอิทธิพลของสารเจือปนที่มีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเจือปนที่ใช้ โครงสร้างทางเคมีของสารและระดับการกระจายตัวของสารในฟิล์มด้วย (มณฑาทิพย์ 2535)

#### 9.1.4 คาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาลต่างๆ

## 9.2 ส่วนพอลิเมอร์

จะทำหน้าที่เป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้างของฟิล์ม โดยทั่วไปฟิล์มเกิดขึ้นจากสารประกอบที่เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงยาว โพลีเมอร์ที่สามารถทำให้เกิดฟิล์มได้ดี ได้แก่ โพลีแซ็กคาไรด์ ไขมัน และโปรตีน

### 9.2.1 ฟิล์มโพลีแซ็กคาไรด์ ( Polysaccharide film )

โพลีแซ็กคาไรด์เป็น สารประกอบพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่มากกว่า 10 หน่วยขึ้นไป สามารถใช้ฟิล์มโพลีแซ็กคาไรด์บางชนิดผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบที่รับประทานได้ เช่น แอลจินเนต ( alginate ) เพกติน ( pectin ) สตาร์ช ( starch ) สตาร์ชไฮโดรไลเซต ( starch hydrolysate ) คาราจีแนน ( carragenan ) และอนุพันธ์ของเซลลูโลส ( cellulose derivatives ) แต่เนื่องจากธรรมชาติของโพลีเมอร์เหล่านี้ชอบรวมตัวกับน้ำ ( hydrophobic ) จึงไม่เหมาะสมที่จะนำฟิล์มชนิดนี้มาป้องกันการซึมผ่านของความชื้น อย่างไรก็ตามโพลีแซ็กคาไรด์บางชนิดที่ใช้ผลิตเป็นสารเคลือบมีลักษณะเหมือนวุ้น ( gelatinous ) และมีความชื้นสูง ซึ่งจะช่วยให้การสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ ในช่วงอายุการเก็บสั้น ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยที่สารเคลือบเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บอาหาร ( scarifing agent ) มากกว่าเป็นตัวกลางขวางกั้นการส่งผ่านความชื้น นอกจากนี้ฟิล์มโพลีแซ็กคาไรด์บางชนิด ช่วยป้องกันปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนในลิพิด ( lipid oxidation ) และองค์ประกอบอื่นในอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุที่จะทำให้อาหารเกิดการเหม็นหืน

### 9.2.1.1 สตาร์ช

เป็นโฮโมโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืช ส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดธัญพืชและ บางส่วนได้มาจากหัวและรากของพืช เช่น มันเทศ มันฝรั่ง มันสำปะหลัง ภายในเมล็ดสตาร์ช ประกอบด้วย คือ อะมิโลส ( amylose ) ซึ่งเป็นโพลีเมอร์สายยาวของ  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4) กลูโคซิดิก ( Glucosidic ) และมีอะมิโลเพคติน ( amylopectin ) ซึ่งเป็นสายแขนงที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีโมเลกุลสูงต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4) กลูโคซิดิกเป็นสายตรงและมีพันธะ  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6) มีปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของพืชอะมิโลสเป็นโพลีเมอร์เส้นตรงและมีคุณลักษณะที่สามารถทำเป็นฟิล์มได้ในตัวเอง ( selfsupporting film ) จึงใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมฟิล์ม ได้ส่วนสตาร์ชก็สามารถนำมาเตรียมฟิล์มได้เช่นกัน แต่เป็นฟิล์มที่มีข้อจำกัดในการใช้งานดังนั้นจึงต้องมีการแยกส่วน ( fractionation ) อะมิโลสจากสตาร์ชเพื่อนำมาเตรียมฟิล์ม แป้งที่มีอะมิโลสสูง สามารถเกิดแผ่นฟิล์มบางที่ยืดหยุ่นและแข็งแรงได้ ทั้งยังมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี มักใช้ทำเป็นวัสดุห่อหุ้มอาหาร แป้งที่มีอะมิโลเพคตินสูง นำไปผลิตเป็นฟิล์มได้ไม่ค่อยดี ลักษณะของฟิล์มอะมิโลสนี้จะไม่มัน ไม่มันกลื่นและรส ไม่เป็นพิษ แข็งแรง ยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไขมัน ได้สูงและยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ต่ำ ( มณฑาทิพย์ ,1994 ) แต่ก็มีข้อเสียคือ ในการละลายอะมิโลส เพื่อผลิตฟิล์มต้องใช้อุณหภูมิสูงภายใต้ความดันบรรยากาศจึงนิยมใช้อนุพันธ์ของอะมิโลสซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีกว่าการใช้งานของฟิล์มอะมิโลส เช่น ใช้ในการผลิตถุงบรรจุ กาแฟชา ซุปสำเร็จรูปผลิตไส้เทียมเพื่อทำไส้กรอก หรือใช้เคลือบผลไม้ เช่น ลูกพรุน ลูกกวาดผลไม้ ทำให้ผลไม้ไม่เนื่อยติดกันเป็นก้อน

Wolff et al.(1951) ได้เตรียมฟิล์มจากอะไมโลส และทำการศึกษาถึงผลของความหนา, ปริมาณอะมิโลเพคตินที่เติมลงไปในส่วนผสม ขนาดโมเลกุลของอะมิโลส การให้ความร้อน และการใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซออร์ ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ความต้านทานทางเคมี และคุณสมบัติด้านเชิงกล ของฟิล์ม พบว่าเมื่อความหนาน้อยกว่า 20 ไมครอน แรงต้านทานการดึงขาดจะต่ำ ที่ผิวของแผ่นฟิล์มจะมีความไวต่อความชื้นมาก ความหนาที่เหมาะสมต่อการหีบถึง (handing) เฉลี่ย 20 –30 ไมครอน พบว่าความทนทานต่อการพับจะลดลงเมื่อความหนาสูงกว่าความหนาเฉลี่ยความทนทานต่อการแตก ปริ จะแปรผันตรงกับความหนาและความทนทานต่อการฉีกขาด จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น การเติมอะมิโลเพคตินลงไปในส่วนผสมจะทำให้คุณสมบัติทางกลของฟิล์มลดลง และพบว่าฟิล์มที่มีอะไมโลสต่ำกว่า 40 % จะเหนียวติด ไม่สามารถเคลื่อนออกจากกระจกได้ ผลของขนาดโมเลกุลอะมิโลสพบว่าฟิล์มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ฟิล์มจะมีความใสต่ำ เนื่องจากอะมิโลส โมเลกุลต่ำจะเกิดเจลได้เร็วมีความขุ่นสูง และเมื่ออะมิโลสมีการรีโทรกราเดชันมาก ความขีดยุ่นของฟิล์มจะลดลง ความต้านทานแรงดึงขาดต่ำทำให้การหีบถึงลำบาก จากการศึกษาที่พบว่า อะมิโลสที่มีระดับการเกิดพอลิเมอร์ 230 ความต้านทานแรงดึงขาดจะต่ำมาก จะเกิดการแตกระหว่างการทำให้แห้ง ทำให้ฟิล์มไม่เป็นแผ่น ส่วนฟิล์มที่เตรียมได้จากอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำให้ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงและขีดยุ่น ความทนทานต่อการพับจะสูงเมื่อเตรียมฟิล์มจากอะมิโลส ที่มีความหนืดสูง ในด้านการให้ความร้อนพบว่า ความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มเมื่อแห้งจะดีขึ้น เมื่อใช้ไอน้ำอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 15 นาที ส่วนการใช้กลีเซอรอล เป็นพลาสติกไซเซออร์จะทำให้ความต้านทานแรงดึงขาดลดลง ความเป็นพลาสติกของฟิล์มเพิ่มมากขึ้น

#### 9.2.1.2 แอลจีเนต (alginate)

จัดเป็นพวกกัม ( gum ) ธรรมชาติที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล นิยมใช้ในรูปของโซเดียมแอลจีเนต ( sodium alginate ) การเกิดฟิล์มของโซเดียมแอลจีเนตเป็นผลมาจากการเกิดเจล เมื่อแอลจีเนตทำปฏิกิริยากับ polyvalent cation แคลเซียม ซึ่งจะเป็นอไอออนที่ทำให้เกิดเจลที่มีประสิทธิภาพสูงและมักจะใช้ในรูปเกลือแคลเซียม

คลอไรด์ เพราะจะทำให้เกิดเจลวุ้นเนื้อแน่น คุณภาพดี เนื่องจากแคลเซียมไอออนเข้าจับกับสายของแอลจินเนตด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดแรงดึงดูดภายในโมเลกุลเกิดขึ้น ความแข็งแรงของฟิล์มและค่าการซึมผ่านสามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยจะเกี่ยวข้องกับค่าความเข้มข้นของ polyvalent cation เวลาในการอบฟิล์มค่าความเป็นกรดค่า อุณหภูมิ และส่วนผสมในการผลิตการเคลือบด้วยฟิล์มแอลจินเนตส่วนใหญ่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น ชิ้นส่วนเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ การเคลือบชิ้นเนื้อทำให้มีการสูญเสียให้น้อยกว่าชิ้นเนื้อที่ไม่ได้เคลือบ ถึงแม้ว่าฟิล์มแอลจินเนตจะยอมให้ความชื้นผ่านได้สูงแต่การเคลือบก็ให้ผลดี เนื่องจากเจลในฟิล์มมีปริมาณความชื้นสูง ความชื้นในเจลระเหยออกไปก่อนที่ชิ้นเนื้อที่เจลห่อหุ้มไว้จะสูญเสียความชื้นนอกจากนี้ฟิล์มเจลยังช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์บนผิวเนื้อ และรักษาสีแดงของเนื้อได้นานกว่าเนื้อปกติ ช่วยยืดอายุการเก็บของเนื้อแช่แข็ง ช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ในอาหารและช่วยทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นด้วยฟิล์มหรือสารเคลือบจากแอลจินเนตมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์อาหาร การเคลือบด้วยแว็กซ์หรือน้ำมันกำลังถูกแทนที่ด้วยแอลจินเนต เนื่องจากเป็นสารที่ให้พลังงานต่ำและไม่มีลักษณะเป็นน้ำมัน ฟิล์มและสารเคลือบจากแอลจินเนตสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่นเนื้อสัตว์ที่ยังไม่ผ่านความร้อน ผักและผลไม้ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ อาหารพองกรอบ และชีส เป็นต้นจุดประสงค์ในการใช้งานมีดังนี้

1. ลดการสูญเสียของน้ำจากผลิตภัณฑ์อาหาร
2. ช่วยเก็บรักษากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์
3. ช่วยรักษาสภาพเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏในด้านต่างๆ ให้มีความใกล้เคียงของสดมากที่สุด
4. ยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา
5. ลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนผลิตภัณฑ์อาหาร
6. ลดการสูญเสียน้ำหนักและการหดตัวของเนื้อสัตว์

Zecher and Coilie (1992) พบว่า การเคลือบด้วยฟิล์มอัลจินเตส่วนใหญ่ที่นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ เช่น ชิ้นส่วนเนื้อวัว เนื้อหมู เนื้อไก่ เพื่อให้มีการสูญเสียให้น้อยกว่าชิ้นเนื้อที่ไม่ผ่านการเคลือบ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะช่วยรักษาสีด้วยสารละลายหรือเจลของแอลจินเต เมื่อทำให้แห้งจะเกิดฟิล์มขึ้น ฟิล์มนั้นมีคุณสมบัติเด่น คือสามารถลดการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ได้

### 9.2.1.3 เพคติน (pectin) หรือ สารประกอบเพคติน

เป็นกลุ่มของสารประกอบเชิงซ้อนของโพลีแซคคาไรด์ที่พบอยู่ในชั้นของ middle lamella ของผนังเซลล์ พืช โดยรวมตัวอยู่กับเซลล์ลูโลสจัดเป็นกรดเพคตินิคนิกละลายน้ำ ซึ่งเป็น สารประกอบโพลีกาแลคทูโรนิก (D - galacturonic acid polymer) ที่ประกอบด้วยหมู่เมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) ในปริมาณสูงแต่ไม่แน่นอน เพคตินที่ใช้เป็นสารเคลือบนั้นเป็นชนิดที่มีจำนวนของเมท็อกซิลต่ำ (low methoxyl) ซึ่งสามารถทำให้เกิดเจลได้ในช่วงความเป็นกรดต่ำกว่าเพคตินที่มีหมู่เมทิลอยู่สูง โดยเพคตินที่ใช้เป็นสารเคลือบจะเป็นชนิดที่มีจำนวนของหมู่เมทิลต่ำเมื่อสารละลายเพคตินทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออน หลังจากทำให้เจลแห้ง จะเกิดเป็นฟิล์มเพคตินเนต หน้าที่ของแคลเซียมไอออนคือ เกิดการเชื่อมข้ามกับหมู่คาร์บอกซิลอิสระ รวมทั้งโพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้เคียง ๆ โดยสายโพลีเมอร์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและเมื่อทำให้เจลแห้งโดยการระเหยน้ำออก (evaporation) จะเกิดเป็นฟิล์มเพคตินเนต ซึ่งฟิล์มชนิดนี้มักจะเคลือบลงบนผิวอาหารโดยตรงและเนื่องจากฟิล์มเพคตินเนตยอมให้น้ำซึมผ่านได้สูง ดังนั้นต้องทำให้ฟิล์มยอมให้การซึมผ่านของไอน้ำลดลง โดยการเคลือบฟิล์มลปิดทับบนฟิล์มเพคตินเนตก่อนเพื่อทำให้ฟิล์มแห้งจึงจะทำให้ฟิล์มนี้สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้กว้างขวางมากขึ้น ประโยชน์ของฟิล์มเพคตินเนต ส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร นิยมใช้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาอาหาร (sacrificing agent) ป้องกันอาหารที่ห่อหุ้มไม่ให้สูญเสียน้ำ

#### 9.2.1.4 คาราจีแนน (Carragenan)

เป็นกลุ่มสารโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง เมื่อนำสารละลายคาราจีแนนร้อนมาทำให้เย็นจะเกิดเป็นเจลขึ้นในรูปของเกลียวคู่ ( double helix structure ) และจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างตาข่ายสามมิติ เจลคาราจีแนนที่ใช้ในการเคลือบอาหารจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรักษาอาหาร โดยป้องกันการสูญเสียความชื้นในอาหารที่ห่อหุ้มไว้ มักใช้เคลือบชิ้นเนยแข็งเทียมกึ่งขึ้น (intermediate moisture cheese analog ) คัวยเจลผสมคาราจีแนนและวุ้น ( agarose ) ที่มีกรดซอร์บิกอยู่ด้วยมีผลทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตบนผิวของผลิตภัณฑ์ได้ (Kester and Fennema, 1986)

#### 9.2.1.5 เดกซ์ตริน (Dextrins)

จัดเป็นสารที่ได้จากการแตกตัวของแป้งโดยใช้สารเคมี เอนไซม์หรือการให้ความร้อนซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบได้ ถึงแม้ว่าธรรมชาติของเดกซ์ตรินจะเป็นพวกที่ชอบรวมตัวกับน้ำแต่ฟิล์มที่ผลิตได้นี้สามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดีกว่าฟิล์มจากสตาร์ช 2 - 3 เท่า และยังสามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ ปัจจุบันมีการนำฟิล์มจากเดกซ์ตรินไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมยา โดยใช้ในการเคลือบ แคปซูล ( capsule ) และป้องกันการสูญเสียความชื้นของอาหารหลายชนิด เช่น กุ้ง เนื้อ ปลา ผลไม้แห้ง เนยแข็ง เนยเหลว และอาหารแช่แข็งทั่วไป

### 9.2.1.6 อนุพันธ์ของเซลลูโลส ( Cellulose derivatives)

#### โมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อ

โมเลกุลของเซลลูโลสเป็นสายยาวไม่มีแขนง สายยาวจะมาเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล ( - OH ) ในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสทำให้โครงสร้างของโมเลกุลแข็งแรง โครงสร้างของเซลลูโลสในแต่ละหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสยังมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ซึ่งจะเกิดพันธะระหว่างสายของโพลีเมอร์ ทำให้บางส่วนของโครงร่างเป็น crystalline นี้จะมีความหนาแน่นมากกว่า จึงทนทานต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์และสารเคมีมากกว่าส่วนที่เป็น non crystalline นอกจากนี้ส่วนที่เป็น crystalline ยังดูดน้ำได้น้อยกว่าอีกด้วย การที่โมเลกุลของเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ทำให้สามารถถูกแทนที่ได้ด้วยหมู่เมทิล เอทิล ไฮดรอกซีเมทิล ไฮดรอกซีเอทิลและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น แต่ส่วนของโมเลกุลเซลลูโลสที่เป็น crystalline จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ยาก อนุพันธ์เซลลูโลสเหล่านี้จัดเป็นเซลลูโลสดัดแปรไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ประกอบด้วย hydrophilic polymer ชนิดที่ไม่มี ประจุ จัดเป็น true thermoplastic resin ซึ่งสามารถฉีดพ่นออกมาเป็นฟิล์มได้จากสถานะหลอมเหลวเมทิลเซลลูโลสเป็นพวกที่มี hydrophilic polymer อยู่ร้อยละ ๕-๑๐ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำดีที่สุดในไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มีคุณสมบัติในการเกิดเจลได้ไม่ดีเท่ากับเมทิลเซลลูโลส แต่สามารถแก้ไขได้โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไป เพื่อช่วยให้การเกิดเจลได้ดีขึ้นและทำให้สามารถนำมาใช้ในการผลิตสารเคลือบหรือ ฟิล์มที่ช่วยลดการดูดซับน้ำมันระหว่างการทอดของมันฝรั่งและหัวหอมทอดได้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเคลือบที่ผิวของผักผลไม้ เพื่อลดอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซอันเนื่องมาจากการหายใจ ซึ่งเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

## 9.2.2 फिल्मलिट

ไขมันและสารประกอบเรซินได้ถูกนำมาใช้เป็นสารประกอบหรือส่วนประกอบในการเคลือบ โดย Food and Drug Administration (FDA) ยอมรับและอนุญาตให้ใช้ไขมัน (lipid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ละลายได้ในอีเทอร์ (ether) คลอโรฟอร์ม (chloroform) และตัวทำละลายอินทรีย์แต่ไม่ละลายน้ำการใช้ไขมันห่อหุ้มอาหารมีมานานแล้วในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น การเคลือบช็อกโกแลตหรือการใช้กับผักผลไม้ เช่น การเคลือบผลไม้ด้วยไข (wax) สารประกอบลิพิดหลายชนิดรวมทั้งอะเซทิลโมโนกลีเซอไรด์ (acetylate monoglyceride) ไขมันธรรมชาติ (natural wax) และสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ก็สามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบได้โดยทั่วไป เนื่องจาก สารประกอบพวกไขมันเป็นสารที่มีขั้วต่ำ ดังนั้นหน้าที่ขั้นพื้นฐานของการเคลือบด้วยไขมัน คือคุณสมบัติในการป้องกันการผ่านของความชื้น โดยทั่วไปการเคลือบอาหารด้วยลิพิดก็เพื่อป้องกันการถ่ายเทความชื้น แต่ในกรณีการเคลือบผลไม้ด้วยไขมันจะให้ผลอย่างอื่น เช่น การลดการเสียดสีของผิวผลไม้ระหว่างลครอยถลอกของผิวหน้าขณะจัดการกับผลผลิต การขนถ่ายไม่ให้เกิดรอยข้ำ (soft scald) หรือเคลือบผลแอปเปิ้ลทันทีหลังเก็บเกี่ยวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสีน้ำตาลด้วยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ เช่น กรดลอริก กรดปาล์มมิก C3585 .กรดสเตียริก โอเลอิก กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก เป็นต้น หรือน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวและเลซิทีนประเภทของฟิล์มไขมัน ได้แก่

### 9.2.2.1 ไข (Wax)

ฟิล์มไขที่รับประทานได้ ความชื้นจะซึมผ่านได้ต่ำมากและต่ำกว่าฟิล์มลิพิดส่วนใหญ่โดยเฉพาะไขพาราฟิน (paraffin wax) และขี้ผึ้ง นอกจากนี้ฟิล์มไขยังลดอัตราการกระจายของแก๊สเบนโซเอตเข้าสู่อาหารได้ดี เช่น ฟิล์มจากไขพาราฟินและคาร์บูบา ในขณะที่ฟิล์มขี้ผึ้งให้ผลดังกล่าวต่ำกว่า เพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้ฟิล์มไขในการรักษาความเข้มข้นของสารกันเสียที่ผิวของผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานไข (wax) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล โดยมากแล้วเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่กว่ากลีเซอรอล ในธรรมชาติจะพบไขในสภาพที่เป็นของแข็งจุดประ

สงค์ของการเคลือบไขในผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ก็เพื่อป้องกันการผ่านเข้าออกของความชื้น โดยที่ไขที่ใช้ประกอบด้วยพาราฟิน ขี้ผึ้ง คาร์นูบา ไขเทียน ไขรำข้าว

การเคลือบไขนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องเก็บในอุณหภูมิต่ำ ได้แก่ พวกผักและผลไม้สด เช่น ส้ม แอปเปิล กว๊าย แตง เพื่อยืดอายุหลังการเก็บเกี่ยว โดยเคลือบฟิล์มลึบที่ผิวของผักผลไม้แทนสารเคลือบผิว (cuticle) ซึ่งเป็นไขธรรมชาติที่ถูกชะล้างได้ง่าย มีผลทำให้เนื้อเยื่อมีอัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นอีกหลายเท่า และทำให้อัตราการหายใจของผักและผลไม้สูงขึ้นอีกด้วยฟิล์มที่เคลือบจะสามารถขวางการผ่านของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลมาจากการหายใจอันจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผักและผลไม้เป็นผลให้อายุการเก็บสั้นลง ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงทำให้ผักผลไม้ที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มลึบสามารถเก็บไว้ได้นานขึ้นนอกจากนี้มีการเคลือบลูกกวาดหรือผลไม้แห้งบางชนิดด้วยไขหรือน้ำมัน เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำทำให้น้ำตาลที่ผิวตกผลึกหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสอันเป็นเหตุให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

การเคลือบผิวผักผลไม้ มักเรียกว่าการเคลือบไข (waxing) แม้ว่าสารที่เคลือบในปัจจุบันอาจไม่ใช่ไขก็ตาม การเคลือบไขนิยมใช้หลังจากการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้ ซึ่งนิยมทำกันตาม packing house ในประเทศที่เจริญก้าวหน้าและเน้นเรื่องคุณภาพของสินค้าเป็นสำคัญ ซึ่งวัตถุประสงค์โดยทั่วไปของการเคลือบผิวผักผลไม้ ก็คือ

1. ช่วยรักษาความสดของผลไม้โดยการไปช่วยลดการคายน้ำที่ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก และปรากฏอาการเหี่ยวเฉาในระหว่างการขนส่งและวางจำหน่าย
2. ช่วยทำหน้าที่เป็นสื่อนำสารเคมีที่ต้องการใช้ป้องกันการเน่าเสียจากโรคพืชที่ปะปนโดยการผสมกับสารเคลือบผิว
3. ช่วยปิดบัง รอยขีดข่วนที่ผิวทดแทนไขธรรมชาติที่หลุดไปในช่วงการทำ ความสะอาดและเกิดความแวววาวของสีที่ถูกใจผู้บริโภค

#### 4. ช่วยยืดอายุการสุกของผลไม้

##### 9.2.2.1.1 ไชร่าข้าว

ไชร่าข้าวเป็นแหล่งไชธรรมชาติที่พบอยู่ในรำข้าว โดยไชจะถูกสกัดออกไปอยู่ในน้ำมันรำด้วยตัวทำละลาย ซึ่งในน้ำมันรำข้าว คิบจะมีไชประมาณร้อยละ 4 – 4.8 ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกไปในขั้นตอนขจัดไช (winterization) ซึ่งจัดเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันรำที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นจึงได้มีการคิดหาที่จะใช้ประโยชน์จากไชร่าข้าวนี้ โดยการทำให้บริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์

ธรรมชาติของไช คือ มีจุดหลอมเหลวสูง และจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติจึงไม่สามารถนำมาเคลือบผักผลไม้สดได้ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ไชที่อยู่ในรูปอิมัลชันไชพร้อมที่จะทำการเคลือบที่อุณหภูมิห้องได้ ซึ่งอิมัลชันไชจัดเป็น ของผสมที่มีไชเป็นอนุภาคเล็กๆขนาด 20-40  $\mu\text{m}$  สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำคือ wax in water และมีอิมัลซิฟายเออร์เป็นพวกสบู่ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของกรดไขมัน เช่น กรดโอเลอิก กรดสเตียริกกับเบส ซึ่งชนิดที่นิยมใช้คือ Triethanolamine และ Morpholine โดยอิมัลซิฟายเออร์ ดังกล่าวจะทำหน้าที่ให้ไชกระจายตัวอยู่ในน้ำได้ โดยไม่ทำให้สารละลายเกิดการแยกส่วน

##### 9.2.2.2 สารลดแรงตึงผิว ( surfactant )

การเคลือบอาหารด้วยสารนี้จะช่วยลดค่า  $A_w$  ที่ผิวหน้า ( superficial water activity ) และลดอัตราการระเหยของความชื้น เนื่องจากค่า  $A_w$  ที่ผิวหน้าจะเกี่ยวข้องกับอัตราการสูญเสียน้ำจากผลิตภัณฑ์อาหาร  $A_w$  ที่ผิวหน้าของอาหารจะแตกต่างจาก  $A_w$  ในเนื้อของอาหารเพียงเล็กน้อยและ  $A_w$  ที่ผิวหน้ามีผลต่อการเสื่อมสภาพของอาหาร เช่น ถ้าอาหารมี  $a_w$  ที่ผิวหน้าต่ำจะชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ลดปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาของเอนไซม์ ดังนั้นสารลดแรงตึงผิวจึงสามารถป้องกันการเสื่อมเสียได้ สาร

เคลือบพวกสารลดแรงตึงผิวที่ให้ผลดี เช่น สารประกอบของไขมันที่อยู่ร่วมกับ แอลกอฮอล์ ( Fatty alcohol compound ) ที่มีคาร์บอน 16 - 18 อะตอมและในกลีเซอไรด์ ได้แก่ กลีเซอรอลปาล์มิเตต ( glycerol monopalmitate ) และกลีเซอรอล โมโนสเตียเรต ( glycerolmonostearate ) โครงสร้างของสารจะมีผลในการลดการระเหยของน้ำในอาหาร โดยที่ถ้าในโครงสร้างมีพันธะคู่ในส่วนหางไฮโดรคาร์บอนซึ่งไม่อิ่มตัวของโมโนกลีเซอไรด์จะทำให้คุณสมบัติในการขวางกั้นของสารลดแรงตึงผิวลดลงอย่างมาก และผลของพันธะคู่ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นทั้งในชั้นของผิวไขมัน ( lipid membrane ) การปรับปรุงคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของสารเหล่านี้ ทำได้โดยการเพิ่มความยาวของสายไฮโดรคาร์บอน 16 - 18 อะตอมให้ยาวขึ้น นอกจากนี้ฟิล์มสารตึงผิวยังช่วยป้องกันการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ในมันฝรั่งซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสารพิษ glycoalkaloid เนื่องจากสารตึงผิวยังช่วยลดการคายของคาร์บอนไดออกไซด์ ( CO<sub>2</sub> ) ที่บริเวณเปลือกมันฝรั่ง ทำให้เมื่อคลอโรพลาสต์เกิดการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์จนถึงระดับที่จะยับยั้งการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ได้ จึงมีการเคลือบมันฝรั่งด้วยสารตึงผิวจำพวกเลซิทีน ( lecithin ) หรือไฮดรอกซีเลทเลซิทีน ( hydroxylated lecithin ) หรือโพลีซอร์เบต ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า ทวิน ( tween ) . โดยจะใช้ได้ผลในสถานะ สารละลายเหลวที่มีความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นวิกฤตของ micell นั่นคือ micell ของสารตึงผิวสามารถต้านทานการซึมผ่านของคาร์บอน ไดออกไซด์นอกจากนี้แล้วผลของทวินจะดีขึ้น เมื่อใช้ร่วมกับ Adjuvants ( Wu and Salunkhe ,1978 )

### 9.2.2.3 อะซีโตกลีเซอไรด์ (acetoglyceride)

ได้จากการเกิดอะซีทิลเลชัน (acetylation) ของกลีเซอรอล โมโนสเตียเรท ( glycerolmonostearate ) โดยเกิดปฏิกิริยากับอะซีติกแอนไฮไดรด์ (acetic anhydride) ได้เสตริยโรไดอะเซทินอะเซทิลเลท โมโนกลีเซอไรด์ (1-stearodiacetin acetylated monoglyceride ) โดยจะมีลักษณะการแสดงออกที่เป็นเอกลักษณ์ของของแข็ง ในสถานะที่ละลายทำให้เกิดการยึดหยุ่นคล้ายกับไข การต้านทานการแพร่ผ่านของน้ำในฟิล์มอะซีโตกลีเซอไรด์ ขึ้นกับความดันไอน้ำที่แพร่ผ่านฟิล์ม ฟิล์มอะซีทิลเลทกลีเซอไรด์ฟิล์มใช้ในการเคลือบเนื้อเป็ด ไก่ หรือชิ้นเนื้อสด เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังใช้ กับ อาหารพวกเนย ลูกกวาด และ ช็อกโกแลต

อะซิทิลเลท โมโนกลีเซอไรด์ ( acetylated monoglyceride ) ในสภาวะของแข็งสามารถเกิดพอลิเมอร์ในรูป  $\alpha$  ซึ่งความคงตัวของผลึก  $\alpha$  จะคงตัวได้ดีที่อุณหภูมิห้อง ผลึกจะมีลักษณะมันเงาและไม่ยอมให้น้ำและความชื้นซึมผ่าน ความสามารถในการยืดหยุ่นของอะซิทิลเลท โมโนกลีเซอไรด์ในรูปพอลิเมอร์  $\alpha$  เกิดการกระจายตัวในสายพอลิเมอร์คล้ายกับคริสตอล (crystal) จะแข็งตัวหรือแผ่ลำดับของการจัดเรียงตัวเป็นผลึกหรือการเกิดผลึกถูกทำให้เพิ่มขึ้น โดยแถวของผลึกที่อยู่ข้างๆ โดยผลึกจะเกิดเป็นแถวมากขึ้นอะซิทิลเลท โมโนกลีเซอไรด์ (acetylated monoglyceride) ถูกพัฒนาใช้กับสัตว์ปีก และขึ้นเนื้อชำแหละเพื่อป้องกันการสูญเสีย น้ำระหว่างการเก็บรักษา

### 9.2.3 फिल्म प्रोटीन (Protein film)

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีขนาดของโมเลกุลใหญ่ มีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อนประกอบด้วยกรดอะมิโนทั้ง ชนิดจำเป็น ( essential amino acid ) และไม่จำเป็น ( non essential amino acid ) การศึกษาฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนยังมีน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มของโพลีแซคคาไรด์ ในปัจจุบันมีการศึกษาถึงการปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีน โดยใช้วิธีต่าง ๆ เช่น การทำให้เสียสภาพของโปรตีน การเติมสารเชื่อมข้าม ( cross - linking or tanning agent ) ได้แก่ กรดอินทรีย์ กรดแทนนิก ( tannic acid ) หรือการใช้ความร้อน เป็นต้นฟิล์ม โปรตีนมีคุณสมบัติเด่นในแง่ยอมให้ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้ในระดับที่ต่ำแต่เป็นตัวกั้นไอน้ำที่ไม่ดี เนื่องจากลักษณะธรรมชาติที่ชอบน้ำ (hydrophilic property) ประเภทของฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนมีดังนี้

#### 9.2.3.1 फिल्मจากโปรตีนข้าวสาลี ( wheat protein )

กลูเต็น ( gluten ) ประกอบด้วยไกลอะดีน ( gliadin ) 75% (เป็นส่วนที่ละลายในแอลกอฮอล์) ส่วนที่เหลืออีก 25% เป็นกลูเตนิน ( glutenin ) ซึ่งไม่ละลายในแอลกอฮอล์ ส่วนประกอบทั้งสองนี้มี พันธะของไดซัลไฟด์ (disulfide) ซึ่งทำให้ฟิล์มกลูเต็นมีลักษณะการยืดเกาะและความยืดหยุ่นที่ดี ฟิล์มที่ได้แข็งแรง ออกซิเจนและคาร์

บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้น้อย แต่เป็นฟิล์มที่ขึ้นง่าย กูลูเตนเกิดการแตกตัวในสารละลาย โดยจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของพันธะไดซัลไฟด์ไปเป็น กลุ่มซัลไฟด์คัล ซึ่งจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพของสารละลายเกลือหรือผ่านการเติมสาร เช่น mercaptoethanal . และเมื่อพันธะไดซัลไฟด์เปลี่ยนแปลงตัวเองไปเป็นกลุ่มซัลไฟด์คัลในสารโพลีเอปไทด์ทำให้มวลโมเลกุลต่ำลง เกิดการทำลายความยืดหยุ่นและการเกาะกันของกูลูเตน ทำให้กูลูเตนกระจายตัว แล้วทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นพันธะไดซัลไฟด์อีกครั้ง โดเป็นโครงสร้างของฟิล์ม โดยฟิล์มที่ผลิตได้จากไกลอะดินและกูลูเตนินซึ่งแยกได้จากกูลูเตนินซึ่งแยกได้จากกูลูเตนพบว่า ฟิล์มที่ได้จากไกลอะดินมีความแข็งแรงมากกว่าฟิล์มที่ได้จากกูลูเตนิน โดยฟิล์มที่ได้จากไกลอะดินจะเป็นฟิล์มที่มีลักษณะโปร่งใส เหนียว และทนต่อแรงดึงได้ดี ส่วนฟิล์มที่ได้จากกูลูเตนินจะเป็นฟิล์มที่เปราะและไม่ทนต่อแรงดึง สำหรับฟิล์มที่ผลิตได้จากแป้งสาลีโดยตรงนั้นจะเป็นฟิล์ม คุณสมบัติในการยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูง เนื่องจากเป็นพวก hydrophilic และเนื่องจากฟิล์มกูลูเตนมีความแข็งแรง ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้น้อยแต่เป็นฟิล์มที่ขึ้นง่ายจึงมีการนำฟิล์มจากกูลูเตนมาใช้ร่วมกับสารอื่นเพื่อใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์ทำให้มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น เช่น ใช้เคลือบถั่วลิสงอบแห้งก่อนการเติมเกลือ ใช้ทำแคปซูลบรรจุสี และสารให้กลิ่นรส เพื่อใช้เติมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เป็นต้น

### 9.2.3.2 ฟิล์มโปรตีนจากข้าวโพด

โปรตีนข้าวโพดแบ่งตามความสามารถของการละลายออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ อัลบูมิน (albumin) เป็นกลุ่มของโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำ โกลบูลิน (globulin) เป็นกลุ่มของโปรตีนที่ละลายได้ดีในสารละลายเกลือที่เจือจางและเป็นกลาง ไม่ค่อยละลายน้ำและในสารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นสูง กูลูเตลิน (glutelin) เป็นกลุ่มของโปรตีนที่ละลายได้ดีในสารละลายกรดหรือด่างเจือจาง ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลางและเซอีน (zein) เป็นกลุ่มของโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 (Gennadios and Weller, 1990) เซอีนประกอบด้วยกรดอะมิโนที่ไม่มีซัลเฟอร์และไม่ชอบน้ำ ซึ่งมีประมาณร้อยละ 65

ของกรดอะมิโนทั้งหมดในโครงสร้างโปรตีนเซอีน เช่น ลูซีน (leucine) อะลานีน (alanine) และโพรลีน (proline) จึงทำให้เซอีนไม่ละลายน้ำและแอลกอฮอล์บริสุทธิ์เซอีนเป็นโปรตีนที่มีมากที่สุด ใน corn gluten meal ซึ่งมีประมาณร้อยละ 47 โดย Gortner และ Macdonald (1944) แบ่งเซอีนออกเป็น 3 ชนิด โดยใช้สมบัติการละลายในเอมิลและเอทิลแอลกอฮอล์ คือ แอลฟาเซอีน สามารถละลายได้ในเอมิลและเอทิลแอลกอฮอล์ เบต้าเซอีนสามารถละลายได้ในเอทิลแอลกอฮอล์เท่านั้น ส่วน แกมมาเซอีนไม่สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์ทั้ง 2 ชนิด

ฟิล์มจากเซอีนมีลักษณะหนา แข็ง เป็นมันเงา ป้องกันไขมันและน้ำมันได้ จึงมีการใช้เซอีนในการผลิตฟิล์ม ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีขั้วและไม่ชอบรวมตัวกับน้ำ ( hydrophobic ) ในปริมาณสูง ฟิล์มที่ผลิตจากเซอีนมักใช้ประโยชน์ในการเคลือบเมล็ดพืชและผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น พวงกั่ว ผลไม้แห้ง อาหารแห้ง อาหารอบ ความดันขึ้นเล็ก ๆ เยลลี่ ลูกกวาด ซึ่งสามารถทำได้โดยการฉีดพ่น ( spray ) หรือจุ่ม ( dipping ) ผลึกไขมันในสารละลายเซอีน อาจใช้การเคลือบด้วยเซอีนแบบแชลแลค ( shellac ) ซึ่งจะให้ผลดี เนื่องจากมีอัตราการแห้งเร็วกว่า ทำให้ความคงตัวเพิ่มขึ้น สามารถเก็บได้นานในสภาพที่มีความชื้น อุณหภูมิสูงโดยทั่วไปฟิล์มที่ผลิตได้จากเซอีนในสารละลายผสมแอลกอฮอล์สามารถทำเป็นแผ่นราบ ( casting ) ได้ดี ไม่เกิดปฏิกิริยากับพื้นผิว ลอกออกได้ง่ายเมื่อแห้ง มีความสามารถในการต้านทานน้ำได้ดี ฟิล์มที่ได้ค่อนข้างเปราะมาก จึงจำเป็นต้องใช้พลาสติกไซเซอร์ในการเพิ่มความยืดหยุ่น

### 9.2.3.3 คอลลาเจน

เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในร่างกายมนุษย์และสัตว์ มีอยู่ประมาณ 1 ใน 3 หรือมากกว่าโปรตีนทั้งหมดในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม บางส่วนได้ในสารละลายเกลือ บางส่วนละลายได้ในกรด ฟิล์มที่ผลิตขึ้นมักทำเป็นเปลือกหุ้มผลิตภัณฑ์ ใส่กรอก หรือเนื้อ แต่เนื่องจากคอลลาเจนไม่สามารถละลายในน้ำได้ ดังนั้นจึงควรเอาเปลือกหุ้มออกก่อนการบริโภค

#### 9.2.3.4 เจลาติน

เป็นโปรตีนที่ได้จากการไฮโดรไลเซตคอลลาเจนไฟเบอร์ โดยเจลาตินสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กลไกการเกิดเจลนั้นเกิดจากการเชื่อมข้ามของอิออนระหว่างหมู่อะมิโนและหมู่คาร์บอกซิลของสายโพลีเปปไทด์ แรงที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเจลคือ แรงจากพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ ฟิล์มเจลาตินเป็นฟิล์มที่แข็งแรงและใส แต่มีคุณสมบัติในการขวางกั้นที่ไม่ดี ฟิล์มของเจลาตินใช้กับอาหารแห้ง เช่น ถั่ว ลูกกวาด หรือใช้เคลือบกับผิวของเนื้อที่ตัดแต่งเพื่อการแช่แข็งป้องกันการเหม็นหืน (oxidative rancidity) การปรับปรุงคุณภาพในการขวางกั้นของเจลาตินฟิล์มทำได้โดยการเชื่อมข้ามสายโพลีเปปไทด์ด้วยกรดแลกติก กรดแทนนิก หรือแคลเซียมอิออน การเชื่อมข้ามนี้จะช่วยลดการเคลื่อนที่ของสายโพลีเมอร์ในฟิล์มที่ผลิตขึ้น ทำให้เพิ่มความต้านทานในการซึมผ่านของน้ำและก๊าซได้ในปัจจุบันนี้พบว่า มีการนำเจลาตินมาใช้ในการผลิตเป็นแคปซูล โดยขบวนการ encapsulation เพื่อใช้ในการบรรจุน้ำมันพืช aromatic oil aromatic และ aliphatic hydrocarbon แอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์

#### 9.2.3.5 เกซีน

เกซีนเป็นโปรตีนหลักในน้ำนม ประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์ มีสภาพเป็นคอลลอยด์ จัดเป็นฟอสโฟโปรตีน ฟิล์มจากเกซีนมีลักษณะขุ่น เกาะตัวกันได้ดี สามารถละลายได้ในอัลคาไลน์ และมีความสามารถในการต้านทานเนิ่นได้ดี (Avena – Bustillos and Krochta, 1993)

### 9.2.3.6 ถั่วเหลือง

โปรตีนในถั่วเหลืองที่สะสมอยู่ในถั่วเหลืองเรียกว่า โปรตีนบอดี ( protein body ) หรือ storage protein พิล์มที่ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองค่อนข้างมันและค่อนข้างนุ่ม มีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านเข้าออกของน้ำและก๊าซได้ดี มีความยืดหยุ่นได้ดีเมื่อมีการเติมพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสม หรืออาจเตรียมได้โดยตรงจากถั่วเหลืองที่ผ่านการแยกแล้ว ( isolate soya ) ซึ่งฟิล์มที่ได้จะมีคุณสมบัติเชิงกลดี ( mechanical properties ) แต่จะค่อนข้างจะต้านทานการซึมผ่านของน้ำได้ไม่ดึ้นัก ( Jaynes and Chou , 1975 ) Brandenberg และคณะ ( 1993 ) พัฒนาฟิล์มโปรตีนและสารเคลือบจากโปรตีนถั่วเหลืองโดยเตรียมที่ระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 8 พบว่าฟิล์มที่ผลิตได้มีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนต่ำมาก จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการป้องกันการเสื่อมเสียจากออกซิเจนได้ ส่วนใหญ่ฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองใช้เป็น wrapping film หรือเป็นส่วนประกอบในอาหารหลายชนิด Stuchell และคณะ ( 1994 ) ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มจากโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเหลือง โดยมีวิธีเตรียมโปรตีนเข้มข้น 2 วิธีคือ การใช้ความร้อนและการใช้เอนไซม์พบว่าฟิล์มที่เตรียมได้จากโปรตีนเข้มข้นโดยการใช้ความร้อนมีความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำลดลง การยืดตัวเพิ่มขึ้นฟิล์มมีความใสและเรียกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนนอกจากนี้ยังมีการเตรียมฟิล์มโปรตีนจากรั้วพืชอื่น ๆ Cheappimolchai ( 1994 ) ศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเขียวโดยเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้จากผง โปรตีนเข้มข้น ( powder ) และ paste ฟิล์มจากถั่วเขียวที่ได้มีสีน้ำตาลเหลือง ขุ่น ฟิล์มที่เตรียมจาก protein paste มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำ แรงต้านการดึง การยืดตัวละขุ่นมากกว่า แต่มีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนมากกว่าใน protein powder และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีน มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำ การซึมผ่านของออกซิเจน การยืดตัวของฟิล์มลดลงในขณะที่แรงต้านทานการดึงและความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีน Gnanasambandam และคณะ ( 1997 ) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติด้านการขวางกันของฟิล์มโปรตีนจากรั้วข้าว โดยผลิตฟิล์มที่ระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.0 และ 9.5 พบว่าค่าความสามารถในการต้านทานไอน้ำไม่แตกต่างกัน และฟิล์มโปรตีนจากรั้วข้าวมีค่าความสามารถในการต้านทานไอน้ำสูงกว่าเมื่อเทียบกับฟิล์มพลาสติก

โพลีไวนิลิดีนคลอไรด์ ( polyvinylidenechloride , PVDC ) พิล์มโปรตีนจากรำข้าวที่เตรียมที่ระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 มีค่าความสามารถในการต้านทานไอน้ำที่เตรียมที่ระดับความเป็นกรดต่าง 9.5 แต่มีค่าต้านทานการแทงทะลุ ค่าแรงต้านทานการดึงและความสามารถในการละลายของโปรตีนต่ำกว่า

### 9.2.3.7 พิล์มจากไข่ขาว

ในการผลิตฟิล์ม โดยทั่วไปจำเป็นต้องมีการเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไปเพื่อให้ฟิล์มสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม คุณสมบัติโดยทั่วไปของพลาสติกไซเซอร์จะระเหยได้ยาก มีจุดเดือดสูง อาจละลายในตัวทำละลายได้ดี เพื่อมิให้การแยกตัวของพลาสติกไซเซอร์ในระหว่างการทำฟิล์มให้แห้ง พลาสติกไซเซอร์ที่นิยมใช้ในไข่ขาวมีหลายชนิด เช่น โพลีเอททิลีนไกลคอล ( PEG ) กลีเซอริน และซอร์บิทอล ความเข้มข้นของพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้อยู่ในช่วงความเข้มข้น 25 – 50 เปอร์เซ็นต์ การเติมพลาสติกไซเซอร์ที่มากเกินไป จะช่วยทำให้ฟิล์มสามารถจับยึดกันได้ด้วยตนเอง สำหรับ pH ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตฟิล์มอยู่ในช่วง 10 – 12 โดยใช้ โซเดียม โปแทสเซียม หรือ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวปรับ pH สามารถละลายน้ำได้ในช่วงความเข้มข้น 7 – 10 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 – 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 20 – 30 นาทีเพื่อทำให้ลดการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ของโมเลกุล โปรตีนจะคลายเกลียวออกเป็นหมู่ซัลไฟไฮดริลและหมู่ไฮโดรโฟบิก ทำให้โปรตีนกระจายตัวได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งเมื่อนำฟิล์มที่ได้มาผ่านการทำให้แห้ง โมเลกุลของโปรตีนก็จะสามารถจัดเรียงตัวให้อยู่ในสภาพเดิมได้ และข้อควรระวังก็คือการให้ความร้อนในการผลิตฟิล์มจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้และเวลาในการให้ความร้อนด้วย เพราะการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงประกอบกับการใช้เวลานาน จะทำให้โมเลกุลโปรตีนเกิดการตกตะกอน

นอกจากนี้วิธีการในการเตรียมสารละลายที่ผลิตฟิล์มยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสิ่งของที่รับประทานได้ และสิ่งของที่รับประทานไม่ได้ โดยอาศัยเทคนิคการจุ่ม การพ่นฝอย หรือการแปร่งและการทำแห้ง เพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียความชื้น วิธีการขึ้นรูปฟิล์มต้องควบคุมให้ระดับผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอ และทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อให้ฟิล์มสามารถจับยึดกันได้ด้วยตนเอง

ปกติฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนจะมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สามารถเป็นตัวกั้น (barrier) ความชื้นได้ในระดับปานกลาง เช่น สมบัติการแพร่ผ่านของไอน้ำ และสามารถกั้นการแพร่ก๊าซออกซิเจน และกลีเซอรอลได้อย่างดีเลิศ ซึ่งดีกว่าการใช้วัสดุอื่น ๆ ที่ผลิตเป็นฟิล์ม เมื่อทำการทดลองที่สภาวะแวดล้อมความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จึงได้มีการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มที่ใช้หลายประการ เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล สมบัติทางเคมี สมบัติด้านเอนไซม์ สมบัติด้านการเลือกใช้พลาสติกไซเซออร์ และสมบัติของไขมันแข็ง ตัวอย่างการปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าว เช่น

ก. สมบัติความแข็งแรงของฟิล์มและสมบัติการเป็นตัวกั้นความชื้น โดยการใช้สารประกอบอัลดีไฮด์ และการใช้เอนไซม์กลูตาอะมิเนส (glutaminase) ในระหว่างการให้ความร้อนเพื่อช่วยให้โมเลกุลโปรตีนเกิดการเชื่อมไขว้กัน

ข. สมบัติการเป็นตัวกั้นความชื้น ทำได้โดยการใช้สารประกอบประเภทไขมัน เช่น ไขมันพืช หลาย ๆ ชนิด และกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว หลาย ๆ ชนิด

ค. ในการเลือกใช้พลาสติกไซเซออร์ที่เหมาะสม มีการศึกษาสารพลาสติกไซเซออร์ 3 ชนิด คือ กลีเซอริน โพลีเอทิลีนไกลคอล และซอร์บิทอล ที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มด้านต่างๆ คือ ความแข็งแรงของฟิล์ม สมบัติการยึดตัว ณ ตำแหน่งจุดหักและการแพร่ผ่านของไอน้ำ พบว่า เมื่อใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซออร์จะให้ค่าการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุด ในขณะที่ฟิล์มที่เตรียมด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอลให้ค่ายึดตัวมากที่สุด ที่จุดแตกหัก และการใช้ซอร์บิทอลและโพลีเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติกไซเซออร์นี้ทำให้ฟิล์มที่ได้มีค่าความแข็งแรงมากกว่าการใช้กลีเซอรินเป็นพลาสติกไซเซออร์

การใช้ฟิล์มจากโปรตีนไข่ขาว พบว่ามีข้อดี เมื่อเปรียบเทียบกับ โปรตีนชนิดอื่นๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ซอยโปรตีน ข้าวฟ่าง คือ

1. ฟิล์มที่ได้มีลักษณะโปร่งใสและไม่เปราะ
2. สามารถใช้น้ำเป็นตัวทำละลายสำหรับการเตรียมฟิล์มได้ แต่ถ้าใช้โปรตีนจากแหล่งอื่นนี้ต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการเตรียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบแอลกอฮอล์ ซึ่งปัญหาที่พบตามมาคือ การระเหยของสารประกอบอินทรีย์เหล่านี้จะทำให้เกิดไอซึ่งเป็นพิษต่อสุขภาพได้
3. ค่าใช้จ่ายในการผลิตฟิล์มต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ โปรตีนจากแหล่งอื่น
4. วิธีการผลิตฟิล์มเป็นแบบง่ายๆ ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

จากการศึกษาวิจัยและได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มจากโปรตีนไข่ขาวพบว่าฟิล์มจากโปรตีนไข่ขาวนั้นมีประโยชน์ คือ

1. ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับวัตถุเจือปนด้านอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา และอุตสาหกรรมเคมีที่ละลายน้ำได้ในภาวะบรรจุคล้ายคลึงกับตัวทำละลายที่ใช้เตรียมเซลลูโลส ที่มีสารประกอบอีเทอร์เป็นองค์ประกอบที่ใช้ในทางการค้า
  2. ใช้เป็นตัวกั้นการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน สำหรับการเคลือบอาหาร แต่ละชนิดที่ไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เช่น ถั่วเปลือกแข็ง เนื้อที่ผ่านการทำให้แห้ง
  3. เป็นตัวกั้นการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของแผ่นฟิล์มที่เป็นองค์ประกอบหลายๆ ชั้น
  4. ใช้เป็นตัวกลางจับยึดสำหรับอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบและยา
  5. ใช้เป็นสารเคลือบอาหารที่กินได้ ป้องกันการเหม็นหืน และเป็นสารต่อต้านจุลินทรีย์สำหรับการควบคุมระดับของผิวหนังอาหารจนถึงภายในอาหาร
  6. ใช้เป็นตัวกั้นความชื้นสำหรับอาหารที่มีไขมันหลายๆชนิดเป็นองค์ประกอบ โดยการหน่วงเหนี่ยวการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในอาหารที่ซับซ้อนข้าง
- นอกจากนี้ยังมีการเตรียมฟิล์ม โปรตีนจากธัญพืชอื่นๆ

Cheappimolchai ( 1994 ) ศึกษาการผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากโปรตีนเข้มข้นจากถั่วเขียว โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มที่ได้จากผงโปรตีนเข้มข้น (powder) และpaste ฟิล์มจากถั่วเขียวที่ได้มีสีน้ำตาลเหลือง ชุ่ม ฟิล์มที่เตรียมจาก protein paste มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำ แรงต้านการดึง การยึดตัวและนุ่มมากกว่า แต่มีการซึมผ่านของไอน้ำ การซึมผ่านของออกซิเจน การยึดตัวของฟิล์มลดลงในขณะที่แรงต้านการดึง และความชุ่มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีน

Gnanasambandam และคณะ (1997) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติด้านการขวางกั้นของฟิล์มโปรตีนจากรำข้าว โดยผลิตฟิล์มที่ระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.0 และ 9.5 พบว่าค่าความสามารถในการต้านทานไอน้ำไม่แตกต่างกัน และฟิล์มโปรตีนจากรำข้าวมีค่าความสามารถในการต้านทานไอน้ำสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกโพลีไวนิลิดีนคลอไรด์ ( polyvinylidene chloride, PVDC ) ฟิล์มโปรตีนจากรำข้าวที่เตรียมที่ระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 มีค่าความสามารถในการต้านทานไอน้ำสูงกว่าที่เตรียมที่ระดับความเป็นกรดต่าง 9.5 แต่มีค่าต้านทานการแทงทะลุ ค่าแรงต้านการดึงและความสามารถในการละลายของโปรตีนต่ำกว่า

### ๓.3 ฟิล์มหลายองค์ประกอบ ( Composite film )

ฟิล์มที่บริโภคได้อาจมีหลายองค์ประกอบที่แตกต่างกัน เช่น การผสมกันของโพลีแซคคาไรด์โปรตีนและลิปิด ซึ่งมีการใช้ประโยชน์ได้กว้างขึ้นและเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม ฟิล์มหลายองค์ประกอบนี้อาจเป็นฟิล์มที่มีส่วนผสมของโปรตีน หรือโพลีแซคคาไรด์กับอีพอลิเมอร์ของไขมันหรือชั้นของฟิล์มไขมัน ซึ่งช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มคือ ไขมันทำให้การส่งผ่านของไอน้ำลดลง โปรตีนหรือโพลีแซคคาไรด์ช่วยให้ฟิล์มแข็งแรงและช่วยปรับปรุงโครงสร้างของฟิล์มให้แน่นขึ้น Park และคณะ ( 1994 ) ศึกษาความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำ การต้านทานของฟิล์มลามิเนตระหว่างเมทิลเซลลูโลสกับ corn zein fatty acid การเตรียมฟิล์มทำได้โดยเทสารละลาย cornzein fatty acid ลงบนฟิล์มเซลลูโลส ค่าการซึมผ่าน

ของไอน้ำลดลงเมื่อความยาวของสายและความเข้มข้นของกรดไขมันเพิ่มขึ้น การต้านทานแรงดึงของฟิล์มลามิเนตของกรดปาล์มิติกลดลงเมื่อเพิ่มกรดปาล์มิติก การยึดตัวของฟิล์มลามิเนตที่เติมกรดไขมันแปรผกผันกับแรงต้านทานการดึง hittakorn ( 1997 ) เปรียบเทียบผลของการดัดแปรทางเคมีผ่านของไอ้จากฟิล์มที่รับประทานได้จาก โปรตีนข้าวเข้มข้นและแป้งข้าวคัดแปร ( modified rice starch ) พบว่าค่าการซึมผ่านของไอน้ำในฟิล์มปสมน้อยกว่าในฟิล์มจากแป้งข้าวคัดแปร แต่มีการยึดตัวสูงกว่า ในขณะที่ การต้านทานแรงดึงของฟิล์มจากแป้งข้าวคัดแปรสูงกว่าGontard และคณะ ( 1994 ) ปรับปรุงคุณสมบัติในการต้านทานความชื้นของฟิล์มที่บริโภคได้จาก wheat gluten โดยผสมกับลิปิดชนิดต่าง ๆ ผลการศึกษายืนยันว่าการผสมด้วย beeswax มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณสมบัติในการต้านทานความชื้นได้ดีที่สุด ความสามารถในการซึมผ่านลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ beeswax แต่ความชุ่มจะเพิ่มขึ้นและเปราะ Shih ( 1996 ) เตรียมฟิล์มที่บริโภคได้จากโปรตีนข้าวเข้มข้นและ pullulan ซึ่งเป็นโพลีแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่ผลิตได้จาก *Aureobasidium pullulan* อัตราส่วนระหว่างโปรตีนและ pullulan 1:1 ให้แรงต้านทานการดึงและการซึมผ่านของไอน้ำดี ( balance ) ความแข็งแรงของฟิล์มและการซึมผ่านของไอน้ำดีขึ้นเมื่อเตรียมโพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนตเล็กน้อยในสภาวะที่เป็นต่าง การเติมลิปิดทำให้การต้านทานการซึมผ่านไอน้ำดีขึ้น Rhim และคณะ ( 1999 ) เตรียมฟิล์มที่บริโภคจากโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านการแยกพร้อมกับโพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนต พบว่าแรงต้านทานการดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเติมโพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนตมากกว่าร้อยละ 17.5 ในขณะที่การยึดตัวของฟิล์มลดลงเมื่อเพิ่มโพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนตความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำและความสามารถในการละลายน้ำลดลงเมื่อเพิ่มโพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนตมากกว่าร้อยละ 10

#### 10. ผลของความหนาต่อฟิล์มที่บริโภคได้

นอกจากชนิดของพอลิเมอร์ การเตรียมฟิล์ม ชนิดและปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้จะมีผลต่อคุณสมบัติของฟิล์มที่บริโภคได้แล้ว คุณสมบัติของฟิล์มยังขึ้นอยู่กับความหนาที่สัมพันธ์ของแผ่นฟิล์มอีกด้วย ( Hagenmaire และ Shaw, 1990 )

ความหนาจะมีผลต่อความแข็งแรงในการยึดเกาะกันของฟิล์ม โดยความแข็งแรงของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นจนถึงค่าเฉพาะค่าหนึ่งหลังจากนั้นความแข็งแรงของฟิล์มจะคงที่แม้ว่าความหนาจะเพิ่มขึ้น มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของความหนาที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของฟิล์มดังนี้ .

Hagenmaire และ Shaw (1990) ศึกษาถึงความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มที่เตรียมจากกรดไขมันและไฮดรอกซีโพรพิริวเมทิลเซลลูโลสซึ่งมีความหนาแตกต่างกันพบว่า ฟิล์มที่มีความหนา 15.24 – 38.1 ไมโครเมตร มีความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์มต่างกันน้อยมากคือมีค่าอยู่ในช่วง  $3.56 \pm 1.02$  ถึง  $5.08 \pm 2.79$  กรัมไมโครเมตรต่อตารางเมตรต่อวันต่อมิลลิเมตรปรอท แต่ฟิล์มที่มีความหนา 3.81 ไมโครเมตรมีค่านี้สูงถึง 20 เท่า คือ มีค่าเป็น  $88.9 \pm 35.56$  กรัมไมโครเมตรต่อตารางเมตรต่อวันต่อมิลลิเมตรปรอท เนื่องจากฟิล์มที่บางมากเกิดการยึดตัวมากกว่าฟิล์มหนาในระหว่างการลอกออกจากวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป

Nelson และ Fennema (1991) ทดลองใช้ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสป้องกันการถ่ายเทไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมหวานพบว่า เมื่อใช้ฟิล์มเมทิลเซลลูโลสที่มีความหนาต่าง ๆ กันคือ ตั้งแต่ 5.08-40.64 ไมโครเมตร พบว่า เมื่อความหนาของฟิล์มลดลงค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำมันถั่วลิสงเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ (imperfections) ของฟิล์มมากขึ้น และเมื่อฟิล์มหนาขึ้น จำนวนรูในแผ่นฟิล์มจะลดลงนอกจากนี้เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดกราดลำแสงพบว่า ฟิล์มที่มีความหนามากผิวฟิล์มเรียบไม่มีรอยแตกหรือรูเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่บางกว่า นอกจากนี้ความหนาของฟิล์มยังมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสอีกด้วย

## 11. การทอด

การทอดอาหารเป็นวิธีที่เก่าแก่วิธีหนึ่งในการประกอบอาหาร เป็นวิธีที่มี การนำเอาไขมันหรือไขมันมาใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งการประกอบอาหารโดยการทอดจะทำให้หินจึงอาหารสุกเร็วเนื่องจากน้ำมันมีจุดเดือดสูง และสามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อในของอาหารได้ดีนอกจากนี้การทอดยังทำให้เกิดลักษณะของสี เนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติของอาหาร ที่เป็นลักษณะเฉพาะของอาหารทอดทำนั้มน้ำมันที่ใช้ทอดก็จะมี การเสื่อมเสียตามปกติจากการให้ความร้อน หรือ ปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้น ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดสารประกอบต่างๆขึ้นมากมายแล้วยังทำให้คุณสมบัติทางด้าน ภายภาพของน้ำมันเสียไป และทำให้คุณภาพของอาหารที่ผ่านการทอดลดลงอีกด้วย (ดร.วิไล รังสาตทอง, 2546)

### 11.1 ไขมันและน้ำมัน

ลิพิด เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (non - polar) เช่นอีเทอร์ เบนซีน เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ และชนิดที่มีขั้วเล็กน้อย (slightly polar) เช่น แอลกอฮอล์ และ อะซีโตน เป็นต้นไขมันและน้ำมันเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกรีเซอริน ไขมันจะเป็นของแข็งที่ อุณหภูมิห้อง ส่วนน้ำมันจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ไขมันและน้ำมันจะมีส่วน ประกอบทางเคมีเหมือนกันกรดไขมันที่มีในไขมันและน้ำมันอาจเป็นชนิดเดียวกันทั้ง 3 โมเลกุล หรือคนละชนิดก็ได้ไขมันหรือน้ำมันจากสัตว์มีกรดไขมันที่อิ่มตัวอยู่มากและ มักเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ไขมันและน้ำมันจากสัตว์ ได้แก่ไขมันในเนื้อสัตว์ ไขมันในไข่แดง ไขมันในนม ไขมันในน้ำมันหมู ส่วนไขมันและน้ำมันจากพืชมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอยู่มาก (ยกเว้นในน้ำมันมะพร้าว) ได้แก่ น้ำมันรำน้ำมันถั่ว น้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพด น้ำมันดอกคำฝอย และน้ำมันดอกทานตะวัน เป็นต้น

## 11.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไขมัน

### 11.2.1 เมื่อบริสุทธิ์จะปราศจากสี กลิ่น และรส

11.2.2 ไม่ละลายน้ำ (ยกเว้นน้ำมันงา) และแอลกอฮอล์ที่เย็น ละลายใน แอลกอฮอล์ที่ร้อนได้เล็กน้อย ละลายได้ดีในคลอโรฟอร์ม อีเทอร์ คาร์บอนไดซัลไฟด์ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และปิโตรเลียมอีเทอร์

11.2.3 ไขมันจะหลอมละลายเมื่อได้รับความร้อน ไขมันจะค่อยๆอ่อนตัว หลอมละลาย ทั้งนี้ เพราะไขมันประกอบด้วยกรดไขมันหลายชนิด จุดหลอมเหลวของ ไขมันขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของกรดไขมันที่มีอยู่ในไขมัน กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว มีจุดหลอมเหลวต่ำ ยังมีจำนวนพันธะคู่มากในโมเลกุล จุดหลอมเหลวก็ยิ่งต่ำ กรดไขมัน ชนิดอิ่มตัวที่มีโมเลกุลยาว จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัวโมเลกุลสั้น

ไขมันและน้ำมันมีชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่แตกต่างกัน เช่น ไข่ วัว มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัว โมเลกุลยาวจำนวนมาก จึงมีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้มี ลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ ส่วนน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวโมเลกุล สั้นจำนวนมาก มีกรดไขมันที่อิ่มตัวน้อย จึงมีจุดหลอมเหลวสูง อยู่ในสภาพที่เป็นของ เหลวที่อุณหภูมิปรกติ ในฤดูหนาวน้ำมันมะพร้าวจะแข็งตัวก่อนน้ำมันชนิดอื่น คือแข็งตัว ที่อุณหภูมิประมาณ  $22 - 26^{\circ} \text{C}$  สำหรับเนยก็เช่นเดียวกันจะแข็งตัวที่อุณหภูมิ  $35 - 41^{\circ} \text{C}$

11.2.4 ความถ่วงจำเพาะของไขมันและน้ำมัน ไขมันและน้ำมันทุก ชนิดมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.0

11.2.5 เมื่อเผาให้ร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (ยกเว้นน้ำมันชัก แห้ง) เมื่ออุณหภูมิเกิด  $250^{\circ} \text{C}$  จะมีการสลายตัวให้สารที่มีกลิ่น เรียกว่า อะโครลีน (acrolein) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอริน อะครอลีนเป็นสารที่ระเหยได้ ทำ ให้ผู้ที่อยู่ใกล้รู้สึกแสบตาและทำให้อาหารมีกลิ่นไม่น่ารับประทาน

อุณหภูมิทำให้ไขมันหรือน้ำมันเป็นควันเรียกว่า จุดที่เป็นควัน ( smoking point ) ไขมันหรือน้ำมันจากสัตว์มีอุณหภูมิที่เป็นควันต่ำกว่าน้ำมันพืช อุณหภูมิที่เป็นควันนี้ใช้ทดสอบความบริสุทธิ์ของไขมันได้ น้ำมันและไขมันแต่ละชนิดสลายตัวที่อุณหภูมิต่างกัน ในการทอดอาหารควรเลือกใช้ใช้น้ำมันที่มีอุณหภูมิที่เป็นควันสูง เพื่อป้องกันการเกิดอะโครลีน

อุณหภูมิที่เป็นควันของไขมันนอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันและไขมันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับสิ่งอื่นๆดังนี้

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระ ถ้าในน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง จะมีอุณหภูมิที่เป็นควันต่ำ เช่นน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันอิสระในรูปของกรดโอเลอิก ร้อยละ 1.90 สูงกว่าไขมันทุกชนิด จึงมีอุณหภูมิที่เป็นควันต่ำสุด น้ำมันที่ใช้แล้วมีจุดที่เป็นควันต่ำลงก็ด้วยเหตุผลเดียวกัน นั่นคือ เมื่อน้ำมันได้รับความร้อน โมเลกุลของไขมันจะสลายตัวเป็นกรดไขมันอิสระ ในน้ำมันจึงมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิที่เป็นควันต่ำลง

2. การสัมผัสอากาศ ถ้าน้ำมันสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น อุณหภูมิที่เป็นควันของน้ำมันจะลดลง ดังนั้นการทอดอาหารในภาชนะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จะทำให้จุดเป็นควันของน้ำมันลดต่ำลงเร็วกว่าน้ำมันที่ทอดในภาชนะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า

3. เศษอาหารที่ปะปนในน้ำมัน เช่น แป้ง จะทำให้อุณหภูมิที่เป็นควันของน้ำมันต่ำลงเร็วขึ้นฉะนั้นน้ำมันที่ใช้แล้วควรกรองแยกเศษอาหารออกเสียก่อนที่จะทอดในคราวต่อไป จะช่วยให้ น้ำมันทอดอาหารได้นานขึ้น

ถ้าน้ำมันได้รับความร้อนสูงขึ้นเรื่อยๆจากจุดเป็นควัน น้ำมันอาจลุกเป็นไฟได้ เรียกจุดนี้ว่าจุดที่เริ่มติดไฟหรือจวบน้ำ ( flash point ) และถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอีกก็จะลุกเป็นไฟได้ เรียกจุดนี้ว่า จุดลุกเป็นไฟ ( fine point )

5. ไขมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ โดยเฉพาะเมื่อมีแสง และความชื้นจะได้กรดไขมันอิสระเกิดขึ้น และจะเปลี่ยนเป็นอัลดีไฮด์ และกรดไขมันที่มี

น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้มีกลิ่นเหม็น และรสชาติเปลี่ยนไป เรียกว่าเกิดการเหม็นหืน (rancid)

6. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (spontaneous oxidation) น้ำมันที่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอยู่มากเช่น น้ำมันลินสีดจะถูกออกซิเดชันได้ง่าย เกิดสารที่เป็นของแข็งไม่เปียกน้ำ ใช้ผสมในสีทาบ้านและเชลแล็ก เรียกน้ำมันพวกนี้ว่า น้ำมันชักแห้ง (drying oil)

### บทบาทของไขมันและน้ำมันในการประกอบอาหาร

ไขมันและน้ำมันที่ใช้ในการประกอบอาหารมีความสำคัญ ดังนี้

1. ช่วยเพิ่มรสชาติของอาหารให้ดีขึ้น
2. เป็นตัวนำความร้อนที่ทำให้อาหารสุก ช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดภาชนะที่ใช้ทอด และช่วยทำให้อาหารมีสีสวยด้วย อาหารที่ทอดด้วยน้ำมันมาก ส่วนใหญ่จะมีสีน้ำตาล ต้องใช้อุณหภูมิตั้งแต่  $177 - 201^{\circ}\text{C}$  ในการเลือกน้ำมันสำหรับทอด จึงต้องคำนึงถึงจุดที่เป็นควันของไขมันด้วย เพราะไขมันที่ใช้ทอดต้องไม่สลายตัวเป็นควันก่อน ไขมันและน้ำมันต่างชนิดกันจะทำให้อาหารมีรสชาติต่างกัน ข้อสำคัญที่สุด ไขมันที่ใช้ต้องไม่มีกลิ่นเหม็นหืน และอาหารจะต้องไม่อมน้ำมันมาก เพราะจะทำให้อาหารเสียรสชาติ ปัจจัยที่ทำให้อาหารอมน้ำมันมากเวลาทอด ได้แก่

2.1 เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ทอด การทอดที่อุณหภูมิต่ำทำให้ต้องใช้เวลานาน ทำให้อาหารอมน้ำมันมาก ภาชนะที่ใช้ทอดควรเป็นภาชนะโลหะหนัก ซึ่งนำความร้อนได้ดี และไม่ใส่อาหารลงไปทอดครั้งละมากๆ เพราะทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง

2.2 พื้นที่ผิวของอาหารที่สัมผัสน้ำมัน อาหารชิ้นใหญ่อมน้ำมันมากกว่าชิ้นเล็ก และอาหารที่มีผิวหน้าขรุขระหรือมีรูพรุนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีผิวเรียบ เพราะมีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำมันมากกว่า

2.3 ส่วนผสมของอาหาร อาหารที่มีแป้ง ไขมัน และน้ำตาลมากจะอมน้ำมันมากขึ้นตามส่วนประกอบ

2.4 จุดที่เป็นควันของไขมัน อาหารจะอมน้ำมันได้มากขึ้น เมื่อใช้น้ำมันที่มีจุดเป็นควันต่ำ

น้ำมันที่ใช้ทอดแล้วมีกรรมวิธีแยกแยะลงเกิดจับ คือ มีปริมาณของกรดไขมันอิสระมากขึ้น ถ้าไอโอดีนลดต่ำลงจุดที่เป็นควันและจุดหลอมเหลวต่ำลง สีของน้ำมันดำขึ้น และน้ำมันจะเหนียวขึ้น น้ำมันที่ใช้แล้วควรกรองเศษอาหารเล็กๆออก และเก็บน้ำมันไว้ในที่เย็นปราศจากอากาศและแสงเพื่อ ช่วยยืดอายุของการทอดของน้ำมันให้นานขึ้น

3. ไขมันทำให้แป้งนุ่มและร่วนเป็นชั้น อาหารที่ทำด้วยแป้ง เช่น ขนมเค้ก คุกกี้ ป๊อป โรตีส และพาย ฯลฯ ถ้าไม่ใส่ไขมัน เส้นใยกลูเตน ซึ่งเกิดจากโปรตีนในแป้งกับน้ำจะเกาะกันเหนียวและแน่น แต่ถ้าใส่ไขมันแล้วไขมันจะเข้าไปแทรกระหว่างเส้นใยกลูเตน และบางส่วนจะทำให้เส้นใยกลูเตนขาด ทำให้เนื้อขนมไม่แน่น ในขนมเค้กไขมันถูกตีเป็นหยดเล็กๆ แทรกอยู่ทั่วไปทำให้ขนมนุ่ม ส่วนขนมประเภทคุกกี้ ป๊อป และพาย ไขมันที่แทรกอยู่เป็นหยดใหญ่อยู่ระหว่างชั้นของเส้นใยกลูเตน จึงทำให้ขนมนุ่มและร่วนเป็นชั้น

## 12. วิธีการทอดทางอุตสาหกรรม (คร.วิไล ริงสาครทอง, 2546)

การทอดเป็นกรรมวิธีที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคอาหารวัตถุประสงค์รองคือ การถนอมรักษาอาหาร โดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่าออกซิเดชันของไขมันหรือลดกลิ่นเหม็น ถ้าเป็นการทอดอาหารขึ้นบางๆ ความชื้นของอาหารหลังการทอดจะเป็นตัวกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งมีความชื้นอยู่ภายใน เช่น โคนัท ปลา อาบู การเก็บรักษาเนื้อไก่ชุบแป้งหรือชุบขนมปังป่นทอดจะมีอายุสั้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำและน้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา จึงไม่นิยมผลิตอาหารเหล่านี้ในระดับอุตสาหกรรมแล้วกระจายออกไปยังร้านค้าย่อย แต่นิยมผลิตในร้านค้าย่อยมากกว่าอาหารเหล่านี้สามารถเก็บรักษาโดยการแช่เย็นได้นานหลายวันเมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอยู่

ารวดเร็วและน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าจึงเริ่มแห้ง แนวระนาบการระเหยจะเคลื่อนที่เข้าไปในอาหารเกิดเปลือกนอกขึ้น อุณหภูมิที่ผิวนอกจะเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆถึง 100 °C ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันและอาหารค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมการถ่ายเทความร้อน ค่าการนำความร้อนของอาหารเป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหารเปลือกนอกของอาหารหอดมีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งประกอบด้วยท่อแคปิลารีขนาดต่างๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกทางแคปิลารีช่องใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันในระหว่างการทอด ความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารแลพฟิล์มบางๆของน้ำมัน ความหนืดและความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำมันเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์มซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลและความร้อนความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างความชื้นในอาหารและในน้ำมันจะเป็นตัวขับเคลื่อนคล้ายกับกรณีการทำแห้งด้วยลมร้อนเวลาที่ใช้ในการทอดให้สมบูรณ์ขึ้นอยู่กับ

1. ชนิดของอาหาร
2. อุณหภูมิของน้ำมัน
3. วิธีที่ใช้ในการทอดว่าเป็นแบบน้ำมันตื้น(shallow frying) หรือน้ำมันท่วม(deep-frying)
4. ความหนาของชิ้นอาหาร
5. ความต้องการในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภค

อาหารซึ่งมีความชื้นอยู่ภายในจะถูกถ่ายทอดจนกว่าจุดร้อนซ้ำที่สุดของอาหารจะได้รับความร้อนเพียงพอที่จะทำให้ลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนหรือเพียงพอที่จะเปลี่ยนคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสได้ตามที่ต้องการ ปัจจัยเหล่านี้สำคัญมากสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อมัดหรืออาหารอื่นที่อาจมีเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคอาศัยอยู่ได้การคำนึงถึงปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์และความต้องการของผลิตภัณฑ์จะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิในการถ่ายทอด การทอดที่อุณหภูมิจจะช่วยลดเวลาและเพิ่มอัตราการผลิต อย่างไรก็ตามโรก็ตามอุณหภูมิสูงจะเร่งให้น้ำมันกลายเป็นกรดไขมันอิสระซึ่งจะเปลี่ยนแปลงความหนืด สี และกลิ่นของน้ำมัน ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันบ่อยขึ้น จึงเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำมัน การสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ในข้อที่2 เกิดจากการเคี้ยวของอาหารอย่างรุนแรง

แรงที่อุณหภูมิสูงและการสูญเสียน้ำมันที่ติดขึ้นมากับไอน้ำ อุณหภูมิสูงทำให้เกิดมาแตกตัวมาเป็นอะโครเลน( acrolein) ซึ่งเป็นควินซีน้ำเงินบนน้ำมันและทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศได้ปัจจัยอีกข้อในการกำหนดอุณหภูมิในการทอดคือลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์. การใช้อุณหภูมิสูงในการทอดอาหารทำให้เกิดเปลือกนอกแห้งและมีความชื้นภายใน การเกิดเปลือกนอกอย่างรวดเร็วจะเป็นการปิดกั้นมิให้น้ำเคลื่อนที่ออกไปจากอาหาร และลดอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังด้านในอาหาร ชิ้นอาหารจึงยังคงรักษาเนื้อสัมผัสที่นุ่มชื้อและกลิ่นรสของสารประกอบในอาหารไว้ได้ การทำให้อาหารแห้งโดยการทอดจะใช้การทอดที่อุณหภูมิต่ำกว่า จึงทำให้ระนาบการระเหยเคลื่อนที่ลึกลงไปในอาหารก่อนเกิดเปลือกนอก อาหารจึงแห้งก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่น สี ที่รุนแรงวิธีทอดทางอุตสาหกรรมที่สำคัญมี 2 วิธี ซึ่งจำแนกโดยวิธีการถ่ายเทความร้อนได้เป็นการทอดแบบน้ำมันตื้น( shallow frying ) และการทอดแบบน้ำมันท่วม ( deep fat frying )

### 12.1 การทอดแบบน้ำมันตื้น

การทอดแบบน้ำมันตื้น เหมาะกับอาหารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น เบคอน ไช้ เบอร์เกอร์ และพายชนิดต่างๆ ความร้อนจากผิวกระทะร้อนจะเคลื่อนผ่านชั้นน้ำมันบางๆ ไปยังอาหารความหนาของชั้นน้ำมันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของผิวหน้าอาหาร ถ้าชั้นน้ำมันบางฟองไอน้ำเดือดจะทำให้อาหารเคลื่อนที่ขึ้นลงบนผิวร้อนของกระทะ การกระจายความร้อนจึงไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามวิธีการทอดแบบนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวสูง(200-450 วัตต์/เมตรเคลวิน )

## 12.2 การทอดแบบน้ำมันท่วม

การถ่ายเทความร้อนในการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนสู่ภายในอาหาร ผิดอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดแบบน้ำมันท่วมเหมาะสำหรับอาหารทุกรูปปร่าง แต่อาหารที่มีรูปปร่างไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปปร่างแน่นอน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนเกิดการระเหยเท่ากับ 250-300วัตต์/เมตร เคลวิน และเพิ่มขึ้นเป็น800/1000วัตต์/เมตร เคลวิน เนื่องจากเกิดเทอบูลเลนซ์ของไอน้ำที่หนีออกจากอาหาร อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการระเหยสูงเกินไปจะเกิดฟิล์มบางๆของไอน้ำอยู่บนผิวอาหารทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง( Hallstrom , 1980 )

## 13. เวย์โปรตีน

เวย์โปรตีน (Whey Protein) เป็นโปรตีนซึ่งอยู่ในน้ำเวย์ โดยน้ำเวย์เป็นผลพลอยได้จากการผลิตเนยแข็ง น้ำเวย์มีลักษณะเป็นของเหลวใสมีสีค่อนข้างเขียวอมเหลือง เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของน้ำเวย์พบว่าปริมาณแลคโตสมากกว่าสารอาหารอื่น Alfa-Laval (1987) แบ่งชนิดน้ำเวย์เป็น 2 ชนิด คือ สวีทเวย์หรือชีสเวย์ (sweet whey or cheese whey) ซึ่งเป็นน้ำเวย์ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตเนยแข็งเกาด้า (Gouda cheese) เนยแข็งเช็ดด้า (Chedda cheese) มีค่าความเป็นกรดต่างระหว่าง 5.9 – 6.6 ส่วนอีกชนิดหนึ่ง คือ แอซิดเวย์หรือเคซีนเวย์ (acid whey or casein whey) เป็นน้ำเวย์ที่ได้จากการผลิตเคซีนองค์ประกอบที่แตกต่างของทั้ง 2 ชนิด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของสวิตเวย์และแอสชีดเวย์

| SWEET WHEYS                     | Type of cheese |                  |          |           |
|---------------------------------|----------------|------------------|----------|-----------|
|                                 | Emmentai       | Edam / St Paulin | Amembert | Cheddar   |
| <u>Liquid Whey</u>              |                |                  |          |           |
| % solids                        | 6.5            | 5.0              | 6.5      | 6.1-6.6   |
| pH                              | 6.7            | 6.5              | 6.1      | 6.1       |
| <u>Powder (% of dry matter)</u> |                |                  |          |           |
| Lactose                         | 76             | 75               | 75       | 74-81     |
| Protein                         | 13.5           | 13.5             | 13.0     | 12.8-15.2 |
| Ash                             | 8.0            | 8.5              | 9.0      | 7.6-9.2   |
| Lactic acid                     | 1.8            | 2.0              | 2.2      | 2.0       |
| Fat                             | 1.0            | 1.0              | 1.0      | 1.0       |
| <u>Minerals</u>                 |                |                  |          |           |
| - Ca                            | 0.6            | 0.65             | 0.7      | 0.61-0.78 |
| - P                             | 0.6            | 0.65             | 0.7      | 0.76      |
| - NaCl                          | 2.5            | 2.5              | 2.5      | 2.5       |

| ACIDS WHEY                             | Type of cheese |                   |                |           |
|--|----------------|-------------------|----------------|-----------|
|  | Lactic acid    | Hydrochloric acid | Sulphuric acid | Rennet    |
| <b>Liquid Whey</b>                     |                |                   |                |           |
| % solids                               | 6.0            | 5.8-6.1           | 6.0-6.3        | 6.4-6.7   |
| pH                                     | 4.0            | 4.6               | 4.6            | 6.6       |
| <b><u>Powder (% of dry matter)</u></b> |                |                   |                |           |
| Lactose                                | 65.5           | 70-76             | 68-74          | 75-80     |
| Protein                                | 12             | 9.9-12.8          | 9.9-11.7       | 13.8-15.5 |
| Ash                                    | 12             | 11.6-19.4         | 12.13          | 7.0-8.0   |
| Lactic acid                            | 10             | -                 | -              | -         |
| Fat                                    | 0.5            | -                 | -              | -         |
| <b>Minerals</b>                        |                |                   |                |           |
| - Ca                                   | 1.9            | 2.0-2.4           | 2.0-2.4        | 0.7-0.8   |
| - P                                    | 1.5            | 2.8-3.2           | 2.8-3.2        | 1.0-1.4   |
| - NaCl                                 | 2.5            | 7.5               | 2.5            | 2.5       |

ที่มา : Kjaergaard Jensen และ Oxlund (1988)

เวย์โปรตีนเป็นโปรตีนจากน้ำเวย์ประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิดที่ทนต่อกรด แต่ไม่ทนต่อความร้อนสามารถสูญเสียสภาพได้เนื่องจากความร้อน ( Rhim และคณะ , 1990 ) การพาสเจอร์ไรส์นมธรรมดาจะทำลายโปรตีนบางส่วน เวย์โปรตีนประกอบด้วยหมู่ซัลเฟอร์ คังนั้นเมื่อได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือดจะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ นมจะมีรสชาติที่เรียกว่า boiled -milk flavour หรือ cooked flavour หมู่ซัลเฟอร์มีความไวต่อความร้อนมีคุณสมบัติเป็น strong antioxidant ที่ดี คังนั้นในผลิตภัณฑ์นมที่มีสารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งเกิดเนื่องจากความร้อนมักจะไม่ว่ายเกิดการ

เปลี่ยนแปลงชนิดออกซิเดชัน เวย์โปรตีนประกอบด้วยโปรตีน 2 ประเภท คือ เบต้าแลคโตโกลบูลิน ( $\beta$ -lactoglobulin) และ แอลฟาแลคโตโกลบูลิน ( $\alpha$ -lactoglobulin) Webb และ Whitter (1970) รายงานว่าเบต้าแลคโตโกลบูลิน เป็นองค์ประกอบหลักที่สามารถตกตะกอนได้และถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ส่วนแอลฟาแลคโตโกลบูลินมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ตกตะกอนเมื่อได้รับความร้อน นอกจากนี้เวย์โปรตีนยังมี immunoglobulins ,เอนไซม์ต่างๆและโปรตีนชนิดแลคโตเฟอริน (lactoferrin) (นิธิยา, 2527) Barkey และ Walter (1947) ได้ทำการตกตะกอนโดยนำเวย์มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 – 96 องศาเซลเซียส ปรับค่าความเป็นกรดต่างให้ได้ 4.8 – 5.0 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและแคลเซียมคลอไรด์จนอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งโปรตีนตกตะกอนออกมาเรียกวิธีการนี้ว่า heat denaturation

### 13.1 ประเภทของเวย์โปรตีน

#### 13.1.1 $\beta$ -lactoglobulin

เป็นเวย์โปรตีนที่อยู่ในรูปของไดเมอร์ ( dimer) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 36,000 แต่ละเส้นเปปไทด์จะมีกรดอะมิโนอยู่ประมาณ 136 หน่วย แต่ละไดเมอร์จะมีลักษณะเป็นวงกลม 2 รูปติดกันซึ่งเป็นโครงสร้างตามทฤษฎีของ Green Aschaffenburg (วรรณา และ วิบูลย์ศักดิ์, 2531 ) ไดเมอร์มาละลายในน้ำกลั่นแต่ละลายในสารละลายเกลือเจือจาง สามารถตกตะกอนโปรตีนชนิดนี้ได้ด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตและแอมโมเนียมซัลเฟต นอกจากนี้พบว่าโปรตีนชนิดนี้มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ถูกดีเนเจอร์ด้วยความร้อนได้ง่าย มีบทบาทต่อกลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์ fluid food

$\beta$ -lactoglobulinมีอยู่ประมาณ 62 % ของ whey protein โครงสร้างประกอบด้วย free sulfhydryl 1 หมู่ และ disulfide 2 หมู่ ลักษณะเป็น globula มีสมบัติเป็น hydrophilic การให้ความร้อนแก่เวย์โปรตีนจะกระตุ้นให้เกิด disulfide bond จาก sulfhydryl group แล้วต่อกันเป็นพอลิเมอร์ ซึ่งมีบทบาทที่สำคัญในการเกิดฟิล์ม ทำให้มีลักษณะยึดเกาะความชื้นหุ่่นคี่

13.1.2  $\alpha$ -lactoglobulin เป็นโปรตีนที่มีซัลเฟอร์ประกอบอยู่มากกว่าในเคซีนถึง 2.5 เท่า สามารถตกตะกอนได้ด้วยความร้อนในสภาวะที่เป็นกรด pH 4.5 ไม่พบว่ามิโทเทสเชื่อมประกอบอยู่เหมือนในเคซีน

$\alpha$ -lactoglobulin มีอยู่ประมาณ 25 % ของ whey protein มีลักษณะเป็น globular โครงสร้างประกอบด้วย 4 disulfide bond  $\alpha$ -lactoglobulin เมื่อรวมตัวกับ  $\text{Ca}^{2+}$  จะมีคุณสมบัติคงทนต่อการ denature

13.1.3 immune globulins พบประมาณ 10 % ของเวย์โปรตีน แบ่งออกเป็น IgM, IgA, IgG2 และ IgG1 แต่เดิมจัด immune globulin ไว้ว่าเป็น lactoglobulin ต่อมาได้แบ่ง immune globulin ออกเป็น Euglobulin และ Pseudoglobulin ในส่วน ของ Euglobulin ประกอบด้วยโปรตีน IgG1 เป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือ IgA ทั้ง IgG1 และ IgG2 เป็นโปรตีนที่พบในปริมาณค่อนข้างสูง immune globulin มีคุณสมบัติเป็น antibody พบมากในเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน เป็นโปรตีนที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำนม immune globulin ไม่ทนต่อความร้อน

13.1.4 Serum albumin มีลักษณะคล้ายกับ อัลบูมินของซีรัมในเลือด ( blood serum ) ซึ่งถูกทำลายหรือเปลี่ยนสภาพไปบางส่วนเมื่อน้ำนมถูกพาสเจอร์ไรส์ ประกอบด้วยซัลเฟอร์อยู่มาก โครงสร้างประกอบด้วย free thiol 1 หมู่ และ 17 disulfide bond BSA สามารถรวมตัวกับ lipid และ flavor ทำให้ lipid และ flavor มีความคงตัว



### 13.2 แหล่งที่มา (source) และคุณสมบัติต่าง ๆ ของเวย์โปรตีน (whey)

เวย์โปรตีนผงเป็นผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันได้จากกระบวนการผลิตเนยแข็ง (Cheese) และเคซีน (casein) โดยพบว่า whey จะถูกพิจารณาว่าเป็นของเสีย (waste Product) ของเหลือ (by product) ของกระบวนการผลิต cheese เป็นเวลากว่า 20 ปี พบว่า เมื่อพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อม และการแข่งขันทางธุรกิจมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมูลค่า whey โดยใช้เป็น co-product ของกระบวนการผลิต dairy product manufacturing ในปัจจุบันการศึกษาค้นคว้าต่างๆ สะดวกเนื่องจากเทคโนโลยีต่างๆ พัฒนาไปมากโดยจุดประสงค์หลักในอนาคตจะพยายามใช้ whey เป็น by-product หรือ co-product ซึ่ง whey โปรตีนผงถูกผลิตโดยวิธี steam passes ผ่าน ultrafiltration membrane ระหว่างกระบวนการทำให้โปรตีนเข้มข้น (protein concentration process) ซึ่ง by-product ก็คือส่วนที่เรียกว่า permeate โดยปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้าน membrane พัฒนาไปมากจนสามารถแยกส่วน permeate ที่ประกอบด้วย น้ำ, เนยแข็ง และ acid-whey ยกเว้นพวกแบคทีเรีย เม็ดไขมัน (fat globule) และโมเลกุลโปรตีนขนาดใหญ่ โดยขึ้นกับลักษณะรู (porosity) และความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ของ membrane ที่ใช้ ในที่นี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต whole whey และ deproteinated whey โดยกระบวนการ ultrafiltration หรือกระบวนการอื่นๆ ในรูปผลิตภัณฑ์เข้มข้น (concentrate) หรือผลิตภัณฑ์แห้ง (dry product) เมื่อจะกล่าวถึงส่วนประกอบและคุณสมบัติต่างๆ ของเวย์ชนิดต่างๆ จะสรุปได้ดังตารางที่ 1 จะเห็นความแตกต่างของส่วนประกอบในแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะค่าความเป็นกรดค่า (pH) ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน แต่พบว่าปริมาณแร่ธาตุจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

### 13.3 กระบวนการผลิตเวย์โปรตีนผง

ขั้นแรกจะเป็นการแยกเวย์โปรตีนออกจากเนยแข็งหรือเคซีนที่ปนเปื้อนในวัตถุดิบออก โดยผลที่ได้จะขึ้นอยู่กับกระบวนการ *sidestream* (Huffman, 1996) เริ่มแรกวัตถุดิบจะมีน้ำร้อยละ 93 และมีคโปรตีนร้อยละ 0.6 หลังจากนั้นจะมีกระบวนการทำเวย์โปรตีนให้เข้มข้นและบริสุทธิ์ได้เป็นเวย์โปรตีนหลากหลายชนิด โดยแยกเป็นชนิดต่างๆ จากการพิจารณาปริมาณโปรตีนจะแบ่งเป็นชนิดต่างๆ คือ 35 % WPC (เวย์โปรตีนเข้มข้น); ประกอบด้วย โปรตีนร้อยละ 34–35 น้ำตาลแลคโตสร้อยละ 53 ไขมันร้อยละ 4 และเถ้าร้อยละ 8 ซึ่งส่วนประกอบเช่นนี้จะเหมือนส่วนประกอบของนมผงปราศจากไขมัน (non fat dry milk), 50 % WPC; จะประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 53 น้ำตาลแลคโตสร้อยละ 35 ไขมันร้อยละ 5 และเถ้าร้อยละ 7, 80 % WPC; จะประกอบด้วยโปรตีนมากกว่าร้อยละ 80 น้ำตาลแลคโตสร้อยละ 7 ไขมันและเถ้าร้อยละ 4–7 นอกจากนั้นยังมี whey protein isolate (WPI) จะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าร้อยละ 90 ไขมันร้อยละ 1 น้ำตาลแลคโตส ร้อยละ 1 และเถ้าร้อยละ 3 พบว่ามีการใช้ 80 % WPC และ WPI ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารมากกว่าเวย์โปรตีนผงชนิดอื่น

### 13.4 คุณสมบัติของเวย์โปรตีน

#### 13.4.1 คุณสมบัติด้านการละลาย (solubility)

เวย์โปรตีนผงที่ยังไม่ถูกทำลายหรือเปลี่ยนแปลงสภาพ (denature) ด้วยความร้อนความสามารถในการละลายจะยังสูงอยู่ พบว่าที่ 70 องศาเซลเซียส เวย์โปรตีนผงจะสูญเสียความสามารถในการละลายบางส่วนในช่วงความเป็นกรด – ด่าง 3 – 5 เพราะว่าเวย์โปรตีนบางส่วนจะตกตะกอนและจับตัวกันเป็นก้อนที่ isoelectric point (pH = 4.5 – 5.3) ความสามารถในการละลายของเวย์โปรตีนผงในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ความร้อนสามารถเพิ่มขึ้นโดยการเติมน้ำตาล ซึ่งเป็นการเพิ่มการทนร้อน (heat stability) ของเวย์โปรตีนผงในผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดความสามารถในการละลายของเวย์โปรตีนผงจะมีความสำคัญมาก เช่น ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่เป็นกรด (acid beverage) และการทำ

น้ำสลัด (salad dressing) ความหนืดและการรวมตัวกับน้ำ (viscosity and water holding) เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนส่วนมาก พบว่าความหนืดของเวย์โปรตีนผงเข้มข้น (Whey Protein Concentrate) จะต่ำมีปริมาณน้อยกว่า หรือเท่ากับ 5 cp. ที่ 10 %ของแข็งทั้งหมด และพบว่า เวย์โปรตีนผงเป็นสารที่สำคัญต่อ dietary product โดยเป็นการใช้แทน whole meals ในขั้นตอนการอบร้อน ให้ความร้อนในกระบวนการผลิตเวย์โปรตีนผงเป็นเหตุทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ water holding capacity เพิ่มขึ้นเล็กน้อยด้วย แต่ความสามารถในการละลายจะลดลง เพราะมีบางส่วนของโปรตีน (water binding site) จะไม่เกาะตัวกับน้ำ โดยเวย์โปรตีนจะตกตะกอนเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากความสามารถของ WPC (Whey Protein Concentrate) ที่จะเพิ่มความหนืดได้ เมื่อโดนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะทำให้อาหารเหลวข้นขึ้น (thicken food) เช่น ซุป (soup) ไส้กรอก (sauces) และโยเกิร์ต

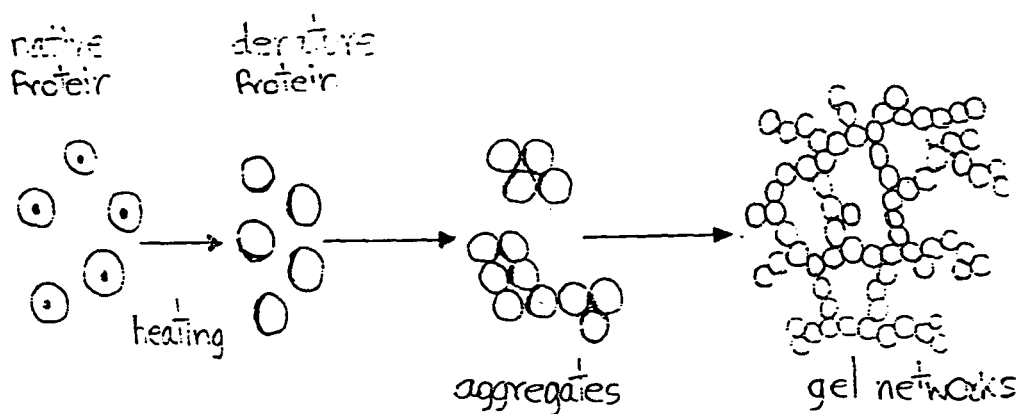
#### 13.4.2 คุณสมบัติการเกิดเจล (gelation)

เวย์โปรตีนผงจะเกิดเจลเมื่อได้รับความร้อน เป็นเจลลักษณะไม่สามารถเปลี่ยนรูปได้ (irreversible gel) โดยจะสร้างลักษณะโครงสร้างตาข่าย (net work) และจับกับน้ำเป็น gel matrix เกิดเป็นเจลที่แข็งแรง ป้องกันการสูญเสียน้ำ และความชื้น (syneresis) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มผลได้ (yield) ในหลายผลิตภัณฑ์ เช่น แสม ซูริมิ (surimi) และยังช่วยปรับปรุงลักษณะที่ปรากฏ โดยการป้องกันการสูญเสียน้ำบริเวณพื้นผิวของโยเกิร์ต เวย์โปรตีนเริ่มเป็นเจลเมื่อได้รับความร้อนประมาณ 65 องศาเซลเซียส โดยจะสร้างลักษณะ (curd, syneresis, through, smooth, shiny, strong, elastic gel (ยืดหยุ่น)) เช่นเดียวกับไข่ขาวโดยอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโปรตีน ความเป็นกรดต่าง และวิธีในการผลิตเวย์โปรตีนผง ในสภาวะของเหลว เวย์โปรตีนผงจะเริ่มเกิดเจลที่ปริมาณโปรตีนร้อยละ 7 แต่ในอุตสาหกรรมอาหาร ingredient อื่น ๆ ที่ใช้ร่วมกับเวย์โปรตีนผงจะจับกับน้ำเกิด gel formation ที่ร้อยละ 0.5 – 3.0 ของเวย์โปรตีนผง คุณสมบัติการเกิดเจลของเวย์โปรตีนผงสามารถใช้ปรับปรุงเนื้อสัมผัส (texture) ของอาหารได้ เช่น ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางด้าน

Hardness , Cohesiveness และ Elasticity ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ อาหารทะเล และ เค้ก เป็นต้น

### 13.5 กลไกการเกิดฟิล์ม

ฟิล์มจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายโปรตีน โดยเฉพาะส่วนของ globular Protein ที่มีของไฮโดรโฟบิก ซึ่งไม่สามารถที่จะละลายได้ในน้ำ จะฝังตัวอยู่ด้านในของโมเลกุล เมื่อให้ความร้อนแก่โปรตีนในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้โปรตีนเกิดการดีเนเจอร์ ไปบางส่วน (partially denature) เป็นผลให้หมู่ไฮโดรโฟบิก เคลื่อนตัวออกมาอยู่ด้านนอกของโมเลกุล ซึ่งมีผลทำให้โปรตีนละลายได้น้อยลง และเกิดการรวมตัวของ พันธะไฮโดรเจน , พันธะไดซัลไฟด์ เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มโปรตีน ( aggregate) และสร้างเป็น โครงร่างแหของเจลดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการเกิดเจลดโปรตีน

ที่มา : รศ.ดร. วรณนา ตั้งเจริญชัย (2534)

13.6 สาเหตุที่มีการนำเอาเวย์โปรตีนมาผลิตเป็นฟิล์มที่รับประทานได้

13.6.1 เวย์โปรตีนเป็นผลพลอยได้จากการแยกเอาเคซีนออกไปผลิตเนยแข็ง

13.6.2 มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

13.6.3 มีปริมาณมากและราคาไม่แพง

#### 14. โปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนเป็นสารอาหารที่สำคัญของร่างกาย นอกจากจะช่วยทำให้ร่างกายเจริญเติบโต ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ โปรตีนยังช่วยให้การทำงานของอวัยวะต่างๆ เป็นไปอย่างปกติ แหล่งของโปรตีนที่สำคัญ คือ โปรตีนจากเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อ นม ไข่ เป็นต้น แต่เนื่องจากในปัจจุบัน โปรตีนจากเนื้อสัตว์มีราคาสูงมากขึ้น ดังนั้นโปรตีนจากแหล่งอื่นที่มีราคาถูก โดยเฉพาะถั่วเหลือง จัดว่าเป็นพืชตระกูลถั่วที่มีโปรตีนอยู่ในปริมาณสูงที่สุด เมื่อเทียบกับถั่วชนิดอื่นๆ

ถั่วเหลืองสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลายประเภท เพราะคุณสมบัติการใช้ประโยชน์ของโปรตีนถั่วเหลืองมีมากมาย ได้แก่ คุณสมบัติการละลาย คุณสมบัติในการจับน้ำ และน้ำมัน คุณสมบัติในการเกิดเจล คุณสมบัติในการเกิดอิมัลชันและความคงตัว รวมทั้งความสามารถในการเกิดฟองและความคงตัว ซึ่งผลิตภัณฑ์เจลจากโปรตีนถั่วเหลืองได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน

เจลเป็นลักษณะของแข็งกึ่งของเหลว การเกิดเจลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การเกิดเจลเนื่องจากความร้อนและการเกิดเจลโดยการใช้สารตกตะกอน โดยที่คุณภาพของเจลจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ซึ่งปัจจัยนี้แบ่งออกเป็น ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลือง เนื่องจากความร้อนและปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลืองโดยการใช้สารตกตะกอน ดังนั้นความเข้าใจในเรื่องของอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ต่อคุณภาพของเจลจะช่วยทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์เจลจากโปรตีนถั่วเหลืองให้มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของผู้บริโภคได้

## 14.1 การใช้ประโยชน์จากถั่วเหลือง

### 14.1.1 แป้งถั่วเหลือง ( Soy Flour )

เป็นการนำเอาถั่วเหลืองที่ผ่านการกระเทาะเปลือกแล้ว ซึ่งอาจมีไขมันอยู่เต็มหรือสกัดไขมันออกไปแล้วบ้างบางส่วน นำมาผ่านขั้นตอนการบดให้ละเอียด เพื่อให้ได้ขนาดมาตรฐานเป็นไปตามข้อกำหนดของ Soy Food Research Council ก็คือต้องมีแป้งถั่วเหลืองไม่น้อยกว่า 97% ที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานขนาด 100 mesh ได้หมด

แป้งถั่วเหลืองที่สกัดได้แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

#### 14.1.1.1 แป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม ( Full Fat Soy Flour )

ผลิตได้จากถั่วเหลืองที่ผ่านการกระเทาะเปลือกแล้ว นำมาผ่านลูกกลิ้งรีดให้เป็นแผ่นบาง จากนั้นผ่านความร้อนเพื่อทำลายกลิ่นถั่วและเอนไซม์ที่มีในเมล็ดถั่วแล้วจึงนำมาบดให้ละเอียดให้เป็นไปตามข้อกำหนด ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จะมีปริมาณโปรตีนประมาณ 40% และมีปริมาณไขมัน 18-20% เนื่องจากแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็มมีปริมาณโปรตีนและไขมันในปริมาณที่สูง จึงใช้ประโยชน์ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ อาทิเช่น นำนมถั่วเหลือง เครื่องดื่มผง เต้าหู้ เต้าฮวยหรือผสมกับธัญพืชชนิดอื่นในอาหาร

#### 14.1.1.2 แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน ( Defatted Soy Flour )

ผลิตได้จากถั่วเหลืองที่ผ่านการกระเทาะเปลือกแล้ว ให้ความร้อนจนมีความชื้นประมาณ 10% จากนั้นรีดให้เป็นแผ่นบาง แล้วสกัดเอาไขมันออกด้วย hexane หลังจากกำจัด hexane ออกไปแล้ว นำมาบดให้ละเอียด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณโปรตีนประมาณ 50% และมีปริมาณไขมันน้อยกว่า 1%

### 14.1.2.3 แป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันต่ำ ( Low Fat Soy Flour )

แป้งถั่วเหลืองที่มีไขมันต่ำได้จากการเติมไขมันเพิ่มลงไป แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันโดยทั่วไปจะมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 4.5 – 9%

### 14.1.3 Soy Protein Concentrate ( SPC )

มีโปรตีนประมาณ 70% ( dry basis ) เตรียมได้โดยการสกัดเอาน้ำตาลที่ละลายน้ำ เถ้า และสารอื่นๆ ( minor constituents ) ออกจาก defatted soy flakes หรือ soy flour ในทางการค้ามีวิธีการเตรียม SPC 3 วิธี คือ โดยการใช้ความร้อน, ใช้กรดเจือจางและ alcohol leach

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น ที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาด

| องค์ประกอบ                | ปริมาณ (%) |
|---------------------------|------------|
| โปรตีน ( N x 6.25 )       | 65 - 72    |
| ความชื้น                  | 3 - 7      |
| ไขมัน                     | 2          |
| เถ้า ( Ash )              | 4 - 7      |
| Crude Fiber               | 2.7 - 5    |
| PH, 1:10 water dispersion | 6.6 - 9    |
| คาร์โบไฮเดรต              | Absent     |
| color                     | Cream      |

ที่มา : พิชัย ( 2527 )

#### 14.1.4 Isolated Soy Protein ( ISP )

เตรียมได้โดยการสกัด soy flake ด้วยค่างหรือน้ำ แล้วนำไปคกตะกอนด้วยกรด นำ curd ที่ได้หลังจากการกรองหรือ centrifuge มาล้างน้ำ แล้วทำให้แห้งในรูป isoelectric form หรือจะนำ curd ไปทำให้เป็นกลางก่อนที่จะนำไปทำให้แห้งอยู่ในรูป water dispersible sodium proteinate ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ จะได้โปรตีนมากกว่า 90% ( dry basis )

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาด

| องค์ประกอบทางเคมี              | ปริมาณ (%) |
|--------------------------------|------------|
| โปรตีน                         | 92 – 94    |
| ความชื้น                       | 4 – 7      |
| Crude Fiber                    | 0.1 – 0.2  |
| เถ้า ( Ash )                   | 2 – 3.8    |
| PH, (1:10 aqueous dispersion ) | 6.8 – 7.1  |
| NSI                            | 85 - 95    |

ที่มา : พิชัย ( 2527 )

#### 14.3 ขั้นตอนการสกัดโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ( Liu, 1997 )

เริ่มจากการนำแป้งถั่วเหลืองที่มีการสกัดเอาไขมันออกไปแล้ว และมีอัตราการละลายของโปรตีนหรือค่า Nitrogen Solubility Index (NSI) สูงมาละลายในน้ำ ( NSI เป็นค่าที่ใช้วัดปริมาณของไนโตรเจนที่สามารถละลายน้ำได้ต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และเป็นค่าที่แสดงปริมาณโปรตีนที่ยังไม่ถูกทำลาย ) จากนั้นปรับ

ให้อยู่ในสถานะที่เป็นค่าเล็กน้อย (pH 7-9) ด้วยค่าเจือจาง แล้วแยกส่วนที่ไม่ละลายน้ำออกไปโดยการกรอง ปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง Isoelectric Region (pH อยู่ในช่วง 4.5) ด้วยกรด โปรตีนส่วนใหญ่จะตกตะกอน กรองตะกอนออกแล้วล้างน้ำ จากนั้นนำไปอบจนแห้ง (ความชื้น 4-7%) จะได้ Soy Protein Isolate ที่อยู่ในรูป Isoelectric Form แต่ถ้านำตะกอนที่ล้างน้ำแล้วไปปรับ pH ให้เป็นกลาง แล้วนำไปทำให้แห้ง จะได้โปรตีนถั่วเหลืองสกัดในรูปของ Proteinate Form ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ดีกว่า และสามารถที่จะนำมาใช้งานในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ ได้สะดวกกว่า เนื่องจากง่ายต่อการรวมตัวในอาหาร

#### 14.4 สมบัติของโปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนถั่วเหลืองนอกจากจะให้คุณค่าทางโภชนาการแล้ว ยังมีสมบัติพิเศษบางประการที่ช่วยให้อาหารมีลักษณะและคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค อาทิ ดูดกลืนน้ำได้มากทำให้ผลิตภัณฑ์ชุ่มน้ำ และลดการเสียน้ำหนักระหว่างให้ความร้อน เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบมีขั้ว โดยเฉพาะบริเวณพันธะ peptide บังคับที่มีผลต่อความสามารถในการดูดกลืนน้ำ ได้แก่ pH อุณหภูมิ และปริมาณเกลือ โดยโปรตีนดูดกลืนน้ำได้มากขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 5.0 เป็น 7.0 หรืออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิประมาณ 90°C ในทางตรงกันข้ามหากมีเกลือในระบบ โปรตีนจะดูดกลืนน้ำได้น้อย

การให้ความร้อนสารละลายโปรตีนถั่วเหลืองสกัดความเข้มข้นมากกว่า 7% ที่อุณหภูมิสูงกว่า 65°C โปรตีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพและมีการเชื่อมกันระหว่างโมเลกุล ทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อทำให้เย็นจะเกิดเป็นเจล หรือโครงสร้างตาข่ายที่สามารถกักเก็บน้ำและไขมันได้ ความแข็งแรงของเจลขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารละลายโปรตีน อุณหภูมิและเวลาการให้ความร้อน ส่วน pH ก็มีผลกับความเข้มข้นของเจลเช่นกันที่ pH 1.2, 2.0 และ 10.0 เจลมีความแข็งแรงต่ำ และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ pH เป็นกลางหรือค่าอ่อน การเติม lecithon จากถั่วเหลือง แป้งสาลี carboxymethyl cellulose หรือ carrageenan ทำให้ความหนืดของสาร

ละลายโปรตีนทั้งก่อนและหลังให้ความร้อนเพิ่มขึ้น การให้ความร้อนแก่สารละลายโปรตีนที่มีปริมาณเกลือต่างกันที่อุณหภูมิสูงกว่า  $70^{\circ}\text{C}$  ความหนืดของเจลจะลดลงเมื่อปริมาณเกลือเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $70^{\circ}\text{C}$  จะให้ผลตรงข้ามกัน โดยความหนืดของเจลเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเกลือเพิ่มขึ้น หากมีสารที่สลายพันธะ disulfides เช่น sodium sulfite cystein จะทำให้ความหนืดของสารละลายโปรตีนลดลง ( วิลรัตน์ , 2535 )

#### 14.5 เจลและการเกิดเจล ( Gels and Gelation )

##### 14.5.1 ความหมายของเจล

เจล หมายถึง โครงสร้างของระบบคอลลอยด์ที่ไม่แสดงการไหล เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยของเหลวและของแข็ง โดยมีของเหลวทำหน้าที่เป็นตัวกลาง และของแข็งที่มีอยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห (network) การเกิดโครงสร้างของเจลขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแรงดึงดูด (attractive forces) และแรงผลัก (repulsive forces) ระหว่างอนุภาคของคอลลอยด์ด้วยกันเอง และระหว่างอนุภาคของคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลว ( Schmidt, 1981, Ziegler and Foegeding, 1990 )

พันธะทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการรักษาโครงสร้างของเจล ได้แก่

- พันธะไฮโดรเจน
- พันธะโควาเลนต์
- พันธะไอออนิก
- แรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก

##### 14.5.2 การเกิดเจล ( gelation )

การเกิดเจล เป็นการเกิดโครงสร้างที่มีระเบียบขององค์ประกอบต่างๆ หากแรงผลักมีมากกว่าแรงดึงดูดจะไม่เกิดโครงสร้างของเจลขึ้น หากแรงดึงดูดภายในโครงสร้างมีมากกว่าแรงผลัก โครงสร้างที่ได้จะไม่ยุ่ยน้ำ หรือเกิดการสูญเสียของเหลวภายในโครงสร้างได้ง่าย และเรียกการเกิดโคแอกูแลม ( coagulation ) เพราะมีโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ สามารถแบ่งเป็นโครงสร้างของเจลได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก. แมคโครโมเลกูลาร์เจล ( macromolecular gel ) เจลจากคาร์โบไฮเดรต เช่น คาร์ราจีแนน แอลจิเนต รวมทั้งเจลจากโปรตีนบางชนิดที่สามารถคลี่เป็นสายยาว เช่น เจลาติน การเกาะเกี่ยวกันของเจลประเภทนี้มี 2 แบบ คือ อาจเกาะกันที่จุดใดจุดหนึ่ง หรือเกาะกันที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งซึ่งเรียก junction zone เจลประเภทนี้มีกใส มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี แม้มีความเข้มข้นของสารที่ทำให้เกิดเจลต่ำๆ

ข. พาร์ติเคิลเจล ( particle gel ) เจลจากโปรตีน เช่น เคซีนและเคซีนเนต โปรตีนเวย์ โปรตีนถั่วเหลือง โปรตีนไข่ เป็นต้น การเกาะเกี่ยวกันของอนุภาค ( particle ) เกิดได้ 2 แบบ คือ เป็นสายยาว ( string of beads ) หรือเป็นกลุ่มก้อน ( random aggregation ) โครงสร้างของเจลแบบที่เกาะกันเป็นสายยาวมักให้เจลใส หรือโปร่งแสง ( translucent gel ) มีความสามารถในการอุ้มน้ำดี โครงสร้างของเจลแบบที่เกาะกลุ่มกันมักให้เจลขุ่น ทึบแสง ( opaque gel ) และมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่าเจลชนิดอื่น

### 14.5.3 กลไกการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลือง

14.5.3.1 กลไกการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลืองเนื่องจากความร้อนประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายโปรตีนอย่างเพียงพอ จะทำให้สารละลายเปลี่ยนสภาพไปเป็น Progel โดยที่ความร้อนจะทำให้โครงสร้างทุติยภูมิ และตติยภูมิของโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ซึ่งผันกลับไม่ได้

ขั้นตอนที่ 2 การฟอร์มตัวเป็นเจลเกิดขึ้นเมื่อทำให้ Progel เย็นลงซึ่งจะขึ้นอยู่กับการควบคุมการรวมตัวของโมเลกุลโปรตีนจนกระทั่งสารละลายเกาะติดกันเป็นร่างแหสามมิติ ขั้นตอนนี้ผันกลับได้ ถ้าเจลได้รับความร้อนใหม่จะเปลี่ยนสภาพเป็น Progel แต่ถ้า Progel ได้รับความร้อนมากเกินไป หรือที่อุณหภูมิ 257°F (125°C) จะไม่ทำให้เกิดเจลเมื่อเย็นลงแต่จะเกิดเป็น Metasol

### 14.5.3.2 กลไกการเกิดเจลของโปรตีนจากถั่วเหลืองโดยการใช้สารตกตะกอน

ขั้นตอนที่ 1 โมเลกุลของโปรตีนถั่วเหลืองซึ่งปกติมีลักษณะทรงกลม เมื่อถูกความร้อนจะทำให้ถูกทำลายสภาพธรรมชาติ (denaturation) ทำให้โมเลกุลที่เคยแน่นมีการคลายตัวออก เป็นผลให้ส่วนของโปรตีนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มีโอกาสกระจายตัวออกมาด้านนอกโมเลกุล เกิดการสร้าง hydrophobic bonding ระหว่างโมเลกุลของโปรตีน

ขั้นตอนที่ 2 เนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนที่ถูกทำลายทำลายสภาพธรรมชาติ (denaturation) มีประจุรวมเป็นลบ (Kohyam and Nishinari, 1993) ประจุบวกที่ได้จากโปรตอนของ GDL หรือแคลเซียมอ็อกไซด์ ซึ่งเป็นสารตกตะกอนที่เติมลงไปจะทำให้โมเลกุลของโปรตีนมีสภาพเป็นกลาง (neutral) เป็นผลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้มีการสร้าง hydrophobic bonding ระหว่างโมเลกุลที่เป็นกลางเหล่านี้เกิดการฟอร์มของ aggregate เกิดโครงร่างแห (Network Structure) ที่สามารถเก็บกักน้ำเวย์เอาไว้ได้ อย่างไรก็ตามโมเลกุลของโปรตีนถั่วเหลืองประกอบด้วย กรดอะมิโนหรือ side chain ที่มีค่า Isoelectric point ต่างกัน การเกิดพันธะระหว่างประจุ - ประจุ (Charge-charge interaction) อาจจะมีส่วนเกี่ยวข้องบ้างกับการเกิดเจล

## 15. ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 15.1 Mechanism and reduction of fat uptake in deep – fat fried food

#### บทคัดย่อ

กว่า 5 ปีมาแล้วที่ได้มีการเพิ่มความต้องการของผู้บริโภคในอาหารทอดที่สามารถลดปริมาณไขมันได้ จึงได้มีการวิจัยเกิดขึ้นในเรื่องการลดปริมาณการซึมผ่านของไขมันในระหว่างที่ทอดด้วยน้ำมันมาก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่า ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่จะเกิดจากโครงสร้างที่มีผลทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มสูงขึ้น จึงนำมาซึ่งการปรับปรุงทางด้านเทคนิคต่าง ๆ ให้ดีขึ้น แล้วในที่สุดก็พบว่า ปริมาณไขมันที่

เพิ่มขึ้นจะสามารถอธิบายได้จากโครงสร้างโดยพื้นฐาน 2 ชนิด คือ ผลกระทบจากการทำให้ลดลงและผลกระทบที่บริเวณรูเล็ก ๆ จากสิ่งตีพิมพ์และจากสถิติบัตรจะพบว่าการลดปริมาณไขมันลงส่วนใหญ่จะมีการกำหนดสารที่ใช้ในการเคลือบและการเคลือบด้วยส่วนผสมที่ทำจากแป้ง นมและไข่ โดยการใช้ไบโอพอลิเมอร์หลากหลายชนิด

### บทนำ

ในอาหารที่ทอดด้วยน้ำมันมากเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในการทอดด้วยไขมันจะพบว่า เนื้อสัมผัสของอาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผิวที่แห้งและกรอบแข็ง , ผิวด้านในอ่อนนุ่ม รสชาติของอาหารทอดจะเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่บริเวณผิว

อย่างไรก็ตามที่ระดับนัยสำคัญปริมาณไขมันในอาหารทอด ในบางกรณีจะมีปริมาณไขมัน 1/3 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ความอึดตัวของไขมันที่ระดับสูงจะทำให้เน่าใจได้ แต่อาจจะเกิดความเสียหายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทศวรรษล่าสุดได้มีการยอมรับถึงการลดลงของปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ที่ทอดด้วยน้ำมันมาก ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ไขมันที่อึดตัวจากสัตว์จะส่งผลทำให้อ้วนเกินไปและเกิดการอุดตันของเส้นเลือดในหัวใจหรืออาจเกิดอาการหัวใจวาย จากงานวิจัยฉบับนี้จะมีจุดมุ่งหมายไปที่โครงสร้างของไขมันที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เทคโนโลยีที่มีอยู่ก็สามารถใช้ตรวจสอบถึงการลดลงของปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น

### กระบวนการผลิตอาหารที่ทอดด้วยน้ำมันมาก

ในอาหารที่ทอดด้วยน้ำมันที่ร้อนจะทำให้ผิวหนังของอาหารมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำที่ผิวหนังของอาหารเกิดการระเหย ส่วนน้ำมันที่อยู่บริเวณรอบ ๆ อาหารจะเย็นลง ถ้าปริมาณอาหารที่ถูกเพิ่มเติมนลงไปเกินกว่าระดับวิกฤต จะทำให้อุณหภูมิในการทอดมีความสำคัญกับผลกระทบที่จะเกิดขึ้น จากจุดเดือดเริ่มต้นของอาหาร จะพบว่า การถ่ายเทความร้อนจะทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการระเหยของไอน้ำ ในระหว่างที่มีการระเหยจะทำให้ผิวหนังของอาหารแห้ง การระเหยจะทำให้

เกิดการหดตัวและที่บริเวณผิวหนังจะเกิดฟองอากาศและไม่เรียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การระเหยนี้จะทำให้เกิดรูที่มีขนาดใหญ่

น้ำที่มีอยู่ในอาหารจะถูกให้ความร้อนและผ่านการเตรียมอาหาร ในอาหารที่ผ่านการทอดที่ใช้ระยะเวลาานกว่า จะทำให้ปริมาณความชื้นที่ผิวลดลงอย่างช้า , ปริมาณของไอน้ำที่ลดลงจะเกิดฟองอากาศที่บริเวณผิว อุณหภูมิที่ผิวหนังจะสูงกว่าอุณหภูมิที่จุดเดือดของน้ำ ในบางครั้งเคมีเชิงฟิสิกส์นี้จะสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (การรีโทรกราเดชันของแป้ง , ปฏิกริยาเมลลาร์ด , การส่งผ่านของความเงา) สิ่งนี้จะทำให้เกิดผลประโยชน์ในด้านของคุณสมบัติของออร์แกโนเลปติกและสีที่บริเวณเปลือกของอาหาร มักเกิดในอาหารที่มีขนาดใหญ่ เช่น เฟรนช์ฟรายด์หรือลูกชิ้น นั้นอุณหภูมิที่ใช้นั้นจะไม่สูงเกินกว่า 100 ° เซลเซียส สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการทอด มันฝรั่งนั้นจะสูงกว่า

ในระหว่างการทอดจะไม่มี การระเหยของไอน้ำ แต่ในองค์ประกอบอื่น ๆ ของอาหารจะไปทำให้เกิดปริมาณไขมัน จึงทำการรวมอาหารที่ทอดด้วยอุณหภูมิสูง และอาหารที่สามารถเก็บได้ยาวนาน จะทำให้เกิดการลดปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นจากการทอด

ปริมาณ ไขมันที่เพิ่มขึ้น

#### บทนำ

ในระหว่างที่ทำการทอดน้ำที่บริเวณผิวจะเกิดการระเหยและมีการเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร การไหลของไอน้ำนั้นจะเกิดอย่างต่อเนื่อง , ปริมาณน้ำที่เพียงพอที่จะย้ายออกจากอาหาร ไปสู่บริเวณเปลือกและบริเวณผิวที่เกิดการซึมผ่านได้ ที่จริงแล้วไอน้ำไม่มีประโยชน์ต่อไขมันแม้แต่น้อย จากเหตุผลที่ว่าปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นจะมีปริมาณมากสามารถอธิบายได้โดยอาศัยปริมาณความชื้นในอาหาร ( Gamble, Rice,&

Selman, 1987a; Lamberg, Hallstrom, & Olsson, 1990; Mehta & Swinburn, 2001; Saguy & Pinthus, 1995; Southern, Chen, Farid, Howard, & Eynes, 2000).

ในขณะที่เดียวกันในส่วนของอาหารก็จะมี การสูญเสียความชื้นไปมากเช่นเดียวกับปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น (Gamble, Rice, & Selman, 1987b). ในบางครั้งได้มีการให้เหตุผลว่า ปริมาณไขมันทั้งหมดจะเท่ากับปริมาตรที่เคลื่อนออกไปตามกฎทรงมวล (Pinthus, Weinberg, & Saguy, 1993).

จากการทดสอบทางอ้อมการระเหยของน้ำที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดอันตรายอย่างมากที่บริเวณเปลือกจะพบได้ โดยการสังเกตความสามารถในการให้ของเหลวไหลผ่านและปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันก็สามารถอ้างอิงถึงปริมาณความชื้นที่ระดับเวลาต่าง ๆ ในระหว่างที่ทอดด้วยน้ำมันมาก (Moreira, Palau, & Sun, 1995; Southern et al., 2000).

ในระหว่างที่ไขมันสามารถทะลุผ่านเข้าไปในบริเวณที่มีการระเหยของน้ำใน ส่วนของการซึมผ่านของไขมันที่เกิดขึ้นในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงและในบริเวณนี้จะมีปริมาณไขมันมากเนื่องจากในเวลาทอดไขมันจะสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ยากและโครงสร้างที่เปลือกก็จะเป็นส่วนหลักที่จะทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น (Pinthus, Weinberg, & Saguy, 1995a). ซึ่งแสดงให้เห็นได้โดยการใช้ แคลอรีเมตรี (Aguilera & Gloria, 1997). ที่บริเวณผิวของมันฝรั่งทอดจะมีการซึมผ่านของน้ำมันเข้าไปถึง 6 เวลา ส่วนรายละเอียดมากกว่านั้นที่ได้ทำการศึกษาโดย Bouchon, Hoolins, Pearson, Pyle and Tobin (2001). พวกเขาได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดนั้นจะสามารถวัดอัตราการซึมผ่านของไขมันในมันฝรั่งที่ระดับความลึกประมาณ 300-400 ไมโครเมตร ซึ่งในระดับนี้จะไม่สามารถระเหยไปด้านนอกได้

จากเหตุผลของกฎทรงมวล ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้ไขมันสะสมอยู่ที่ผิวหน้า และอีกเหตุผลหนึ่งจะเกิดการสะสมไขมันในรูปของฮาร์ดสต็อกและในรูปของแข็ง

เพราะว่าการทอดด้วยน้ำมันจะมีส่วนทำให้เกิดการแข็งตัวของไขมันในระหว่างการทำให้เย็น ถ้าไขมันถูกทำให้เป็นของแข็ง จะส่งผลทำให้เกิดการระบายนหรือการสั่นตัวจากอาหารได้ยาก ( ซึ่งจะทำให้ปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มขึ้น ) หรืออาจทำให้ไขมันเกิดการซึมผ่านเข้าไปในผิวของอาหาร ( จะส่งผลทำให้ปริมาณไขมันในอาหารเพิ่มขึ้น ) จากการพิจารณาพบว่า ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดเท่ากับผลรวมของปริมาณไขมันที่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเปลือกและปริมาณไขมันที่เป็นผลึกที่ผิวหน้า

### โครงสร้างของการกลั่นตัว

ในทอทิลล่าชิปจะมีปริมาณของไขมันที่อยู่ด้านในหลังการทอด 20 % , จะมีปริมาณของไขมันที่อยู่บริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์คงเหลืออยู่ 80 % ส่วนอีก 64 % ของปริมาณไขมันจะสามารถดูดซึมเข้าไปภายในผลิตภัณฑ์หลังจากการทำให้เย็น ( Moreira, Sun, & Chen, 1997 ). Utheil and Escher ( 1996 ) ได้ทำการย้อมสีของน้ำมันที่ผ่านการทอดเสร็จแล้วและพบว่า สีที่เข้มข้นมากกว่า 80 % ของน้ำมันในมันฝรั่งจะถูกดูดซึมหลังจากที่อาหารเคลื่อนที่ออกจากไขมัน เงื่อนไขของการเคลื่อนที่ไขมันออกจากน้ำมันจะพบว่า ไขมันจะเคลื่อนที่เข้าสู่ศูนย์กลางในช่วงที่มีปริมาณไขมันมาก ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในระหว่างการสั่นและการระบายนของน้ำมัน ( เป็นของเหลวและไม่สามารถดูดได้ด้วยรูเล็ก ๆ ) เป็นที่รู้กันว่า ปลกระทะขนาดใหญ่ที่มีปริมาณไขมันทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น

ในระหว่างการเก็บในรูปของฮาร์ดสต็อก จากการสังเกตปริมาณไขมันปรากฏว่า ปริมาณไขมันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากทำอาหารผ่านการทอดจะสามารถอธิบายได้ โดยการทำให้ไขมันในรูปของฮาร์ดสต็อก ถ้าไม่อยู่ในรูปของฮาร์ดสต็อก ( ผลกระทบก็จะยังมีอยู่ ) จากการสังเกตจะสามารถอธิบายได้ตามความต้องการของโครงสร้างของการกลั่นตัว

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณความชื้นของไอน้ำจะสูงทำให้อาหารนั้นเกิดครุหรือเกิดช่องว่างในอาหารซึ่งเกิดจากความดันที่อยู่ในอาหารที่มีปริมาณมากจึงทำให้เกิดรูอากาศเล็ก ๆ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าน้ำมันไม่สามารถระบายนออกจากอาหารได้

อุปสรรคของการระบายไอน้ำอาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งในบางที่จะเกิดหลังจากที่ไขมันเกิดการเคลื่อนย้ายเข้าสู่อาหาร หลังจากที่เกิดการเคลื่อนย้ายแล้ว อุณหภูมิก็จะลดลงและไอน้ำที่บริเวณผิวจะเกิดการรวมตัวกันแน่น – ความดันที่มากเกินไปก็จะถูกทำให้อยู่ภายใต้ความดันปกติ ส่วนใหญ่ที่บริเวณผิวจะมีรูเล็ก ๆ จะถูกเติมให้เต็มด้วยไอน้ำ ( สมมติว่าในรูเล็ก ๆ ไม่สามารถสัมผัสกับอากาศได้ – ฟิล์มจากไขมันจะป้องกันในส่วนนี้ได้ดีที่สุด ) ซึ่งน้ำมันจะถูกทำให้แทรกเข้าไปอยู่ในบริเวณรูเล็ก ๆ ( Rice & Gamble, 1989 ). ผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่า น้ำมันจะสามารถซึมผ่านเข้าไปที่บริเวณผิว โดยจะซึมเข้าไปที่บริเวณผิวโดยอาศัยรูเล็ก ๆ หรือช่องว่างของผลิตภัณฑ์จะสามารถทำได้ โดยการระเหย ( Mehta & Swinburn, 2001 ; Rice & Gamble, 1989; Saguy & Pinthus, 1995 ). โครงสร้างของการกลั่นตัวจะเกิดพลังงานสูง เพราะว่าอาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยาโดยไม่คำนึงถึงลักษณะที่เปียกโชกและแรงดันที่บริเวณรูเล็ก ๆ

จากที่ได้ทำการทดลองจะพบว่า จากการทดสอบโดยตรงจะพบว่าโครงสร้างของการกลั่นตัวจะสามารถเกิดได้ยาก ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จาก Rice and Gamble (1989), Southern et al. (2000) and Bouchon et al. (2001). จะเห็นได้ว่า ส่วนใหญ่จะใช้ความคิดเห็นส่วนตัว จากหลักฐานจะเห็นได้ว่า ชี้นของอาหารส่วนใหญ่จะมีการซึมผ่านของน้ำมันหลังจากที่เกิดการเคลื่อนย้ายเข้าสู่อาหารและที่ผิวหน้าของอาหารจะมีปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นในทางกลับกัน (ซึ่งสามารถทำให้เท่ากันโดยอาศัยการสร้างจากรูที่บริเวณผิวที่มีความแตกต่างกันที่ปริมาณความชื้นสูง ๆ )

จากรายละเอียดจะเห็นได้ว่า โครงสร้างของการกลั่นตัวอาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญสำหรับตัวอย่างตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาการทอดสั้นและตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ ถ้าจะใช้เวลาในการทอดนานกว่าจะทำให้มีปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นในระดับที่เหมาะสมมากกว่า ( O'Conner, Fisk, Sun, & Melton, 2000 ) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากที่บริเวณผิวจะแห้งและมีไอน้ำไหลออกมาภายใต้สภาวะที่น้ำมันสามารถเพิ่มปริมาณก่อนที่อาหารจะผ่านการทอดด้วยไขมันและจะสามารถเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่อาหารมีชิ้นเล็กมักจะใช้น้ำมันฝรั่งทอดกรอบแผ่นบาง ในส่วน

ของการให้ความร้อนจะมีความรุนแรงมากกว่าและกระบวนการทำแห้งจะทำให้เสร็จได้ง่าย

โครงสร้างที่เกิดขึ้นที่บริเวณรูเล็ก ๆ

ในระหว่างและหลังการทอดจะสามารถทำได้ ในสถานการณ์ที่หลากหลาย ที่ระดับของรูเล็ก ๆ จะมีผลกระทบต่อ การซึมผ่านของไขมันซึ่งจะมีทั้งหมด 4 สถานการณ์

น้ำมันจะไม่สามารถซึมผ่านรูเล็ก ๆ จะเก็บกักน้ำเอาไว้และจะทำให้ไขมันซึมผ่านเข้าไปได้ยาก จากกระบวนการทอดจะเห็นได้ว่า ลักษณะพิเศษของการที่ไม่ชอบรวมตัวกับน้ำ จะเป็นลักษณะที่เหมาะสมน้อยมาก แต่จะไม่ชอบให้เปลี่ยนเป็นสภาวะเปียก ส่วนเพิ่มเติม , น้ำที่อยู่บริเวณรูเล็ก ๆ จะไม่สามารถซึมผ่านได้และน้ำมันบางส่วนจะคั่งขึ้นแล้วเข้าไปแทนที่ในส่วนของน้ำ การที่น้ำมันไม่สามารถซึมผ่านได้นั้นอาจเกิดขึ้นได้ ถ้าบริเวณรูเล็ก ๆ ถูกเติมให้เต็มด้วยน้ำ ที่บริเวณรูเล็ก ๆ จะถูกเติมให้เต็มด้วยไอน้ำ ซึ่งไอน้ำนี้จะสามารถพิจารณาจากลักษณะที่ไม่ชอบรวมตัวกับน้ำและอาหารจะถูกทำให้เปียกด้วยน้ำมันได้ดีกว่าไอน้ำ การทำให้เปียกจะทำให้แรงดึงที่เกิดขึ้นที่ผิวเกิดความเท่าเทียมกัน และลักษณะจำเพาะเจาะจงของน้ำมัน แรงดึงที่ผิวหน้าของอาหาร ( $\gamma_s$ ) จะสามารถมีผลทำให้ปริมาณไขมันมีค่าเพิ่มขึ้น แรงดึงที่ผิวหน้าของอาหารจะสามารถลดปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะอ้างอิงได้จาก Pinthus and Saguy (1994), สมการที่ได้มีดังนี้

$$\text{ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น (\%)} = \frac{a}{(\gamma_s)^b}$$

โดยที่ค่า a , b เป็นค่าคงที่เอมไพริคัลซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะของขนาดของรูที่มีความหลากหลาย ค่า  $\gamma_s$  จะสามารถวัดได้ยากและถ้าสามารถวัดได้ด้วยตัวควบคุม

ความดันในท่อเล็ก ๆ ที่รัศมีของรูพรุน( ซึ่งจะสามารถอธิบายได้โดยแรงที่ใช้ดึงให้ผิวหน้าเกิดความเท่าเทียมกัน ) และโดยค่า  $\gamma_{lg}$ ;

$$P = \frac{2\gamma_{lg} \cos\theta}{R}$$

จากสมการด้านบนจะเห็นได้ว่ารัศมีขนาดใหญ่และมุมที่ใช้เชื่อม ( $\theta$ ) จะมีขนาดใหญ่กว่า  $90^\circ$  ซึ่งจะทำให้แรงดันที่บริเวณท่อเล็ก ๆ มีปริมาณน้อยมาก ( Saguy & Pinthus, 1995 ). ที่ระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ( Ohta, Udagawa, Imoto & Kusawa, 1978 ),  $\gamma_{lg}$  จะแสดงให้เห็นว่าที่บริเวณผิวจะลดในเรื่องของตัวกลางทำให้เกิดการรวมตัวกับน้ำ , สามารถเข้ากับฟอสโฟลิพิดได้ ( Gil & Handel, 1995 ; Mellena & Benjamins, 2003 ).

เงื่อนไขของการซึมผ่านในน้ำมันจะพบได้โดยจะแทนที่ด้วยความเร็ว (  $v$  ), อาศัยความหนืดของน้ำมัน , สมการมีดังนี้

$$V = \frac{r^2 P}{8 \ln}$$

ให้  $l$  เป็นความลึกของรูที่สามารถซึมผ่านได้ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าที่ความหนืดสูงกว่าขนาดของรูที่มีขนาดเล็กกว่าจะสามารถลดปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นในบริเวณรูที่เกิดขึ้นและความเร็วในการซึมผ่านของไขมันในอาหารจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

จากงานวิจัยต่าง ๆ มากมายได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความสำคัญของขนาดของรัศมีของรูและความลึกของรูที่เกิดขึ้นซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า ในทอลทิลล่าชิปจะทำให้รูที่มีขนาดเล็กมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นมากกว่าที่มีรูขนาดใหญ่ ( Moreira et al., 1997 ) จะแสดงให้เห็นว่า รัศมีโดยประมาณ 1 ไมโครเมตรจะทำให้สามารถเปรียบเทียบ

ความดันได้เทียบเท่ากับความดันบรรยากาศ ซึ่งจะหมายความว่า ที่รัศมีน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร , ความดันที่เกิดขึ้นที่บริเวณรูเล็ก ๆ จะทำให้ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นมีปริมาณมากขึ้น ถึงแม้ว่า ที่บริเวณรูจะถูกเติมให้เต็มด้วยไอน้ำ ระดับความลึกของรูจะสามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณไขมันที่สามารถซึมผ่านได้ลึกมากที่สุด แต่ที่จริงแล้วจะมีรูทางเดินสำหรับน้ำมันที่จะผ่านเข้าสู่ช่องเล็ก ๆ ที่เรียงต่อกันเป็นแนวยาวจะทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งจะอาศัยชนิดของอาหารประกอบการพิจารณา ที่บริเวณผิวจะทำให้ความสามารถในการไหลผ่านของของเหลวจะปิดทำให้เกิดการสะท้อนเป็นเงาที่บริเวณผิวไม่ราบเรียบ จะเห็นได้ว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันที่บริเวณที่ไม่ราบเรียบจะทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมัน ( Saguy & Pinthus, 1995 ).

จากสถานการณ์ด้านบนจะพบว่า ตรงกับ 2 สถานการณ์ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ สถานการณ์ขั้นพื้นฐานนั้นจะเหมือนกันการเติมไอน้ำเข้าไปที่บริเวณรู ( สมมติว่า ฟองอากาศของไอน้ำจะสามารถหนีและไม่สามารถคักไว้ได้

การกลั่นตัวของไอน้ำที่บริเวณรูจะมีแรงเพิ่มเติมที่สามารถทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งจะตรงกับสถานการณ์ทั้งหมด ที่บริเวณรบนเปลือกลูกนี้จะสามารถกักเก็บไอน้ำไว้ได้ จากการบันทึกพบว่าไอน้ำจะแสดงให้เห็นแบบปกติหรือแบบระหว่างเวลาการทอด ( ระยะเวลาการทอดสั้น – จะไม่มีการระเหย ระยะเวลาานาน – จะทำให้แห้งเกินไป ) ผลกระทบของการกลั่นตัวจะสามารถทำให้ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นมีปริมาณมาก หลังจากที่ไขมันสามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในอาหารทอด ถึงแม้ว่าจะมีผลกระทบที่บริเวณรูเล็ก ๆ ก็จะมีผลกระทบน้อยที่สุด

การลดลงของปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น

ในส่วนที่แล้วจะพูดถึงเส้นทางที่สามารถเกิดขึ้นได้เกี่ยวกับการลดลงของปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นในอาหารที่ทอดด้วยน้ำมันมากซึ่งได้ถูกกล่าวถึง โดยเส้นทางพื้นฐานจะสามารถตัดสินใจใน 3 ส่วนต่อจากนี้ในการเปลี่ยนแปลงเทคนิคการทอด

ตั้งแต่ไขมันส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นหลังจากที่ไขมันเคลื่อนที่เข้าสู่อาหาร , เจือนไขมันมีอยู่ว่าหลังจากที่อาหารผ่านการทอดแล้วจะเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น สิ่งที่ผู้บริโภคทำเป็นประจำในระหว่างที่ไขมันเคลื่อนที่เข้าสู่อาหารจะเป็นสิ่งที่มีบทบาทใหญ่มาก ตัวอย่างเช่น สิ่งที่เหมาะสมกับอาหารคือการเขย่าและการทำให้แห้ง , อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทอดและช่วงระยะเวลาที่เป็นเทคนิคที่สำคัญที่จะทำให้ปริมาณไขมันในอาหารลดลง จากการพิจารณาโดย Mehta and Swinburn ( 2001). ได้ให้ข้อสรุปที่ดีเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นจะสามารถควบคุมโดยผู้บริโภคและจะได้จากการตัดสินใจอย่างละเอียดถี่ถ้วน จากการบันทึกพบว่าปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยจะช่วยในการตัดสินใจ ถึงแม้ว่าจะมีผลกระทบต่อปัจจัยคุณภาพอื่น ๆ การเคลือบและสิ่งทีนำมาใช้ในการทอด

ตั้งแต่ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นจะมีบทบาทต่อพื้นที่รอบ ๆ อาหาร ซึ่งจะแสดงให้เห็นได้จากรูปร่างของอาหารจะส่งผลกระทบต่อปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด ตัวอย่างเช่น เฟรนช์ฟรายด์จะสามารถหนีจากการนำก้อนใหญ่มาหั่นเป็นแผ่นบางหรือหั่นเป็นรูปทรงกระบอกหรือที่บริเวณผิวไม่ราบเรียบจะสามารถลดปริมาณไขมันโดยจะควบคุมคุณภาพของการหั่นบาง ๆ ชนิดของเทคนิค จะพบว่า มีความพิถีพิถันมากกว่า ( Lamberg et al.,1990; Moreira et al.,1995; Saguy, Ufehil, & Living , 1998.)

คุณสมบัติที่ทำให้บริเวณผิวของอาหารเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุดสำหรับการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมัน , การนำมาใช้ในการเคลือบน่าจะเป็นหนทางที่ประสบความสำเร็จ การเคลือบจะสามารถทำให้บางและทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้ ( Gennadios, Haanna, & Kurth, 1997 ) หรือทำให้หนาด้วยสิ่งทีนำมาใช้ในการทอด จะมีทางเลือกต่าง ๆ มากมายที่ทำให้สามารถลดปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นได้โดยสิ่งทีนำมาใช้ในการเคลือบหรือสิ่งทีนำมาใช้ในการทอด โครงสร้างของการทำนั้นจะไม่สามารถอธิบายให้กระจ่างได้ ถึงแม้ว่าในบางเวลาจะใช้ประโยชน์จากการใช้งานมาเป็นเหตุผลลักษณะการเคลือบได้มีการกล่าวถึงบ่อยครั้งในเรื่องของปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นนั้นจะ

ทำให้มีปริมาณความชื้นต่ำ , ปริมาณความชื้นที่สามารถซึมผ่านได้ต่ำ โครงสร้างของการเกิดเจลหรือการเชื่อมโยงกัน ลักษณะทั้งหมดจะมีจุดมุ่งหมายที่จะลดปริมาณการสูญเสียความชื้นและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของการฟอร์มตัวที่ผิวหน้าหลังการทอด

จากที่ได้กล่าวถึง ลักษณะเฉพาะหนึ่งอย่างจากสิ่งที่สามารถอ้างอิงได้ทั้งหมดที่ใช้สำหรับลดปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นที่ระดับของอาหารจะทำให้มีปริมาณความชื้นเกิดขึ้น ก่อนที่จะมีการทำแห้งอาหารซึ่ง ส่วนใหญ่มักจะใช้มันฝรั่ง เป็นวิธีทั่ว ๆ ไปที่ใช้ในการลดปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น ( Krokida, Oreopoulou, Maroulis, & Marinou , Kouris, 2001; Mehta & Swinburn, 2001 ) หลักการของเนื้อเยื่อค้ำนอกของอาหารจำเป็นที่จะต้องทำให้มีปริมาณความชื้นต่ำ ซึ่งสามารถจะทำได้โดยนำมาใช้กับการเคลือบที่ระดับความชื้นต่ำ โพลีเมอร์ที่ชอบน้ำจะสามารถเก็บน้ำไว้ในปริมาณมาก ในระหว่างการเคลือบเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากการเคลือบ ถ้าเราสามารถลดการสูญเสียน้ำได้นั้น ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นก็จะสามารถลดลงได้ด้วย ( Pinthus et al., 1993 ) ส่วนใหญ่การเคลือบด้วยพอลิเมอร์นั้นในทางการค้าจะพบว่า ได้มีการเรียกร้องให้มีการทำเพื่อลดปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นด้วยการเคลือบด้วยคาร์โบไฮเดรต ตัวอย่างเช่นการเคลือบด้วยเซอริน ( Herald, Hachmeister, Huang, & Bower, 1996 ) และการเคลือบด้วยเจลาแลนแกม ( Williams & Mittal, 1999a ) จะทำให้ลดปริมาณไขมันที่แผ่กระจายอยู่

การเคลือบบางวิธีจะทำให้อาหารมีความหนาแน่นมากกว่า ( Pinthus, Weinberg, & Saguy, 1992, 1995b ) โดยในกรณีนี้จะลดการระเหยที่จะเป็นอันตรายบ่อยครั้งที่มีการทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นซึ่งได้จากการเกิดด้วยความร้อนและเกิดการเชื่อมโยง ผลลัพธ์ที่ได้จากการเกิดเจลที่มีความแข็งแรงจะทำให้เกิดอันตรายจากการระเหยที่มีปริมาณน้อยและจากที่นี่จะทำให้เกิดการกระจายตัวของน้ำน้อยกว่า ( Pinthus et al., 1992 ) ซึ่งจะเสนอแนะด้วยการเกิดรูเล็ก ๆ จะมีลักษณะแคบลง จะทำให้ตรงจุดมุ่งหมายตรงที่ปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น เพราะว่าแรงดันที่บริเวณรูเล็ก ๆ สูง ( Moreira et al., 1997 ) การทำให้เกิดเจลด้วยความร้อนหรือการเชื่อมโยงจะสามารถบรรลจุดมุ่งหมายคือ แข็งและแน่น ต่การเคลือบนั้นจะเปราะขึ้น ซึ่งจะสนับสนุนการทำให้รูเล็ก ๆ มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยแรงดันในท่อเล็ก ๆ ต่ำ

## บทสรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงความก้าวหน้าของตัวกำหนดหลักจะสามารถอธิบายได้จากโครงสร้างของไขมันที่เพิ่มขึ้นในอาหารที่ทอดด้วยน้ำมันมาก จากการศึกษา ผลลัพธ์จะสามารถอธิบายได้ดังนี้

ในส่วนของอาหารมักจะใช้กับเฟนซ์ฟรายด์เป็นส่วนสำคัญที่อาหารที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันจะมีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น หลังจากที่มีการเคลื่อนย้ายออกจากอาหาร การลดลงของปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น โดยการระเหยออกจากอาหารทอดโดยทันทีหลังจากที่เคลื่อนย้ายออกจากส่วนกลางของอาหารทอดโดยการสัมผัสที่อุณหภูมิหลักในการลดปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นจะสามารถคาดหวังได้จากการเพิ่มขึ้นของผู้บริโภค ความหนืดของน้ำมันและการละลายของไขมันจะมีบทบาทต่อปริมาณไขมัน แต่ผลกระทบจะมีน้อยกว่าที่คาดหวังไว้ สิ่งนี้อาจจะเกิดขึ้นเพราะว่าโครงสร้างของการกลั่นตัวจะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างการกลั่นตัวของไอน้ำที่บริเวณรูเล็ก ๆ บนผิวของอาหาร ผลลัพธ์ที่ได้คือน้ำมันจืดคอยู่ที่อาหาร ซึ่งจะถูกลดซึมเข้าไปที่บริเวณช่องว่างที่บริเวณผิว ก่อนจะสามารถทำแห้ง

แรงที่ทำให้เกิดการกลั่นตัวจะสามารถอธิบายได้จากโครงสร้างที่บริเวณรูเล็ก ๆ แรงดันที่บริเวณนี้จะสามารถอธิบายได้โดย ความสมดุลของอุณหภูมิที่เปียกจากน้ำมันในบริเวณรูเล็ก ๆ ที่สำคัญในอาหารจะมีปริมาณน้ำอยู่สูงและน้ำมันที่ผิวหน้าจะเกิดการระเหยนั่นจะสามารถลดแรงดันที่บริเวณรูเล็ก ๆ และสามารถลดปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น แต่โชคไม่ดีตรงที่เทคนิคนี้จะเป็นเทคนิคที่ไม่สามารถใช้กับอาหาร ซึ่งทราบได้จากการทดลองนั้นจะเหมาะสมกับการเพิ่มขึ้นของค่าการยึดตัวที่ผิวหน้าเพียงพอที่จะใช้ในการใช้กับผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นการทำนายผู้ผลิตในการผลิตอาหารที่ทอดด้วยน้ำมันมาก

เพราะว่าส่วนใหญ่การซึมผ่านของไขมันในอาหารในบริเวณรูที่ผิวของอาหาร ซึ่งจะมีคุณสมบัติของโครงสร้างของเนื้อเยื่อค้ำนอกของอาหารทอดนั้นจะมีความสำคัญ ในส่วนต่อไปเป็นส่วนที่มีผลรุนแรงต่อการลดปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้นจะสามารถทำให้เรารู้เป้าหมายโดยการปรับปรุงเบ็ดเตล็ดที่ลักษณะของอาหาร โดยปกติการเคลือบจะมีปริมาณน้ำในระดับต่ำ และไบโอพอลิเมอร์เกิดการจับตัวกันหรือเกิดเจล การลดอันตรายจากการระเหยและสามารถควบคุมลักษณะที่บริเวณรูในระหว่างการระเหย แต่โชคไม่ดีตรงที่วิธีการเคลือบมีมากมายจะทำให้อาหารมีความแฉะเพิ่มขึ้น ในอนาคตอาจจะมีกิจกรรมที่อาจจะเน้นลง ไปตรงที่การลดปริมาณของไขมันที่เพิ่มขึ้น โดยปราศจากความยุ่งยากจากการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

#### 15.2 จากการศึกษาของ C.M.P. Yoshida และ A.J. Antunes

ได้ศึกษาถึงลักษณะของ whey protein emulsion films เมื่อการเติม Stearic acid เพิ่มลงไปในระดับที่ต่างกัน (0.0 – 1.0%) แล้วนำไปวิเคราะห์ที่ระดับ pH ต่างกัน (5.0, 6.0, 7.0 และ 9.0) พบว่าที่ระดับ pH 5.0 และ 6.0 จะเกิดการสูญเสียรูปร่างของฟิล์ม จะเกิดการเปราะ แตกหักง่าย ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และยังไม่สามารถจับได้อีกด้วย ดังนั้นจึงไม่นำมาพิจารณา ในการวิเคราะห์นี้จึงใช้ที่ระดับ pH = 7.0 และ 9.0 เท่านั้น

ในการเติม Stearic acid ลงไปใน whey protein films นั้นจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มได้ คือ จะช่วยลดการละลายของโปรตีน และยังช่วยลดการระเหยของน้ำอีกด้วย แต่คุณสมบัติทางกลไกของฟิล์ม (TS, E) จะลดลง และที่ pH = 9.0 การระเหยของน้ำ และการละลายของโปรตีน จะมีผลกระทบมากกว่าที่ pH = 7.0 ค่ากำลังต้านทานการดึง (TS) ที่ pH = 9.0 จะต่ำกว่าที่ pH = 7.0 ส่วนค่า %การยึดตัวที่ pH = 9.0 จะสูงกว่าที่ pH = 7.0

15.3 จากการศึกษาของ V.Mbalasubramaniam, M.S. Chinnan, P. Mallikarjunan และ R.D.Phillips

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อหาค่าที่เ็นผล จากการใช้ฟิล์ม HPMC เคลือบบนน้ดเกดไก่อเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น และลดปริมาณไขมันระหว่างทอดในน้ำมันท่วม ซึ่งน้ดเกดไก่อที่ใช้จะมี 2 ขนาด (35 และ 47 มม.) และมีทั้งที่ไม่ได้เคลือบฟิล์มและที่เคลือบฟิล์ม การทอดน้ดเกดไก่อจะทอดในน้ำมันถั่วลิสง ที่อุณหภูมิ 175°C โดยชิ้นเล็กจะใช้เวลาจะใช้เวลา 30-180 วินาที และชิ้นใหญ่จะใช้เวลา 30-300 วินาที

จากการเปรียบเทียบน้ดเกดไก่อที่เคลือบฟิล์มและที่ไม่ได้เคลือบฟิล์ม พบว่าน้ดเกดไก่อที่เคลือบฟิล์มจะช่วยลดการดูดซึมน้ำมันในชั้นผิวหน้า (17.9%) และชั้นแก่นกลาง (33.7%) น้ดเกดไก่อที่เคลือบฟิล์มแสดงให้เห็นว่าสามารถช่วยลดการสูญเสียความชื้น ในชั้นผิวหน้า (8.7%) และชั้นแก่นกลาง (16.4%) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม ในการป้องกันการสูญเสียความชื้น และลดปริมาณไขมันระหว่างทอดในน้ำมันท่วม เป็นความสามารถของ HPMC เนื่องจากสามารถก่อตัวเป็นเจลได้เมื่อได้รับความร้อนจึงช่วยป้องกันการดูดซึมน้ำมันระหว่างการทอดได้

15.4 Effect of the type of frying oil on the consumer preference for doughnuts (ชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด โคนัทที่มีผลต่อความชอบของผู้บริโภค)

**Abstract: บทคัดย่อ**

จากการศึกษาใช้ dough 3 ชนิด และใช้น้ำมัน 4 ชนิด ในการทอด โคนัท เพื่อดูถึงความชอบของผู้ทดสอบที่เป็นนักศึกษาหญิง 100 คน สิ่งแรกและผู้ทดสอบทำคือจะใช้แบบทดสอบแบบที่แตกต่างกัน และตัวอย่างโคนัทที่ใช้นั้นก็สามารถให้ผู้ทดสอบแยกแยะได้ เนื้อสัมผัสของชั้นผิวหน้าจะมีผลต่อการแยกแยะด้วย ผู้ทดสอบชอบน้ำมันถั่วเหลืองที่แข็ง(แน่น) จนถึงน้ำมันถั่วเหลืองที่เป็นของเหลว สำหรับ hard cake

doughnut เพราะไขมันที่เป็นของแข็งจะมีน้ำมันถั่วเหลืองอยู่สูง และผิวของ โคนัทที่ได้ จะกรอบ ในการศึกษาพบว่า ระหว่าง soft cake doughnut และ yeast doughnut ไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### Introduction : บทนำ

โคนัทเป็นขนมทอดกรอบที่เป็นที่รู้จักกันทั่วโลก แต่ก่อนความนิยมของ โคนัทมีจุดสำคัญอยู่ที่ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมของ โคนัท/อุณหภูมิการทอดและ เวลาการทอด/และรสชาติของ โคนัท รูปร่างและความอ่อนนุ่ม พบว่าน้ำมันที่ใช้ทอดจะ ถูกจำกัดการดูดซึมของน้ำมันและเปลี่ยนความชื้นที่มีอยู่ใน โคนัท ได้มีการศึกษาเพียง เล็กน้อยถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำมันที่ใช้ทอดชนิดต่างๆ และความชอบของโคนัท

โคนัทที่ทอดในน้ำมันท่วมนั้นมีส่วนผสมนี้ แป้ง, น้ำ, น้ำมัน, น้ำตาล และนม น้ำมันที่มีอยู่ใน โคนัทมีอยู่ประมาณ 20 % ดังนั้นชนิดและปริมาณของน้ำมันที่ ใช้ทอดก็จะมีอิทธิพลต่อความชอบด้วย น้ำมันที่ใช้กันทั่วไปในญี่ปุ่นคือน้ำมันพืช ใน อเมริกาใช้น้ำมันหมูและน้ำมันพืช( ปกติที่ใช้ทำจากเมล็ดฝ้าย,น้ำมันถั่วเหลืองหรือบาง ครั้งทำจากถั่วและน้ำมันข้าวโพด )

ความต้องการของน้ำมันสำหรับใช้ทอด โคนัทที่ใน โรงงานอุตสาหกรรม ต้องการคือ ทำให้โคนัทมีความสม่ำเสมอ รสชาติดี ไม่มีน้ำมันปรากฏบน โคนัทหลัง ทอด ไม่ทำให้น้ำตาลแฉะ และเหนียวบนผิวหน้า โคนัทระหว่างการเก็บรักษา น้ำมันที่ใช้ ทอดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ น้ำมันที่เป็นของเหลว และน้ำมันที่เป็นของแข็ง เมื่อใช้น้ำมันที่แข็งในการทอดจะได้ลักษณะพิเศษคือ จะมีกลิ่นและจะไม่เป็นที่ชื่นชอบของผู้ บริโภคชาวญี่ปุ่นที่ซึ่งจะกันเคยกับอาหารที่ทอดด้วยน้ำมันพืช น้ำมันที่แข็งมีความ เสถียรสูงในการทำอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่มีน้ำมันปรากฏให้เห็นและไม่ทำให้น้ำตาลเหนียวที่ผิวหน้าของอาหารด้วย เฉพาะฉะนั้น น้ำมันที่แข็งที่ทำจากถั่วเหลืองและ ปาล์ม จะถูกใช้ในการทอดโดยจะใช้ทีละอย่างหรืออาจจะใช้ผสมกันก็ได้ อย่างไรก็ตาม ความชอบในการใช้น้ำมันทอด โคนัทก็ยังไม่ชัดเจน

การศึกษานี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบของน้ำมันชนิดต่างๆ ในเรื่องวัตถุดิบ, จุดหลอมเหลว และค่าไขมันที่เป็นของแข็ง ( SFC ) ชนิดของ โคนัท (เค้กหรือบิสต์) ก็เป็นสิ่งที่ศึกษาเพื่อตรวจสอบเช่นเดียวกัน

### Materials and Methods: วัตถุดิบและวิธีทำ

#### *Preparation of the dough: การเตรียม dough*

Dough ที่ใช้จะมี 3 ชนิด ดังนี้

1. Hard cake dough : “ Tamago- donatu 40 “ ในทางการค้าก็คือ dough แข็ง ซึ่งจะนำมาใช้โดยตรงเลย
2. Soft cake dough : ซึ่งได้จากการผสมแป้งเค้กกับนม (50%), ไข่ (25%) และน้ำมันถั่วเหลือง (8%) ก่อนนำไปใส่ถุงที่มีหัวบีบเป็นโลหะ dough ที่ผสมแล้ว (ใช้อย่างละ 30-35) จะถูกบีบออกเป็นรูปร่างวง ลงในน้ำมันที่ใช้ทอด
3. Yeast dough : ผสมแป้งข้าวสาลีชนิดแข็งและแป้งข้าวสาลีชนิดอ่อน (อัตราส่วน 8:2) โสยีสต์ (0.1%), แป้งทำขนม (2.0%), หางนม (2.0%), น้ำตาล (15.0%), เกลือ (1.5%), บิสต์ (1.0%), น้ำ (42.0%), ไข่ (20.0%) และshortening (15.0%) ลงไปผสมกันแล้วนวดแป้งให้เข้ากัน dough นี้จะถูกพักทิ้งไว้ 1 ชม. ก่อนที่จะถูกตัดเป็นรูปร่างกลมๆ ลูกละ 30 g หลังจากนั้นก็ถูกทิ้งไว้ 20 นาที แล้วก็หมักdough นี้ที่ 38°C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 60% เป็นเวลา 40 นาที

#### *Frying oil: น้ำมันที่ใช้ทอด*

น้ำมันที่ใช้ทอดมี 4 ชนิด คือ hardened soybean oil , liquid soybean oil , palm oil และ hard butter เหตุที่เลือก hardened soybean oil เพราะในทางการค้าจะนิยมใช้น้ำมันชนิดนี้ทอดโคนัท ส่วนliquid soybean oil ที่ถูกเลือกมาใช้เพราะว่ามีวัตถุดิบเหมือนกับ hardened soybean oil ขณะที่จุดหลอมเหลวของ palm oil จะเหมือนกับ hardened soybean oil ส่วนการเลือก hard butter เพราะการมีลักษณะ

พิเศษเรื่อง SFC ของมันวัตถุดิบจะทราบ SFC ที่ 35°C และจุดหลอมเหลวของน้ำมันแต่ละชนิดจะแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 น้ำมันที่ใช้ทอดโดนัท

|                      | วัตถุดิบ       | SFC (35°C) | จุดหลอมเหลว (°C) |
|----------------------|----------------|------------|------------------|
| hardened soybean oil | ถั่วเหลือง     | 6.4        | 37.15            |
| liquid soybean oil   | ถั่วเหลือง     | 0          | -                |
| palm oil             | ปาล์ม          | 7.1        | 37.35            |
| hard butter          | ปาล์ม, ไร่ข้าว | 6.2        | 35.20            |

*Frying procedure* : วิธีทอด

ตัวอย่าง dough จะถูกใส่ใส่ตะแกรงและนำไปทอดในเครื่องทอดอัตโนมัติ ที่อุณหภูมิ 180°C ใช้เวลาทอด 2.5 นาทีสำหรับ hard cake doughnut , ใช้เวลาทอด 1 นาที ~0 วินาที สำหรับ soft cake doughnut และใช้เวลาทอด 2 นาที 40 วินาที สำหรับ yeast doughnut การโดนัทแต่ละชนิดจะต้องมีการสะเด็ดน้ำมันบนกระดาษก่อนแล้ว ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วก็นำไปใส่ถุงโพลีเอทิลีน และก็ให้เอาไปเก็บที่ 20°C ทุกๆคืนก่อนนำมาใช้ในการทดสอบ

#### ผลการทดลอง

*Sensory analysis*: การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

Difference test ( การทดสอบความแตกต่าง ) : ผลจากการ sensory จะถูกแสดงให้เห็นในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของการทดสอบความแตกต่างแบบ triangle โดยการประเมินจากผู้ทดสอบ

| ชนิด<br>โดนัท | คู่ของตัวอย่างไขมัน<br>ที่ใช้ทอด            | Correct<br>identification | Parameters<br>Significantly<br>differing |
|---------------|---|---------------------------|--|
| Hard<br>cake  | hardened soybean oil: liquid<br>soybean oil | 18 ใน 22                  | ความสั้น                                 |
|               | hardened soybean oil: palm oil              | 14 ใน 22                  | ความแข็ง                                 |
|               | hardened soybean oil :hard<br>butter        | 13 ใน 23                  | เป็นน้ำมันเยิ้ม, มี<br>กลิ่นน้ำมันแรง    |
| Soft<br>cake  | hardened soybean oil: liquid<br>soybean oil | 16 ใน 18                  | ความแข็ง, ความนุ่ม                       |
|               | hardened soybean oil: palm oil              | 8 ใน 17 n.s.              |  |
| Yeast         | hardened soybean oil: liquid<br>soybean oil | 17 ใน 20                  | ความแข็ง, มีกลิ่นที่<br>ไม่พึงปรารถนา    |
|               | hardened soybean oil: palm oil              | 10 ใน 20 n.s.             |  |

ในกรณีของ hard cake doughnut ได้มีการให้ผู้ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่าง 3 คู่ ในตารางที่ 2 ได้แสดงถึง ความสั้นซึ่งแสดงความแตกต่างในคู่ของการทอด Hard cake ใน hardened soybean oil และใน liquid soybean oil โดนัททอดใน hardened soybean oil มีความสั้นกว่าที่ทอดใน liquid soybean oil โดนัทที่ทอดใน hardened soybean oil จะแข็งกว่าที่ทอดใน palm oil และมีกลิ่นและรสชาติของน้ำมันที่แรงกว่าที่ทอดใน hard butter

ใน soft cake doughnut โคนัทที่ทอดใน hardened soybean oil จะถูกผลิตเป็นตัวอย่างที่แข็งกว่าที่ทอดใน liquid soybean oil ส่วนโคนัทที่ทอดใน hardened soybean oil และที่ทอดใน palm oil จะไม่สามารถเห็นข้อแตกต่างได้อย่างชัดเจน

ใน Yeast doughnut โคนัทที่ทอดใน hardened soybean oil จะถูกผลิตเป็นตัวอย่างที่มีกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาว่าที่ทอดใน liquid soybean oil ส่วนโคนัทที่ทอดใน hardened soybean oil และที่ทอดใน palm oil จะไม่สามารถเห็นข้อแตกต่างได้อย่างชัดเจน

hardened soybean oil และ liquid soybean oil ทั้งสองใช้วัตถุดิบอันเดียวกัน แล้วจะเห็นความแตกต่างใน โคนัททุกๆชิ้น อาจเป็นไปได้เพราะ จุดหลอมเหลว และ SFC ต่างกัน ในทางตรงกันข้าม hardened soybean oil และ palm oil จะคล้ายกันในเรื่องจุดหลอมเหลว และ SFC ที่ 35°C จึงเป็นสิ่งที่ยากสำหรับผู้ทดสอบในการแยกความแตกต่าง ซึ่งพวกเขาจะแยกความแตกต่างได้เพียงเล็กน้อยในเรื่อง SFC ของ hard cake doughnut และ hard cake doughnut จะมีลักษณะที่เป็นน้ำมันมากกว่า soft cake doughnut และ Yeast doughnut

hardened soybean oil และ hard butter มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในเรื่องของจุดหลอมเหลว และ SFC และได้ทำการประเมิน โคนัททั้ง 2 ชนิด พบว่ามีการยอมรับในเรื่องกลิ่นแต่ไม่มีการยอมรับในเรื่องเนื้อสัมผัส

Consumer test ( การทดสอบจากผู้บริโภค): ได้มีการทำแบบสอบถามผู้บริโภค 51% ที่รับประทานโคนัทมากกว่า 1 ครั้ง/เดือน ได้ประเมินความแตกต่างของ โคนัทที่ทอด ในน้ำมัน 4 ถู hard cake doughnut ที่ทอดใน hardened soybean oil และที่ทอดใน liquid soybean oil มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลจากการทดสอบเป็นคู่โดยผู้บริโภค

| ชนิด<br>โคนัท | ตัวอย่างน้ำมันที่ใช้<br>ทอดเป็นคู่ๆ          | Correct<br>identification | สิ่งที่ชอบมากกว่า                           |  |
|---------------|--|---------------------------|---|--|
|               |  |                           | จำนวนคนที่<br>เลือก hardened<br>soybean oil | จำนวนคนที่<br>เลือก liquid<br>soybean oil<br>หรือ hard<br>butter |
| Hard<br>cake  | hardened soybean oil :<br>liquid soybean oil | 64 ใน 100                 | 47  | 17   |
|               | hardened soybean oil :<br>hard butter        | 58 ใน 113                 | 22  | 36   |
| Soft<br>cake  | hardened soybean oil :<br>liquid soybean oil | 68 ใน 120                 | 42  | 26   |
| Yeast         | hardened soybean oil :<br>liquid soybean oil | 74 ใน 114                 | 45  | 29   |

จำนวนผู้ทดสอบ 64 คนใน 100 คน สามารถเลือกเลือกโคนัทที่เหมือนกันจาก 2 คู่ ซึ่งแสดงให้เห็นโคนัทที่ทอด ใน hardened soybean oil มีการยอมรับจากผู้บริโภค มากกว่าที่ทอดใน liquid soybean oil ผู้บริโภคอาจจะสามารถแยกความแตกต่างระหว่าง SFC ของน้ำมัน 2 ชนิดได้ ผู้บริโภคที่อายุน้อยจะคุ้นเคยกับรสชาติของ hardened soybean oil และ ก็จะไม่ถึงกับไม่ชอบในรสชาตินั้น อย่างไรก็ตามผู้บริโภคก็ไม่สามารถแยกแยะข้อแตกต่างระหว่างโคนัทที่ทอดใน hardened soybean oil และที่ทอดใน hard butter ได้ สาเหตุที่ไม่สามารถแยกข้อแตกต่างได้เพราะ SFC ที่อุณหภูมิรอบๆตัวของไขมันทั้ง 2 ชนิดคล้ายๆกัน ผลเช่นนี้แสดงให้เห็นว่า SFC ที่อุณหภูมิรอบๆตัวมีผลกระทบต่อความชอบของตัวอย่างโคนัท

ในกรณีของ Soft cake doughnut และ Yeast cake doughnut เนื้อสัมผัสของเศษเล็ก ๆ จะนุ่ม ดังนั้นจึงยากต่อการแยกความแตกต่างระหว่าง SFC ของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด Yeast cake doughnut สามารถเห็นถึงความแตกต่าง ถึงแม้ว่าไม่ได้มีความแตกต่างในเรื่องความชอบของโดนัททั้ง 2 ชนิด

การประเมินของผู้ทดสอบเกี่ยวกับคู่ของ hard cake doughnut ที่ทอดใน hardened soybean oil และที่ทอดใน liquid soybean oil จะมีการประเมินความชอบออกเป็น 6 ประเภท คือ เนื้อสัมผัส (39% ของน้ำหนักทั้งหมด), รสชาติ (26%), เป็นน้ำมัน (17%), กลิ่น (15%), ลักษณะที่ปรากฏ (2%), และลักษณะอื่นๆ (1%) ผู้บริโภคได้มีการออกความเห็นส่วนใหญ่เกี่ยวกับเนื้อสัมผัส และรสชาติ สิ่งที่สำคัญก็คือได้มีการกำหนดระดับความชอบของโดนัท ซึ่งก็คือกรณีที่เลือกโดนัทที่ทอดใน hardened soybean oil

#### *Absorption of frying oil: การดูดซึมของน้ำมันระหว่างทอด*

ตัวอย่างของ hard cake doughnut ที่ทอดใน liquid soybean oil ด้วยการเติม  $\beta$ -carotene: พื้นที่รอบๆ โคนัทจะมีการดูดซึมของน้ำมัน (2 ถึง 5 มม. ลงมาจากผิวหน้า) ซึ่งเห็นเป็นสีเหลือง วิเคราะห์สีและคำนวณปริมาตรซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในอาหารทั้ง 3 ชนิดที่ทอดในน้ำมันเลย นั่นก็คือ ระหว่าง Soft cake doughnut และ Yeast cake doughnut จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเลย

ตารางที่ 8 อัตราส่วน (%) ของปริมาณการดูดซึมของน้ำมันในโดนัททอดในน้ำมันทั้ง 4 ชนิด

|                         | Hard cake<br>doughnut | Soft cake doughnut | Yeast cake<br>doughnut |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|
| hardened soybean<br>oil | 17.7±2.5              | 15.7±3.1           | 5.59±0.77              |
| liquid soybean oil      | 14.6±3.3              | 17.2±3.5           | 5.48±1.53              |
| palm oil                | 15.0±3.3              |                    |                        |
| hard butter             | 16.3±0.1              |                    |                        |
|                         | n.s.                  | n.s.               | n.s.                   |

### บทสรุป

ในการทำโดนัท Dough ทั้ง 3 ชนิดถูกทอดในน้ำมัน 4 ชนิด การทดสอบทางประสาทสัมผัสและวัดคุณสมบัติทางกายภาพถูกนำมาพิจารณาให้เห็นว่าผลกระทบของการทอดในน้ำมันมีผลต่อความชอบในผลิตภัณฑ์โดนัท ซึ่งจะมีเหตุผลต่างๆ ดังนี้

1. เนื้อสัมผัสมีอิทธิพลมากในเรื่องความชอบ
2. การดูดซึมน้ำมันของโดนัทที่ทอดในน้ำมันทุกชนิด น้ำมันจะถูกกักไว้ที่ชั้นผิวหนังของโดนัท
3. SFC ของน้ำมันที่ใช้ทอดมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผิวหนังโดนัท เมื่อ SFC สูง เมื่อเคี้ยวจะรู้สึกวุ้นๆ โคนัทมีชิ้นเล็กๆ เพราะเนื้อสัมผัสที่ร่วนของโดนัทนั่นเอง
4. ผู้บริโภคชอบ hard cake doughnut ที่ทอดใน hardened soybean oil เพราะมี SFC สูงที่อุณหภูมิปกติ
5. ในกรณี soft cake doughnut และ yeast cake doughnut ผู้บริโภคจะไม่สามารถแยกความแตกต่างในการทอดได้

### 15.5 Edible Coatings for Deep-fat Frying of Starchy Products

(สารเคลือบผิวที่รับประทานได้ในผลิตภัณฑ์อาหารทอดจำพวกแป้ง)

ในการป้องกันการสูญเสียความชื้น และลดการดูดซึมของไขมัน โดยเคลือบผลิตภัณฑ์อาหารทอดจำพวกแป้งด้วยสารเคลือบผิวที่รับประทานได้นั้น จะผลแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดสารเคลือบที่ใช้ ในการทดลองนี้ได้ใช้ผลิตภัณฑ์เป็นมันฝรั่งบดละเอียดป็นเป็นลูกกลมๆ เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 mm. และชนิดของสารเคลือบได้แก่ com zein (CZ), hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC) หรือ methyl cellulose (MC) ส่วนตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบจะใช้เป็นตัวควบคุม เรื่องการป้องกันการสูญเสียความชื้น ได้มีการเปรียบเทียบกับตัวควบคุมได้ผลดังนี้ 14.9%, 21.9% และ 31.1% ในผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วย CZ, HPMC และ MC ตามลำดับ ส่วนในเรื่องการลดการดูดซึมก็คล้ายๆ กัน ได้มีการเปรียบเทียบกับตัวควบคุมได้ผลดังนี้ 59.0%, 61.4% และ 83.6% ในผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วย CZ, HPMC และ MC ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าคุณสมบัติโดยรวมในการป้องกันการสูญเสียความชื้น และลดการดูดซึมของไขมันนั้น MC เป็นมีคุณสมบัติที่ดีที่สุด

#### Introduction

(บทนำ)

ไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในอาหารชนิดหนึ่ง ศัลยแพทย์ใน U.S. ได้มีการแนะนำให้ลดไขมันในอาหารลง 25% และโดยเฉพาะจะจำกัดพลังงานในไขมันอิ่มตัวลงให้น้อยกว่า 30% โรงงานอุตสาหกรรมได้มีการตอบสนองโดยมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันต่ำ มากกว่านั้นยังได้สนใจที่จะลดการดูดซึมน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหารทอด

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง สำหรับเตรียมอาหารเป็นวิธีที่ให้ความพึงพอใจผู้บริโภคและทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสดี เนื้อนุ่มและมีความชื้นอยู่ในรูปไขมัน ในเนื้อผลิตภัณฑ์ซึ่งจะช่วยเพิ่มความรู้สึกในปาก ใน U.S. รุกกิง

อาหารทอดได้เจริญขึ้น มีรายงานว่ามากกว่า 500,000 กว่าสถาบันและร้านอาหารได้มีการควบคุมการทอดอาหารในน้ำมันท่วม พบว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มในความต้องการผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องมีการลดการดูดซับน้ำมันในระหว่างทอดมากขึ้น ผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำที่ใหม่ที่สุดจะมีการใช้ไขมันจากสิ่งอื่นแทนไขมันสัตว์ ไขมันนั้นคือ จะใช้ส่วนผสมที่รับประทานได้อื่นๆ เช่น alginate, powdered cellulose, methyl cellulose และ soy protein isolates เคลือบผลิตภัณฑ์อาหารนั้น Whey protein, egg albume และ carboxymethyl cellulose (CMC) เป็นตัวสำคัญในการติดแน่นของ breading Mayers ได้ถูกพิจารณาให้ HPMC และ MC เป็นตัวกั้นการดูดซึมของไขมันใน breading และในแป้งที่นวดแล้ว การใช้โปรตีน (เช่น นมผงและ egg albumen) เป็นส่วนผสมในอาหารทอดนั้นเป็นที่รู้จักกันดี ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเคลือบบนอาหารเพื่อลดการดูดซึมของไขมันในอาหารทอดแบบน้ำมันท่วม และวิธีนี้ยังไม่มีหลักฐานยืนยันได้มีการจำกัดการค้นคว้าให้การใช้ส่วนผสมที่รับประทานได้เคลือบบนผิวอาหาร Fan and Arce ได้รายงานการใช้ amylose เป็นสารเคลือบบนผิวอาหารเพื่อลดดูดซับน้ำมันในระหว่างทอด Feeney et al. ได้ใช้ corn zein เป็นสารเคลือบบนผิวในมันฝรั่งทอด และรายงานความสามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ถึง 28% ส่วนใหญ่การพัฒนาขึ้นใหม่ๆจะเป็นการทดสอบเพื่อพัฒนาแป้งที่นวดแล้วและสูตร breading จากโปรตีนและไฮโดรคอลลอยด์อื่นๆ และข้อมูลส่วนใหญ่ก็เป็นข้อมูลที่เหมาะสมด้วย

ในอดีตนั้นฟิล์มที่รับประทานได้จะใช้ในการเคลือบในผลิตภัณฑ์สัตว์ปีกเพื่อป้องกันสูญเสียความชื้น และลดการดูดซึมของไขมัน ได้มีการเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมกับไคนัดเก้ที่เคลือบผิวด้วย HPMC ซึ่งสามารถลดการดูดซึมของไขมันได้ถึง 17.9% และ 33.7% ในชั้นผิวหน้าและชั้นแก่นกลาง ตามลำดับ ตัวอย่างที่เคลือบแสดงให้เห็นว่าได้มีการพัฒนาการป้องกันสูญเสียความชื้น (ได้ถึง 8.6% ในชั้นผิวหน้า และ 16.4% ในชั้นแก่นกลาง) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม จุดประสงค์ คือ เพื่อหาว่าการป้องกันการสูญเสียความชื้นและลดการดูดซึมของไขมัน ในอาหารทอดที่เคลือบด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ นอกจากนี้นี้ยังได้มีการทำไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์อาหารทอดที่ถูกเลิกมาอีกด้วย

## Materials and Methods

### (วัตถุดิบและวิธีการทดลอง)

ใช้วัตถุดิบแก่นมันฝรั่งตัดเป็นลูกกลมๆ วิธีทำคือ นำมันฝรั่งไปอบและนำไปต้มนาน 45 นาที หลังจากนั้นรินน้ำออกและปอกเปลือกมันฝรั่งแล้วนำไปบดให้เข้ากัน จากนั้นนำไปทำเป็นลูกกลมๆ โดยใช้เครื่องขึ้นรูป โดยให้แต่ละลูกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 mm.

### Edible film coating

#### (สารเคลือบผิวที่รับประทานได้)

ตารางที่ 9 สูตรของสารละลายที่นำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มเคลือบผิวอาหาร

| ชนิดของฟิล์ม | ส่วนผสมพื้นฐาน (g) | น้ำ (mL) | เอทานอล (950g/L; mL) | พลาสติกไฮเซอรั            | อื่นๆ             |
|--------------|--------------------|----------|----------------------|---------------------------|-------------------|
| HPMC         | 9                  | 200      | 200                  | Polyethylene glycol (1mL) | -                 |
| CZ           | 54                 | 0        | 325                  | Glycerin (11mL)           | Citric acid (1 g) |
| MC           | 9                  | 200      | 200                  | Polyethylene glycol (1mL) | -                 |

ได้มีการศึกษาผลของการเคลือบฟิล์ม 3 ชนิด บนมันฝรั่งบดลูกกลมๆ ซึ่งฟิล์มที่ใช้ได้แก่ CZ (corn zein), MC และ HPMC สารละลายฟิล์มที่ใช้ทำตามสูตร (ตารางที่ 1) และใช้วิธีดำเนินการของ Park และ Chinnan จากสูตรที่ใช้ HPMC (มีความหนืด 80-120 mPa.s ในสารละลาย 2% ของ Aidrich Chemical

Company, Inc., Milwaukee, WI) และ MC (มีความหนืด 4000 mPa.s ในสารละลาย 2% ของ Aidrich Chemical Company, Inc., Milwaukee, WI) ส่วนผสมพื้นฐานจะถูกผสมลงไปกับน้ำที่ 45°C และทำให้ละลายต่อมาก็เติม 95% เอทานอล ลงไป และก็ผสมให้เข้ากัน จากนั้นก็เติม Polyethylene glycol (PEG) ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ลงไป ภาชนะบรรจุจะถูกห่อหุ้มด้วย aluminum foil และก็เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ข้ามคืน โดยฟองที่เกิดขึ้นหายไป สำหรับสูตรที่ใช้ CZ นั้น ส่วนผสมพื้นฐานจะถูกนำมาละลายใน 95% เอทานอล และก็ได้มีการเติม Anhydrous crystalline citric acid เพื่อช่วยให้ CZ ละลายได้มากขึ้น โดย pH จะลดลง สำหรับ CZ จะใช้ Glycerin เป็นพลาสติกไซเซอร์

มันฝรั่งบดนั้นจะถูกทำมาเคลือบเป็นลูกๆ โดยแต่ละลูกจะถูกหมุน (15 rpm) และจะนำมาสเปรย์ด้วยสารละลายที่ทำเป็นฟิล์มเป็นเวลา 1 นาที โดยใช้เครื่องฉีดสเปรย์ (spray gun) หลังจากนั้นทำให้แห้งเป็นเวลา 2 นาที ที่แบบนี้เข้าไปจนครบที่ต้องการ

การสเปรย์สารละลายฟิล์มจะสเปรย์บนผิวอาหารให้เรียบ โดยจะมีการประมาณความหนาของฟิล์มด้วย สารละลายฟิล์มละลายฟิล์มจะสเปรย์ครั้งแรกใช้เวลา 1 นาที และจะถูกนำมาสเปรย์อีกครั้ง หลังจากทำให้แห้ง 2 นาที โดยครั้งที่ 2 นี้จะใช้เวลา 1 นาทีเช่นเดียวกัน การปฏิบัติการเช่นนี้จะถูกเลียนแบบในกระบวนการเคลือบฟิล์มบนตัวอย่างต่างๆ อัตราการตกตะกอนจะถูกกำหนดจากการสเปรย์สารละลายนาน 3 นาที ต่อเนื่องกันบนผิวอาหาร ข้อมูลจากความแตกต่างในเรื่องของน้ำหนักของสิ่งที่สะสมบนผิวหน้า, พื้นที่ผิว และความหนาแน่นของสารละลายฟิล์มจะถูกคำนวณจากความหนาของฟิล์มและอัตราการตกตะกอน

#### Frying experiments

( การทดลองทอด )

ใช้น้ำมันถั่วลิสงที่ 175°C ทอดมันฝรั่งบดเป็นลูกที่ถูกเคลือบและไม่ถูกเคลือบนาน 240 วินาที เช่นเดียวกันนั้นอุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางจะสูงถึง 70°C หรือมากกว่านั้น การทดลองทั้งหมดนี้จะทำเหมือนกันทั้ง 3 ชนิด อุณหภูมิของตัวอย่างที่ส่วน

ต่างๆจะแตกต่างกัน ( 2 mm. ใต้พื้นผิว จุดกลางระหว่างจุดศูนย์กลางและพื้นผิว และจุดศูนย์กลางของเรขาคณิต ) และน้ำมันตัวอย่างจะถูกควบคุมโดยใช้ T-type thermocouple มันฝรั่งบดเป็นลูกที่ถูกอากาศเย็นและมีน้ำมันที่ผิวมากเกินไปจะถูกจะเข็ดออกโดยกระดาษทิชชู จากนั้นก็นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักแล้วใส่ในถุงและแช่แข็งที่ -20°C มวลจะสูญหายระหว่างทอดซึ่งจะถูกวัดจากค่าน้ำหนักตัวอย่างก่อนทอด กับน้ำหนักตัวอย่างที่ทอดแล้ว

#### Determination of barrier properties of edible film

( คุณสมบัติในการป้องกันความชื้นและไขมันของฟิล์มเคลือบผิวที่รับประทานได้ )

ฟิล์มที่เคลือบจะมีผลต่อปริมาณความชื้นและไขมันที่มีอยู่บนชั้นผิวหน้าและชั้นแกนกลาง โดยจะตัดตัวอย่างออกเป็น 4 ส่วน และชั้นผิวหน้าอีกส่วน ( 0.1 mm.) ตัวอย่างส่วนที่เหลือก็เป็นแกนกลาง มวลของชั้นผิวหน้าและส่วนแกนกลางจะถูกบันทึกไว้ ค่าความชื้นของส่วนผิวหน้ากับแกนกลางจะถูกกำหนดให้ใช้เครื่อง freeze-dryer Freeze-drying เป็นเทคนิคที่สมบูรณ์ในการเคลื่อนที่ของความชื้นและตัวอย่างมีรูพรุนซึ่งต่อมาจะนำมาสกัดไขมัน ไขมันที่บรรจุอยู่ในตัวอย่างที่ freeze-dried จะถูกสกัดออกมาโดยวิธี AOAC 960.39

ค่าความชื้นและไขมันทั้งหมดของมันฝรั่งทอด หาได้จากสูตร

$$M = \frac{W_s \times M_s \times W_c \times M_c}{W_s + W_c}$$

$$F = \frac{W_s \times F_s \times W_c \times F_c}{W_s - W_c}$$

W = มวล ( kg ), M = ค่าความชื้น ( g/100g ) และ F = ค่าไขมัน ( g / 100g น้ำหนักแห้ง ) ส่วน S คือ ชั้นผิวหน้า และ C คือ ชั้นแกนกลาง

## การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลจะถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ SAS วิธี GLM โดยจะใช้วิธี Duncan Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 5% ( หรือ  $\alpha = 0.05$  )

## Results and Discussion

### สารละลายฟิล์มและสารเคลือบฟิล์มที่เหมาะสม

ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของสารละลายฟิล์มจะแสดงในตารางที่ 10 ค่าความหนาของฟิล์มอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.10 mm. ฟิล์ม CZ ที่เคลือบจะหนากว่าที่เคลือบด้วย HPMC และ MC สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความหนืดและอัตราการตกตะกอนของมัน ซึ่งฟิล์ม CZ มีสัมประสิทธิ์ความข้นตัว (  $4.14 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  ) และมีอัตราการตกตะกอนสูง (  $0.74 \text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  ) สารละลายฟิล์ม CZ มีความหนืดสูงสุด เนื่องจากมีค่า Solids content สูงกว่า HPMC และ MC

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายฟิล์มและสารเคลือบฟิล์มที่รับประทานได้

| ชนิดของฟิล์ม | ความหนาแน่น<br>( $\text{kg/m}^3$ ) <sup>a</sup> | ความหนาของฟิล์ม<br>(mm) <sup>a</sup> | อัตราการตกตะกอน<br>$\text{g}/(\text{m}^2\text{s})$ <sup>a</sup> | ความหนืด   |        |                        |
|--------------|---|--------------------------------------|---|--|--------|------------------------|
|              |   |                                      |   | ค่าคงที่ความชื้น<br>( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ) | การไหล | ส่วนที่เหลือจาก 4 ส่วน |
| HPMC         | 836.7±20.9c <sup>b</sup>                        | 0.05±0.01b                           | 0.37±0.11b  | 46.47  | 1.02   | 168.23                 |
| CZ           | 377.9±6.3b                                      | 0.10±0.02a                           | 0.74±0.11a  | 4.14   | 0.98   | 9.28                   |
| MC           | 967.5±4.9a                                      | 0.06±0.01b                           | 0.31±0.06b  | 387.54   | 0.98   | 971.00                 |

a : ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

b : ค่าในคอลัมน์เดียวกันที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่  $\alpha=0.05$

### ค่าความชื้น

จากการสังเกตระหว่างการทอดของมันฝรั่งบดทอดทั้งที่เคลือบและไม่เคลือบ ในตอนแรกตัวอย่างที่เคลือบจะมีฟองอากาศอยู่มากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบ เช่นเดียวกับในระหว่างทอดสิ่งที่สังเกตได้จะให้ผลตรงข้าม คือในตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบจะมีฟองอากาศขนาดใหญ่ห่อหุ้มตัวอย่างอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เคลือบ ผลที่ได้สามารถอธิบายได้ว่าตัวอย่างมันฝรั่งที่ไม่ได้เคลือบจะมีการสูญเสียความชื้นมากกว่าตัวอย่างมันฝรั่งที่ใช้เคลือบชั้นผิวหน้าจะมีการสูญเสียความชื้นได้อย่างรวดเร็วและสุดท้ายความชื้นที่ชั้นผิวหน้าของตัวควบคุมก็จะเหลืออยู่ 26 g/100 g

และในตัวอย่างที่เคลือบด้วย HPMC เหลือ 55 g / 100g ตัวอย่างที่เคลือบด้วยฟิล์มที่รับประทานสามารถรักษาความชื้นให้อยู่บนชั้นผิวหนังได้ ซึ่งเป็นผลให้การรักษาความชื้นของ MC และ HPMC ไม่แตกต่างกันมาก CZ สามารถรักษาความชื้นได้มากกว่าตัวควบคุมแต่น้อยกว่า MC และ HPMC

ชนิดของฟิล์มที่ต่างกันจะแสดงให้เห็นว่าจะเกิดความแตกต่างหลักๆ ขึ้น ซึ่ง CZ เป็นฟิล์มโปรตีน ส่วน MC และ HPMC เป็น cellulose-based hydrocolloids ฟิล์มจาก MC และ HPMC สามารถป้องกันความชื้นและไขมันได้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำที่ใช้ในการเกิดเจลจะใช้ความร้อนสูงกว่า 60°C หมูเมทิลใน MC และ HPMC ได้เข้าไปรวมกับโมเลกุลโกลูที่อุณหภูมิต่ำหรืออุณหภูมิจากเกิดเจล ( IGT ) IGT คืออุณหภูมิต่ำที่ทำให้โมเลกุลของสารเริ่มรวมตัวกันอย่างรวดเร็ว เหนือ IGT ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่ำสูงขึ้นเป็นจุดที่ละลายเกิดเจล สำหรับ MC และ HPMC IGT จะอยู่ระหว่าง 50-90 °C ชั้นของเจลนี้จะถูกควบคุมการผ่านเข้าออกของความชื้นและไขมันระหว่างผลิตภัณฑ์ และทอดที่อุณหภูมิต่ำปานกลาง รูปร่างของฟิล์ม CZ จะติดกับผิวหนังของผลิตภัณฑ์หลังจากสเปรย์ Zein จะแข็งเมื่อได้รับความชื้น ซึ่ง CZ จะมีตะกอนบางๆอยู่ที่ผิวหนัง CZ ส่วนใหญ่จะละลายไม่ได้ เนื่องจากมีกรดอะมิโนไม่มีขั้วสูง และมีการรวมตัวของโปรตีนรอบๆพันธะไฮโดรเจนโดย glutamine การเติม hydrophobic และ hydrogen bonds เพื่อพัฒนาใน film matrix ปัจจัยอื่นๆที่เป็นผลให้การเคลือบด้วย CZ มีผลในการป้องกันการสูญเสียความชื้นต่ำกว่า HPMC และ MC คือ CZ ที่เคลือบมีพลาสติกไซเซอร์เป็น glycerol ขณะที่ HPMC และ MC มีพลาสติกไซเซอร์เป็น PEG Glycerol มี hydrophobic มากกว่า PEG เป็นสาเหตุให้ป้องกันการสูญเสียความชื้นต่ำกว่า PEG การเคลือบด้วย CZ ใช้ปริมาณพลาสติกไซเซอร์สูงกว่า HPMC และ MC ความสามารถในการป้องกันการสูญเสียความชื้นของฟิล์มจะลดลงขณะที่เพิ่มพลาสติกไซเซอร์สูงขึ้น

ความชื้นที่แก่นกลางจะไม่มี ความแตกต่างกันมากในตัวอย่างที่เคลือบด้วยฟิล์ม ตัวควบคุมจะสูญเสียความชื้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เคลือบฟิล์ม

### ค่าไขมัน

การลดการดูดซึมของไขมันสังเกตได้จากตัวอย่างมันฝรั่งที่เคลือบฟิล์มแล้วทอดในน้ำมันท่วม ชั้นผิวหน้าของตัวอย่างที่เคลือบผิวจะดูดซับน้ำมันน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม ปริมาณไขมันในชั้นผิวหน้าของตัวควบคุมเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 28 g/100 g ในขณะที่ตัวอย่างที่เคลือบด้วย MC มีปริมาณไขมันเพียง 13 g/100 g ในทางเป็นจริงนั้นคุณลักษณะของสารเคลือบสามารถป้องกันการสูญเสียความชื้น และลดการดูดซึมของไขมัน ได้ ผลของการดูดซึมไขมันนั้นไม่สามารถสังเกตให้เห็นถึงความแตกต่างได้อย่างชัดเจนระหว่างที่เคลือบด้วย MC และ HPMC คล้ายๆกันนั้นการดูดซึมของไขมันของ HPMC และ CZ ก็ไม่แตกต่างเช่นกัน จากการทดสอบฟิล์มทั้งหมด MC จะดูดซับน้ำมันในระหว่างทอดได้ต่ำที่สุด

### มวลที่สูญเสีย

เปอร์เซ็นต์มวลที่สูญเสียคำนวณได้จาก มวลที่ชั่งก่อนทอดและมวลที่ชั่งหลังทอด ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียของมวล ตัวควบคุมได้สูญเสียมวลไป 36% ขณะที่ตัวอย่างที่เคลือบฟิล์มมีการสูญเสียมวลระหว่าง 19.8 – 22.2 % ตัวอย่างที่เคลือบฟิล์มจะลดการสูญเสียมวลได้อย่างชัดเจน และให้ผลในการวิเคราะห์ที่ต่ำกว่า ตัวควบคุม 40% ในตัวอย่างที่เคลือบฟิล์มจะไม่ค่อยเห็นความแตกต่างของมวลที่สูญเสียไปชัดเจนนัก เหตุผลที่สูญเสียมวลต่ำเนื่องจากคุณสมบัติในการป้องกันการสูญเสียความชื้นของฟิล์ม นอกจากนี้แล้วผลจากการเคลือบฟิล์มก็เป็นผลในการช่วยลดการสูญเสียของสารด้วย

### ผลโดยรวมของฟิล์มที่เคลือบผิว

ผลความแตกต่างของฟิล์มเคลือบผิวบนมันฝรั่งทอดในน้ำมันท่วมคำนวณได้จาก สมการที่ 1 และสมการที่ 2 ความชื้นที่มีอยู่เท่ากับ 54.5, 62.4, 71.4 และ 66.4 g/100g ในตัวควบคุม ในตัวอย่างที่เคลือบด้วย CZ, MC และ HPMC ตาม

ลำดับ ปริมาณไขมันโดยรวมเท่ากับ 7.6, 3.1, 1.2 และ 2.9 g /100 g ในตัวควบคุม ในตัวอย่างที่เคลือบด้วย CZ, MC และ HPMC ตามลำดับ ในการเปรียบเทียบตัวอย่างที่เคลือบเพื่อดู % การป้องกันการสูญเสียความชื้น ได้ผลดังนี้ คือ 31.1, 21.9 และ 14.5 ใน MC ,HPMC และ CZ ตามลำดับ และ%การลดการดูดซึมของไขมันได้เท่ากับ 83.6, 61.4 และ 59.0 ใน MC ,HPMC และ CZ ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า MC เป็นตัวป้องกันการสูญเสียความชื้นได้ดีกว่า HPMC เนื่องจาก MC มี hydrophilic น้อยกว่า HPMC

### ผลกระทบของฟิล์มที่รับประทานได้เกี่ยวกับความชื้นและไขมัน

บทบาทของฟิล์มที่รับประทานได้ในการลดการสูญเสียความชื้นและการดูดซึมของไขมัน ได้สังเกตเห็นว่าฟิล์มอยู่บนชั้นผิวหน้าของตัวอย่าง ชั้นของฟิล์มที่ใช้เคลือบที่ทำจาก CZ จะให้ผลระหว่างทอดเช่นเดียวกับ MC และ HPMC ชั้นที่ใช้เคลือบนี้จะป้องกันการเคลื่อนที่ของความชื้นและไขมันระหว่างตัวอย่างและการทอดจะใช้ไฟปานกลาง การเคลื่อนที่ของความชื้นและการดูดซับน้ำมันที่เปลือย ดังนั้นบทบาทของฟิล์มที่ใช้เคลือบจะจำกัดเพียงอย่างเดียว ดังนั้นชนิดของฟิล์มก็จะมีผลกับการพิจารณาความชื้นและไขมันในส่วนแกนกลาง และยังไม่แสดงผลความแตกต่างในเรื่องความชื้นและไขมันระหว่างตัวอย่างที่เคลือบด้วย ในเรื่องอื่นๆ เมื่อพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าโดยเลือกฟิล์มที่เหมาะสม การเคลื่อนที่ของความชื้นและไขมันระหว่างทอดและอาหารสามารถถูกควบคุมการผลิตผลิตภัณฑ์ สุดท้ายด้วยลักษณะเฉพาะ

### สรุป

การเลือกชนิดของฟิล์มที่เหมาะสมทำให้สามารถควบคุมปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันระหว่างการทอดได้ ชนิดของฟิล์มที่ยอมรับในการศึกษานี้คือจากการป้องกันการสูญเสียความชื้น และลดการดูดซึมของไขมัน ระหว่างทอดในน้ำมันท่วมได้ ในการเปรียบเทียบกับตัวควบคุม %การป้องกันการสูญเสียความชื้น ได้เท่ากับ 31.1, 21.9 และ 14.5 ในตัวอย่างที่เคลือบด้วย MC, HPMC และ CZ ตามลำดับ และ%การลดการดูดซึมของไขมัน ได้เท่ากับ 83.6, 61.4 และ 59.0 ในตัวอย่างที่เคลือบ

ด้วย MC, HPMC และ CZ ตามลำดับ ซึ่งสำหรับฟิล์มที่ใช้ทดสอบ MC เป็นฟิล์มที่มีผลในการป้องกันการสูญเสียความชื้น และลดการดูดซึมของไขมัน ได้ดีที่สุด

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. วัตถุดิบ

- 1.1 ไอโซเลตชอยโปรตีน (Isolate Soy Protein) ชื่อทางการค้า PRO FAM 974  
ลักษณะเป็นผง สีครีม ปริมาณโปรตีนอย่างต่ำ ร้อยละ 90 จาก Winsand  
industry Co.,Ltd
- 1.2 เวย์โปรตีนไอโซเลต (whey Protein Isolate) ชื่อทางการค้า sweet whey  
Powder (SP.F/CL/067) จากบริษัท แดรี่เวิร์ล จำกัด
- 1.3 Refine Glycerine USP จากบริษัท Berl: Jucker ScECIALties Limited (BJC.)
- 1.4 ผงผู้ดับเบิลแอกติง ตรา เบสท์ฟูลส์
- 1.5 สารเสริมคุณภาพ UFM 505 จาก ห้างหุ้นส่วนจำกัดเบสท์เบเกอร์ เซนต์  
เตอร์
- 1.6 แพ็กโก้ 3
- 1.7 แป้งขนมปังตราหงส์ขาว บริษัท UFM Food center
- 1.8 แป้งเอนกประสงค์ตราว่าว บริษัท UFM Food center
- 1.9 ยีสต์ Saf-Instant ของ S.I.Lesafire

#### 2. อุปกรณ์ในการเตรียมฟิล์ม

- 2.1 เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง
- 2.2 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 2.3 เตาไฟฟ้าพร้อมเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (hot plate stirrer )
- 2.4 แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar)

3. อุปกรณ์ในการเตรียมโคณฑ  
3.1 เครื่องตีไข่ (Vertical mixer )  
3.2 อุปกรณ์ในการทำเบเกอรี่
4. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ไขมัน  
4.1 Soxhlet apparatus รุ่น S 306 AK

## วิธีการ

### 1. ศึกษาวิธีการผลิตสารเคลือบที่บริโภคได้

เตรียมสารเคลือบที่บริโภคได้จาก Whey Protein Isolate และ Soy Protein Isolate โดยมีกลีเซอรินเป็นพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งมีอัตราส่วนของ WPI ต่อปริมาณน้ำ เป็น 30 : 70 , 45 : 55 , 60 : 40 อัตราส่วนของ SPI เป็น 5:95 , 7.5 : 92.5 , 10 : 90 , 12.5 : 87.5 และมีส่วนผสมของกลีเซอรินในแต่ละอัตราส่วนเป็น 3 , 5 , 7 , 9

### 2. วิธีการเตรียมโคนัท

ในการเตรียม โคนัทเพื่อที่จะนำมาทำการเคลือบสารเคลือบที่บริโภคได้ สามารถทำได้โดย การนำในส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่ แป้ง ยีสต์ นมผงมาทำการผสมกันและนำส่วนของเหลวรวมเข้ากับน้ำตาลและเกลือเช่น น้ำ และไข่ไก่ คนให้ละลาย จากนั้นนำทั้ง 2 ส่วนมาผสมโดยใช้เครื่องผสมแป้งเป็นเวลา 30 นาที นำแป้งที่ผสมเสร็จ แล้วออกมาพักทิ้งไว้เพื่อให้แป้งขึ้นเป็น 2 เท่า นำแป้งมาตัดแบ่งตามน้ำหนักให้ได้ 40 กรัม ต่อชิ้น คลึงกลม พักไว้ 5-10 นาที แล้วทำรูปร่างที่ต้องการเคลือบสารละลายฟิล์มที่ผสมไว้แล้ว ทิ้งจนฟิล์มแห้งเป็นเวลา 20 นาที นำไปทอดแล้วที่อุณหภูมิ 180 C พักให้ สะเด็ดน้ำมันนำไปบดแล้ว ไล่ความชื้นตามขั้นตอนการไล่ความชื้น และ นำไปสกัดไขมันตามวิธีการสกัดไขมัน

### 3. ศึกษาความสามารถของสารเคลือบที่บริโภคได้ในการลดการดูดซับน้ำมันของ โคนัททอด

#### 3.1 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 5 กรัม ใส่ใน thimble ปิดด้านบนของตัวอย่าง ด้วยสำลีหรือกระดาษกรอง แล้วใส่ thimble ลงใน extraction tube ที่ต่อด้านบนกับ

condensor ด้านล่างต่อกับขวดแก้วก้นกลม จากนั้นใส่ petroleum ether 130 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วก้นกลม soxhlet ทั้งหมด ปรับระดับความร้อนของ heating mantle สักคณาน 2 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไประเหย petroleum ether ออกด้วย vacuum rotary evaporator และนำส่วนของไขมันไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 30 นาที ทำให้เย็นใน desicator แล้วชั่งหาน้ำหนักไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

#### 4. สถานที่ทำการทดลองปัญหาพิเศษ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โครงการจัดตั้ง คณะอุตสาหกรรมเกษตร ตึก เจ้าคุณทหาร ห้องปฏิบัติการ ผักและผลไม้ (B 319) ชั้น 3

#### 5. ระยะเวลาในการทำปัญหาพิเศษ

ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2547 ถึงสิ้นสุดเดือนกุมภาพันธ์ 2548

## ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ศึกษาความสามารถของสารเคลือบที่บริโกลได้ในการลดการดูดซับน้ำมันของโคนัททอด

1. ศึกษาความสามารถของสารเคลือบที่บริโกลจาก Whey Protein Isolate ได้ในการลดการดูดซับน้ำมันของโคนัททอด

ศึกษาระดับของ Whey Protein Isolate(WPI) ที่มีผลในการป้องกันการดูดซับของน้ำมัน ซึ่งระดับของWPI ที่ใช้ต่อปริมาณน้ำ ได้แก่ 30:70, 45:55 และ 60:40 และในส่วนของพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งก็คือ กลีเซอริน ที่ระดับต่างๆ ดังนี้ 3, 5, 7 และ 9%

จากการทดสอบคุณสมบัติของสารเคลือบที่บริโกลได้จาก WPI พบว่าเมื่อใช้สารเคลือบที่รับประทานได้จากWPI เคลือบบนโคนัทก่อนนำไปทอด และหลังจากทอดได้มีการนำโคนัทไปวิเคราะห์ปริมาณไขมัน พบว่าปริมาณไขมันที่ได้มีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม ซึ่งมีปริมาณไขมัน 29% จากตารางที่ 11 ซึ่งแสดงถึงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model > Univariate ของ เวย์โปรตีน

ตารางที่ 11 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model > Univariate ของ เวย์  
โปรตีน

Descriptive Statistics

Dependent Variable: FAT

| WPI   | GLYCEROL | Mean      | Std. Deviation | N  |
|-------|----------|-----------|----------------|----|
| .00   | .00      | 29.003550 | 1.352059       | 2  |
|       | Total    | 29.003550 | 1.352059       | 2  |
| 30.00 | 3.00     | 30.699200 | .978777        | 2  |
|       | 5.00     | 32.688250 | .928643        | 2  |
|       | 7.00     | 25.194000 | .349876        | 2  |
|       | 9.00     | 29.983950 | 1.054367       | 2  |
|       | Total    | 29.641350 | 3.015493       | 8  |
| 45.00 | 3.00     | 28.643050 | .573110        | 2  |
|       | 5.00     | 26.907900 | .732704        | 2  |
|       | 7.00     | 30.846000 | 1.024315       | 2  |
|       | 9.00     | 27.148150 | 1.060448       | 2  |
|       | Total    | 28.386275 | 1.801132       | 8  |
| 60.00 | 3.00     | 40.061450 | 9.907E-02      | 2  |
|       | 5.00     | 34.189200 | .483661        | 2  |
|       | 7.00     | 35.617000 | .444629        | 2  |
|       | 9.00     | 34.724150 | .723158        | 2  |
|       | Total    | 36.147950 | 2.503911       | 8  |
| Total | .00      | 29.003550 | 1.352059       | 2  |
|       | 3.00     | 33.134567 | 5.467525       | 6  |
|       | 5.00     | 31.261783 | 3.485826       | 6  |
|       | 7.00     | 30.552333 | 4.696104       | 6  |
|       | 9.00     | 30.618750 | 3.503252       | 6  |
|       | Total    | 31.208142 | 4.100499       | 26 |

จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ WPI ให้สูงขึ้น ค่าปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้จะมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการแตกของฟิล์มบนผิวโคนัทในระหว่างทอด จึงทำให้น้ำมันสามารถซึมผ่านเข้าไปในโคนัทได้ และเกิดการขังตัวของน้ำมันบริเวณค่านในของฟิล์ม เมื่อนำค่าปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณค่าทางสถิติพบว่า ปริมาณของกลีเซอริน และ ปริมาณของ WPI นั้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้อย่างมีนัยสำคัญที่  $\alpha = 0.05$  และในด้านของปริมาณ WPI และกลีเซอริน ก็ยังมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้อย่างมีนัยสำคัญที่  $\alpha = 0.05$  ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model > Univariate ของ เวช  
โปรตีน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: FAT

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F         | Sig. | Noncent. Parameter | Observed Power <sup>a</sup> |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|--------------------|-----------------------------|
| Corrected Model | 411.466 <sup>b</sup>    | 12 | 34.289      | 50.164    | .000 | 601.963            | 1.000                       |
| Intercept       | 21574.565               | 1  | 21574.565   | 31562.969 | .000 | 31562.969          | 1.000                       |
| WPI             | 277.746                 | 2  | 138.873     | 203.167   | .000 | 406.334            | 1.000                       |
| GLYCEROL        | 26.139                  | 3  | 8.713       | 12.747    | .000 | 38.240             | .997                        |
| WPI * GLYCEROL  | 97.051                  | 6  | 16.175      | 23.664    | .000 | 141.983            | 1.000                       |
| Error           | 8.886                   | 13 | .684        |           |      |                    |                             |
| Total           | 25743.004               | 26 |             |           |      |                    |                             |
| Corrected Total | 420.352                 | 25 |             |           |      |                    |                             |

a. Computed using alpha = .05

b. R Squared = .979 (Adjusted R Squared = .959)

3. ศึกษาความสามารถของสารเคลือบที่บริโกลจาก Isolate Soy Protein ได้ในการลดการดูดซับน้ำมันของโคนัททอด

ศึกษาระดับของ Soy Protein Isolate(SPI) ที่มีผลในการป้องกันการดูดซับของน้ำมัน ซึ่งระดับของSPI ที่ใช้ต่อปริมาณน้ำ ได้แก่ 5:95, 7.5:92.5, 10:90 และ 12.5:87.5 ส่วนของพลาสติกไซเซอรที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งก็คือ กลีเซอริน ที่ระดับต่างๆ ดังนี้ 3, 5, 7 และ 9%

จากการทดสอบคุณสมบัติของสารเคลือบที่บริโกลได้จาก SPI พบว่าเมื่อใช้สารเคลือบที่รับประทานได้จากSPI เคลือบบนโคนัทก่อนนำไปทอด และหลังจากทอดได้มีการนำโคนัทไปวิเคราะห์ปริมาณไขมัน พบว่าปริมาณไขมันที่ได้มีค่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม ซึ่งมีปริมาณไขมัน 29% จากตารางที่ 13 ซึ่งแสดงถึงผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model > Univariate ของ Soy protein

ตารางที่ 13 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model > Univariate ของ Soy protein Isolate

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: FAT

| SPI   | GLYCEROL | Mean      | Std. Deviation | N  |
|-------|----------|-----------|----------------|----|
| .00   | .00      | 29.003550 | 1.352059       | 2  |
|       | Total    | 29.003550 | 1.352059       | 2  |
| 5.00  | 3.00     | 21.731950 | .586828        | 2  |
|       | 5.00     | 21.970600 | .799455        | 2  |
|       | 7.00     | 24.088900 | .276620        | 2  |
|       | 9.00     | 24.510900 | 1.153715       | 2  |
|       | Total    | 23.075587 | 1.445072       | 8  |
| 7.50  | 3.00     | 25.729100 | .710925        | 2  |
|       | 5.00     | 23.419300 | .429638        | 2  |
|       | 7.00     | 24.631300 | .526653        | 2  |
|       | 9.00     | 26.784550 | .658811        | 2  |
|       | Total    | 25.141063 | 1.411368       | 8  |
| 10.00 | 3.00     | 24.977350 | 1.097359       | 2  |
|       | 5.00     | 21.877950 | 1.119421       | 2  |
|       | 7.00     | 22.185850 | 8.450E-02      | 2  |
|       | 9.00     | 27.030250 | .304551        | 2  |
|       | Total    | 24.017850 | 2.342720       | 8  |
| 12.50 | 3.00     | 26.031150 | .762332        | 2  |
|       | 5.00     | 22.926450 | .798394        | 2  |
|       | 7.00     | 23.861250 | .550058        | 2  |
|       | 9.00     | 27.026400 | .921502        | 2  |
|       | Total    | 24.961313 | 1.847400       | 8  |
| Total | .00      | 29.003550 | 1.352059       | 2  |
|       | 3.00     | 24.617387 | 1.927805       | 8  |
|       | 5.00     | 22.548575 | .932259        | 8  |
|       | 7.00     | 23.691825 | 1.023822       | 8  |
|       | 9.00     | 26.338025 | 1.292209       | 8  |
|       | Total    | 24.575694 | 2.175265       | 34 |

จะเห็นว่าเมื่อเคลื่อนสารเคลือบที่ทำจาก SPI ค่าปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ ได้จะมีแนวโน้มต่ำ เมื่อนำค่าปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณค่าทางสถิติพบว่า ปริมาณของกลีเซอริน และ ปริมาณของ SPI นั้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้อย่างมีนัยสำคัญที่  $\alpha = 0.05$  และในด้านของปริมาณ SPI และกลีเซอริน ก็ยังมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ ได้ อย่างมีนัยสำคัญที่  $\alpha = 0.05$  ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model > Univariate  
ของ Soy protein Isolate

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: FAT

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F        | Sig. | Noncent. Parameter | Observed Power <sup>a</sup> |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|--------------------|-----------------------------|
| Corrected Model | 145.601 <sup>b</sup>    | 16 | 9.100       | 14.666   | .000 | 234.661            | 1.000                       |
| Intercept       | 8110.387                | 1  | 8110.387    | 9188.038 | .000 | 29188.038          | 1.000                       |
| SPI             | 21.788                  | 3  | 7.263       | 11.705   | .000 | 35.115             | .997                        |
| GLYCEROL        | 61.533                  | 3  | 20.511      | 33.057   | .000 | 99.171             | 1.000                       |
| SPI * GLYCEROL  | 20.617                  | 9  | 2.291       | 3.692    | .010 | 33.228             | .920                        |
| Error           | 10.548                  | 17 | .620        |          |      |                    |                             |
| Total           | 0690.950                | 34 |             |          |      |                    |                             |
| Corrected Total | 156.149                 | 33 |             |          |      |                    |                             |

a. Computed using alpha = .05

b. R Squared = .932 (Adjusted R Squared = .869)

## สรุป

การศึกษาถึงสารเคลือบที่บริโกลได้จาก Whey Protein Isolate และ Soy Protein Isolate เพื่อนำมาเคลือบในผลิตภัณฑ์โคนัททอด โดยมีวัตถุประสงค์ในการป้องกันการดูดซับน้ำมันของโคนัททอด ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงาน คือ ศึกษาวิธีการผลิตสารเคลือบที่บริโกลได้ วิธีการเตรียมโคนัท และ ศึกษาถึงความสามารถของสารเคลือบที่บริโกลได้ในการลดการดูดซับน้ำมันของโคนัททอด ผลการดำเนินงานสรุปได้ดังนี้ คือ

จากการศึกษาการลดการดูดซับน้ำมันในโคนัททอดด้วยสารเคลือบที่บริโกลได้ พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของ WPI ที่สูงมากขึ้น ค่าปริมาณน้ำมันที่วิเคราะห์ได้จะมีค่ามาก เนื่องจากหลังจากการทอดพบว่าการแตกของฟิล์มทำให้มีปริมาณน้ำมันซึมเข้าไปมากและมีการขังตัวของน้ำมันบริเวณค้ำในของฟิล์ม ความเข้มข้นของ SPI ที่พบว่ามีค่าเหมาะสมที่สุดที่สามารถลดปริมาณการดูดซับน้ำมันได้คือ ที่ 10 % เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่ได้มีค่าที่ต่ำที่สุด

### ข้อเสนอแนะ

1. การผลิตสารเคลือบที่บริโภคนได้จากเวย์โปรตีนในปริมาณที่กำหนด มีผลทำให้เกิดการแตกของฟิล์ม ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการลดปริมาณเวย์โปรตีนที่ใช้ และเพิ่มปริมาณกลีเซอรินเพื่อให้เกิดเป็น โครงร่างของฟิล์ม ได้ดียิ่งขึ้น
2. ศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทอดเพิ่ม เพราะอาจมีผลต่อปริมาณการดูดซับน้ำมัน
3. ศึกษาผลของการใช้สารเคลือบที่บริโภคได้กับผลิตภัณฑ์อาหารทอดเพิ่มเติม โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เคลือบเพื่อให้เห็นผลความแตกต่างที่ชัดเจนยิ่งขึ้น
4. ในปัจจุบันยังมีการนำสารเคลือบที่บริโภคได้มาใช้ประโยชน์ได้น้อยควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อใช้ประโยชน์จากสารเคลือบที่บริโภคได้ให้มากยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- นิธิยา รัตนานันท์. 2529. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 128 น.
- \_\_\_\_\_. 2534 . คอลลอยด์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 77 น.
- ปนัดดา พวงเกษม. 2540. การเตรียมฟิล์มที่บริโกลจากแป้งมันสำปะหลัง และแนวทาง การใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- มณฑาทิพย์ ชุ่มฉลาด. 2535 . ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้. อาหาร 22 (1): 1 – 6 .
- ประภาพร แซ่หลิม .การพัฒนาฟิล์มที่บริโกลได้จากโปรตีนถั่วเหลือง เพื่อใช้กัน ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- ไพศาล พงษ์ कुमार. การเตรียมแผ่นฟิล์มที่บริโกลได้จากโปรตีนในนม . สัมมนาปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รศ.ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดร.จรัญ จันทลักษณ์ . สถิติวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย. ภาควิชาสัตวบาล  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Decreasing oil uptake of doughnuts during deep fat frying using curdlan. Effect of pre-fry drying on oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. *International Journal of Food Science and Technology* **22**, p. 535 – 539.

H.L. HUSE, P. MALLIKARJUNAN, M.S. CHANNAN, Y.-C. HUNG and PHILLIPS (1997).

\_\_\_\_\_. Edible coating for reducing oil uptake in production of AKARA(deep-fat frying of cowpeapaste). *Journal of Food Processing & Preservation* **22** (1998)155-165.

K.I.Holowmia, M.S. Chinnan, M.C. Erickson, and P. Mallikarjunan(2000). Quality Evaluation of edible film – coated chicken strips and frying oils . *Journal of Food Science* Vol.65, No.6,2000.

M Rayner , V Ciolfi ,B Maves, Pstedman and GS Mittal (2000). Development and application of soy-protein film to reduce fat intake in deep-fried foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **80**.777-782(2000).

P.Mallikarjunan, M.S. Chinnan, V.M. Balasubramaniam and R.D. Phillips (1997). Edible coating for deep-fat frying of starchy products. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* **30**.709-714(1997).

Susanne Albert. Gauri S. Mittal (2001). Comparative evaluation of edible coating to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product . *Food Research International* **35** (2002) 445-458 .

V.M. Balasubramaniam, M.S.Chinnan, P.Mallikarjunan and R.D. Phillips(1996).The Effect of edible film on oil uptake and moisture retention of a deep-fat fried poultry product . *Journal of Food Processing* 20(1997)17-29.

Williams,R., &Mittal, G.S. (1999) . Water and fat transfer properties of polysaccharide films on pastry mix . *Lebensmittel-Wis-senschaft und-Technologie*, 32, 440-445.

Banker, G.S. 1966. Film coating theory and practice . *J.Pharm.Sci.* 55 (1) : 81-89.

Beerler , A.D. and D.C. Finney. 1983 .Plasticizers : In *Modern Plastics Encyclopedia* 59. McGraw – Hill Publication , New York . 587 p

Brandenburg , A.H. , C.L. Weller and R.F. Testin . 1993. Edible films and coatings from soy protein. *J. Food Sci.* 58 : 1086 – 1089

M.Mellema . 2003 . Mechanism and reduction of fat uptake in deep – fat fried food.*Trends in Food Science & Technology* 14 :364- 373

Sevim Kaya , Ahmet Kaya . 2000. Microwave drying effect on properties of whey protein isolate edible films . *J.of Food Engineering* 43 : 91-96

K.I.Holownia,M.S. Chinnan , M.C. Erickson , and P. Mallikarjunan . 2000. *JFS.vol.65,No. 6 .*

## ภาคผนวก

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้

|            |            | FAT     |          |
|------------|------------|---------|----------|
| Control    | ครั้งที่ 1 | 29.9596 | 29.00355 |
|            | ครั้งที่ 2 | 28.0475 |          |
| WPI 30 G 3 | ครั้งที่ 1 | 31.3913 | 30.6992  |
|            | ครั้งที่ 2 | 30.0071 |          |
| WPI 30 G 5 | ครั้งที่ 1 | 33.3449 | 32.68825 |
|            | ครั้งที่ 2 | 32.0316 |          |
| WPI 30 G 7 | ครั้งที่ 1 | 24.9466 | 25.194   |
|            | ครั้งที่ 2 | 25.4414 |          |
| WPI 30 G 9 | ครั้งที่ 1 | 30.7295 | 29.98395 |
|            | ครั้งที่ 2 | 29.2384 |          |
| WPI 45 G 3 | ครั้งที่ 1 | 29.0483 | 28.64305 |
|            | ครั้งที่ 2 | 28.2378 |          |
| WPI 45 G 5 | ครั้งที่ 1 | 27.426  | 26.9079  |
|            | ครั้งที่ 2 | 26.3898 |          |
| WPI 45 G 7 | ครั้งที่ 1 | 30.1217 | 30.846   |
|            | ครั้งที่ 2 | 31.5703 |          |

|            |            | FAT     |          |
|------------|------------|---------|----------|
| WPI 45 G 9 | ครั้งที่ 1 | 26.3983 | 27.14815 |
|            | ครั้งที่ 2 | 27.898  |          |
| WPI 60 G 3 | ครั้งที่ 1 | 39.9914 | 40.06145 |
|            | ครั้งที่ 2 | 40.1315 |          |
| WPI 60 G 5 | ครั้งที่ 1 | 33.8472 | 34.1892  |
|            | ครั้งที่ 2 | 34.5312 |          |
| WPI 60 G 7 | ครั้งที่ 1 | 35.3026 | 35.617   |
|            | ครั้งที่ 2 | 35.9314 |          |
| WPI 60 G 9 | ครั้งที่ 1 | 34.2128 | 34.72415 |
|            | ครั้งที่ 2 | 35.2355 |          |
| SPI 5 G 3  | ครั้งที่ 1 | 22.1469 | 21.73195 |
|            | ครั้งที่ 2 | 21.317  |          |
| SPI 5 G 5  | ครั้งที่ 1 | 22.5359 | 21.9706  |
|            | ครั้งที่ 2 | 21.4053 |          |
| SPI 5 G 7  | ครั้งที่ 1 | 23.8933 | 24.0889  |
|            | ครั้งที่ 2 | 24.2845 |          |
| SPI 5 G 9  | ครั้งที่ 1 | 25.3267 | 24.5109  |
|            | ครั้งที่ 2 | 23.6951 |          |

|              |            | FAT     |          |
|--------------|------------|---------|----------|
| SPI 7.5 G 3  | ครั้งที่ 1 | 25.2264 | 25.7291  |
|              | ครั้งที่ 2 | 26.2318 |          |
| SPI 7.5 G 5  | ครั้งที่ 1 | 23.1155 | 23.4193  |
|              | ครั้งที่ 2 | 23.7231 |          |
| SPI 7.5 G 7  | ครั้งที่ 1 | 24.2589 | 24.6313  |
|              | ครั้งที่ 2 | 25.0037 |          |
| SPI 7.5 G 9  | ครั้งที่ 1 | 27.2504 | 26.78455 |
|              | ครั้งที่ 2 | 26.3187 |          |
| SPI 10 G 3   | ครั้งที่ 1 | 25.7533 | 24.97735 |
|              | ครั้งที่ 2 | 24.2014 |          |
| SPI 10 G 5   | ครั้งที่ 1 | 21.0864 | 21.87795 |
|              | ครั้งที่ 2 | 22.6695 |          |
| SPI 10 G 7   | ครั้งที่ 1 | 22.2456 | 22.18585 |
|              | ครั้งที่ 2 | 22.1261 |          |
| SPI 10 G 9   | ครั้งที่ 1 | 27.2456 | 27.03025 |
|              | ครั้งที่ 2 | 26.8149 |          |
| SPI 12.5 G 3 | ครั้งที่ 1 | 25.4921 | 26.03115 |
|              | ครั้งที่ 2 | 26.5702 |          |
| SPI 12.5 G 5 | ครั้งที่ 1 | 23.491  | 22.92645 |
|              | ครั้งที่ 2 | 22.3619 |          |
| SPI 12.5 G 7 | ครั้งที่ 1 | 23.4723 | 23.86125 |
|              | ครั้งที่ 2 | 24.2502 |          |
| SPI 12.5 G 9 | ครั้งที่ 1 | 26.3748 | 27.0264  |
|              | ครั้งที่ 2 | 27.678  |          |

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้

|            |            | MC      |          |
|------------|------------|---------|----------|
| Control    | ครั้งที่ 1 | 29.7723 | 29.634   |
|            | ครั้งที่ 2 | 29.4957 |          |
| WPI 30 G 3 | ครั้งที่ 1 | 26.7231 | 26.74855 |
|            | ครั้งที่ 2 | 26.774  |          |
| WPI 30 G 5 | ครั้งที่ 1 | 23.4067 | 24.14705 |
|            | ครั้งที่ 2 | 24.8874 |          |
| WPI 30 G 7 | ครั้งที่ 1 | 25.4619 | 26.113   |
|            | ครั้งที่ 2 | 26.7641 |          |
| WPI 30 G 9 | ครั้งที่ 1 | 27.8877 | 27.01825 |
|            | ครั้งที่ 2 | 26.1488 |          |
| WPI 45 G 3 | ครั้งที่ 1 | 26.8446 | 26.04875 |
|            | ครั้งที่ 2 | 25.2529 |          |
| WPI 45 G 5 | ครั้งที่ 1 | 28.5625 | 28.78675 |
|            | ครั้งที่ 2 | 29.011  |          |
| WPI 45 G 7 | ครั้งที่ 1 | 28.0593 | 27.55985 |
|            | ครั้งที่ 2 | 27.0604 |          |
| WPI 45 G 9 | ครั้งที่ 1 | 28.9692 | 28.2091  |
|            | ครั้งที่ 2 | 27.449  |          |

|            |            | MC      |          |
|------------|------------|---------|----------|
| WPI 60 G 3 | ครั้งที่ 1 | 26.0944 | 26.1815  |
|            | ครั้งที่ 2 | 26.2686 |          |
| WPI 60 G 5 | ครั้งที่ 1 | 24.5539 | 24.2094  |
|            | ครั้งที่ 2 | 23.8649 |          |
| WPI 60 G 7 | ครั้งที่ 1 | 22.2161 | 22.2068  |
|            | ครั้งที่ 2 | 22.1975 |          |
| WPI 60 G 9 | ครั้งที่ 1 | 25.1833 | 24.83635 |
|            | ครั้งที่ 2 | 24.4894 |          |
| SPI 5 G 3  | ครั้งที่ 1 | 32.1817 | 32.84885 |
|            | ครั้งที่ 2 | 33.516  |          |
| SPI 5 G 5  | ครั้งที่ 1 | 31.0596 | 31.9581  |
|            | ครั้งที่ 2 | 32.8566 |          |
| SPI 5 G 7  | ครั้งที่ 1 | 30.7304 | 31.2199  |
|            | ครั้งที่ 2 | 31.7094 |          |
| SPI 5 G 9  | ครั้งที่ 1 | 31.5158 | 31.57295 |
|            | ครั้งที่ 2 | 31.6301 |          |

|              |            | MC      |          |
|--------------|------------|---------|----------|
| SPI 7.5 G 3  | ครั้งที่ 1 | 28.3547 | 27.8721  |
|              | ครั้งที่ 2 | 27.3895 |          |
| SPI 7.5 G 5  | ครั้งที่ 1 | 29.2457 | 29.00755 |
|              | ครั้งที่ 2 | 28.7694 |          |
| SPI 7.5 G 7  | ครั้งที่ 1 | 25.3238 | 24.98785 |
|              | ครั้งที่ 2 | 24.6519 |          |
| SPI 7.5 G 9  | ครั้งที่ 1 | 28.4688 | 28.6048  |
|              | ครั้งที่ 2 | 28.7408 |          |
| SPI 10 G 3   | ครั้งที่ 1 | 29.4788 | 28.4926  |
|              | ครั้งที่ 2 | 27.5064 |          |
| SPI 10 G 5   | ครั้งที่ 1 | 31.0964 | 31.21125 |
|              | ครั้งที่ 2 | 31.3261 |          |
| SPI 10 G 7   | ครั้งที่ 1 | 29.2451 | 24.86765 |
|              | ครั้งที่ 2 | 20.4902 |          |
| SPI 10 G 9   | ครั้งที่ 1 | 30.8914 | 30.4805  |
|              | ครั้งที่ 2 | 30.0696 |          |
| SPI 12.5 G 3 | ครั้งที่ 1 | 28.8744 | 28.7723  |
|              | ครั้งที่ 2 | 28.6702 |          |
| SPI 12.5 G 5 | ครั้งที่ 1 | 29.1826 | 28.91035 |
|              | ครั้งที่ 2 | 28.6381 |          |
| SPI 12.5 G 7 | ครั้งที่ 1 | 27.6165 | 28.3396  |
|              | ครั้งที่ 2 | 29.0627 |          |
| SPI 12.5 G 9 | ครั้งที่ 1 | 28.5663 | 28.50465 |
|              | ครั้งที่ 2 | 28.443  |          |

ตารางที่ 3 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model > Univariate ของ เวชโปรตีน

### Between-Subjects Factors

|          |       | N |
|----------|-------|---|
| WPI      | .00   | 2 |
|          | 30.00 | 8 |
|          | 45.00 | 8 |
|          | 60.00 | 8 |
| GLYCEROL | .00   | 2 |
|          | 3.00  | 6 |
|          | 5.00  | 6 |
|          | 7.00  | 6 |
|          | 9.00  | 6 |

### Descriptive Statistics

Dependent Variable: FAT

| WPI   | GLYCEROL | Mean      | Std. Deviation | N        |
|-------|----------|-----------|----------------|----------|
| .00   | .00      | 29.003550 | 1.352059       | 2        |
|       | Total    | 29.003550 | 1.352059       | 2        |
| 30.00 | 3.00     | 30.699200 | .978777        | 2        |
|       | 5.00     | 32.688250 | .928643        | 2        |
|       | 7.00     | 25.194000 | .349876        | 2        |
|       | 9.00     | 29.983950 | 1.054367       | 2        |
|       | Total    |           | 29.641350      | 3.015493 |
| 45.00 | 3.00     | 28.643050 | .573110        | 2        |
|       | 5.00     | 26.907900 | .732704        | 2        |
|       | 7.00     | 30.846000 | 1.024315       | 2        |
|       | 9.00     | 27.148150 | 1.060448       | 2        |
|       | Total    |           | 28.386275      | 1.801132 |
| 60.00 | 3.00     | 40.061450 | 9.907E-02      | 2        |
|       | 5.00     | 34.189200 | .483661        | 2        |
|       | 7.00     | 35.617000 | .444629        | 2        |
|       | 9.00     | 34.724150 | .723158        | 2        |
|       | Total    |           | 36.147950      | 2.503911 |
| Total | .00      | 29.003550 | 1.352059       | 2        |
|       | 3.00     | 33.134567 | 5.467525       | 6        |
|       | 5.00     | 31.261783 | 3.485826       | 6        |
|       | 7.00     | 30.552333 | 4.696104       | 6        |
|       | 9.00     | 30.618750 | 3.503252       | 6        |
|       | Total    |           | 31.208142      | 4.100499 |

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: FAT

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F         | Sig. | Noncent. Parameter | Observed Power <sup>a</sup> |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|--------------------|-----------------------------|
| Corrected Model | 411.466 <sup>b</sup>    | 12 | 34.289      | 50.164    | .000 | 601.963            | 1.000                       |
| Intercept       | 21574.565               | 1  | 21574.565   | 31562.969 | .000 | 31562.969          | 1.000                       |
| WPI             | 277.746                 | 2  | 138.873     | 203.167   | .000 | 406.334            | 1.000                       |
| GLYCEROL        | 26.139                  | 3  | 8.713       | 12.747    | .000 | 38.240             | .997                        |
| WPI * GLYCEROL  | 97.051                  | 6  | 16.175      | 23.664    | .000 | 141.983            | 1.000                       |
| Error           | 8.886                   | 13 | .684        |           |      |                    |                             |
| Total           | 25743.004               | 26 |             |           |      |                    |                             |
| Corrected Total | 420.352                 | 25 |             |           |      |                    |                             |

a. Computed using alpha = .05

b. R Squared = .979 (Adjusted R Squared = .959)

### GLYCEROL \* WPI

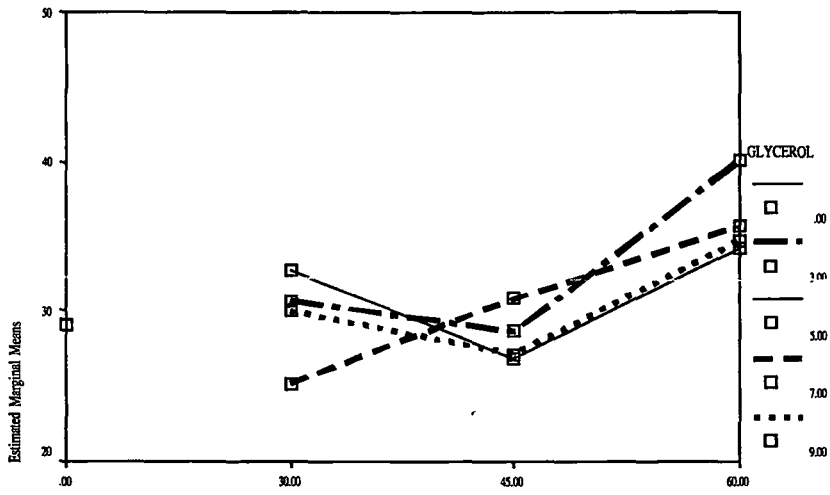
Dependent Variable: FAT

| GLYCEROL | WPI   | Mean                | Std. Error | 95% Confidence Interval |             |
|----------|-------|---------------------|------------|-------------------------|-------------|
|          |       |                     |            | Lower Bound             | Upper Bound |
| .00      | .00   | 29.004              | .585       | 27.741                  | 30.267      |
|          | 30.00 | <sup>a</sup>        | .          | .                       | .           |
|          | 45.00 | <sup>a</sup>        | .          | .                       | .           |
|          | 60.00 | <sup>a</sup>        | .          | .                       | .           |
| 3.00     | .00   | <sup>a</sup>        | .          | .                       | .           |
|          | 30.00 | 30.699 <sup>b</sup> | .585       | 29.436                  | 31.962      |
|          | 45.00 | 28.643 <sup>b</sup> | .585       | 27.380                  | 29.906      |
|          | 60.00 | 40.061 <sup>b</sup> | .585       | 38.798                  | 41.324      |
| 5.00     | .00   | <sup>a</sup>        | .          | .                       | .           |
|          | 30.00 | 32.688 <sup>b</sup> | .585       | 31.425                  | 33.951      |
|          | 45.00 | 26.908 <sup>b</sup> | .585       | 25.645                  | 28.171      |
|          | 60.00 | 34.189 <sup>b</sup> | .585       | 32.926                  | 35.452      |
| 7.00     | .00   | <sup>a</sup>        | .          | .                       | .           |
|          | 30.00 | 25.194 <sup>b</sup> | .585       | 23.931                  | 26.457      |
|          | 45.00 | 30.846 <sup>b</sup> | .585       | 29.583                  | 32.109      |
|          | 60.00 | 35.617 <sup>b</sup> | .585       | 34.354                  | 36.880      |
| 9.00     | .00   | <sup>a</sup>        | .          | .                       | .           |
|          | 30.00 | 29.984 <sup>b</sup> | .585       | 28.721                  | 31.247      |
|          | 45.00 | 27.148 <sup>b</sup> | .585       | 25.885                  | 28.411      |
|          | 60.00 | 34.724 <sup>b</sup> | .585       | 33.461                  | 35.987      |

a. This level combination of factors is not observed, thus the corresponding population marginal mean is not estimable.

b. Based on modified population marginal mean.

Estimated Marginal Means of FAT



WPI

Non-estimable means are not plotted

ตารางที่ 4 แสดง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย General Linear Model > Univariate ของ ซอยโปรตีน

**Between-Subjects Factors**

|          |       | N |
|----------|-------|---|
| SPI      | .00   | 2 |
|          | 5.00  | 8 |
|          | 7.50  | 8 |
|          | 10.00 | 8 |
|          | 12.50 | 8 |
| GLYCEROL | .00   | 2 |
|          | 3.00  | 8 |
|          | 5.00  | 8 |
|          | 7.00  | 8 |
|          | 9.00  | 8 |

**Descriptive Statistics**

Dependent Variable: FAT

| SPI   | GLYCEROL | Mean      | Std. Deviation | N  |
|-------|----------|-----------|----------------|----|
| .00   | .00      | 29.003550 | 1.352059       | 2  |
|       | Total    | 29.003550 | 1.352059       | 2  |
| 5.00  | 3.00     | 21.731950 | .586828        | 2  |
|       | 5.00     | 21.970600 | .799455        | 2  |
|       | 7.00     | 24.088900 | .276620        | 2  |
|       | 9.00     | 24.510900 | 1.153715       | 2  |
|       | Total    | 23.075587 | 1.445072       | 8  |
| 7.50  | 3.00     | 25.729100 | .710925        | 2  |
|       | 5.00     | 23.419300 | .429638        | 2  |
|       | 7.00     | 24.631300 | .526653        | 2  |
|       | 9.00     | 26.784550 | .658811        | 2  |
|       | Total    | 25.141063 | 1.411368       | 8  |
| 10.00 | 3.00     | 24.977350 | 1.097359       | 2  |
|       | 5.00     | 21.877950 | 1.119421       | 2  |
|       | 7.00     | 22.185850 | 8.450E-02      | 2  |
|       | 9.00     | 27.030250 | .304551        | 2  |
|       | Total    | 24.017850 | 2.342720       | 8  |
| 12.50 | 3.00     | 26.031150 | .762332        | 2  |
|       | 5.00     | 22.926450 | .798394        | 2  |
|       | 7.00     | 23.861250 | .550058        | 2  |
|       | 9.00     | 27.026400 | .921502        | 2  |
|       | Total    | 24.961313 | 1.847400       | 8  |
| Total | .00      | 29.003550 | 1.352059       | 2  |
|       | 3.00     | 24.617387 | 1.927805       | 8  |
|       | 5.00     | 22.548575 | .932259        | 8  |
|       | 7.00     | 23.691825 | 1.023822       | 8  |
|       | 9.00     | 26.338025 | 1.292209       | 8  |
|       | Total    | 24.575694 | 2.175265       | 34 |

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: FAT

| Source          | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F         | Sig. | Noncent. Parameter | Observed Power <sup>a</sup> |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|-----------|------|--------------------|-----------------------------|
| Corrected Model | 145.601 <sup>b</sup>    | 16 | 9.100       | 14.666    | .000 | 234.661            | 1.000                       |
| Intercept       | 18110.387               | 1  | 18110.387   | 29188.038 | .000 | 29188.038          | 1.000                       |
| SPI             | 21.788                  | 3  | 7.263       | 11.705    | .000 | 35.115             | .997                        |
| GLYCEROL        | 61.533                  | 3  | 20.511      | 33.057    | .000 | 99.171             | 1.000                       |
| SPI * GLYCEROL  | 20.617                  | 9  | 2.291       | 3.692     | .010 | 33.228             | .920                        |
| Error           | 10.548                  | 17 | .620        |           |      |                    |                             |
| Total           | 20690.950               | 34 |             |           |      |                    |                             |
| Corrected Total | 156.149                 | 33 |             |           |      |                    |                             |

a. Computed using alpha = .05

b. R Squared = .932 (Adjusted R Squared = .869)

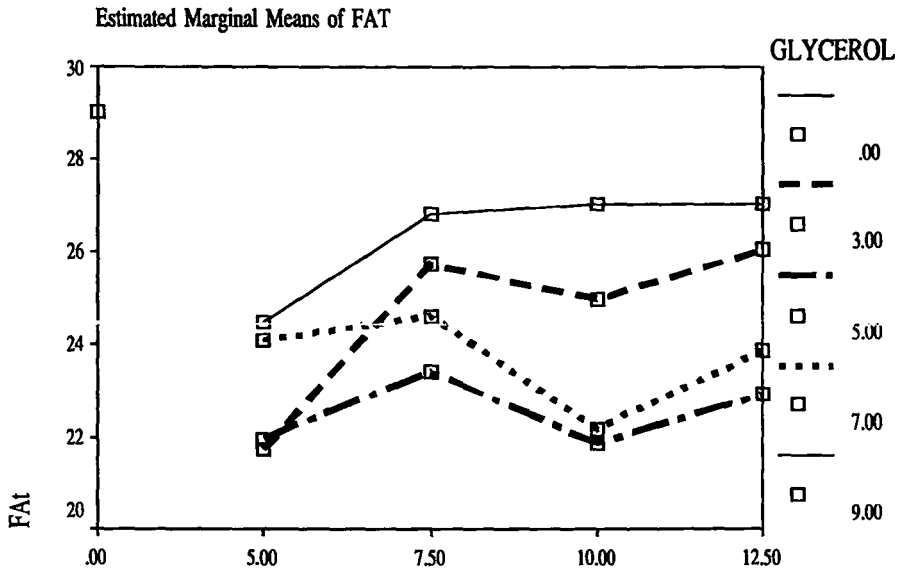
GLYCEROL \* SPI

Dependent Variable: FAT

| GLYCEROL | SPI   | Mean                | Std. Error | 95% Confidence Interval |             |
|----------|-------|---------------------|------------|-------------------------|-------------|
|          |       |                     |            | Lower Bound             | Upper Bound |
| .00      | .00   | 29.004 <sup>a</sup> | .557       | 27.828                  | 30.179      |
|          | 5.00  | . <sup>a</sup>      | .          | .                       | .           |
|          | 7.50  | . <sup>a</sup>      | .          | .                       | .           |
|          | 10.00 | . <sup>a</sup>      | .          | .                       | .           |
|          | 12.50 | . <sup>a</sup>      | .          | .                       | .           |
| 3.00     | .00   | . <sup>a</sup>      | .          | .                       | .           |
|          | 5.00  | 21.732 <sup>b</sup> | .557       | 20.557                  | 22.907      |
|          | 7.50  | 25.729 <sup>b</sup> | .557       | 24.554                  | 26.904      |
|          | 10.00 | 24.977 <sup>b</sup> | .557       | 23.802                  | 26.152      |
|          | 12.50 | 26.031 <sup>b</sup> | .557       | 24.856                  | 27.206      |
| 5.00     | .00   | . <sup>a</sup>      | .          | .                       | .           |
|          | 5.00  | 21.971 <sup>b</sup> | .557       | 20.795                  | 23.146      |
|          | 7.50  | 23.419 <sup>b</sup> | .557       | 22.244                  | 24.594      |
|          | 10.00 | 21.878 <sup>b</sup> | .557       | 20.703                  | 23.053      |
|          | 12.50 | 22.926 <sup>b</sup> | .557       | 21.751                  | 24.102      |
| 7.00     | .00   | . <sup>a</sup>      | .          | .                       | .           |
|          | 5.00  | 24.089 <sup>b</sup> | .557       | 22.914                  | 25.264      |
|          | 7.50  | 24.631 <sup>b</sup> | .557       | 23.456                  | 25.806      |
|          | 10.00 | 22.186 <sup>b</sup> | .557       | 21.011                  | 23.361      |
|          | 12.50 | 23.861 <sup>b</sup> | .557       | 22.686                  | 25.036      |
| 9.00     | .00   | . <sup>a</sup>      | .          | .                       | .           |
|          | 5.00  | 24.511 <sup>b</sup> | .557       | 23.336                  | 25.686      |
|          | 7.50  | 26.785 <sup>b</sup> | .557       | 25.609                  | 27.960      |
|          | 10.00 | 27.030 <sup>b</sup> | .557       | 25.855                  | 28.205      |
|          | 12.50 | 27.026 <sup>b</sup> | .557       | 25.851                  | 28.202      |

a. This level combination of factors is not observed, thus the corresponding population marginal mean is not estimable.

b. Based on modified population marginal mean.



SPI

Non-estimable means are not plotted

## REFINE GLYCERINE USP.

## RUBIA INDUSTRY

## Description:

Appearance: Clear syrupy liquid, free from visible foreign matter

## Physical properties:

Purity as glycerine: 99.0 % min.  
Specific gravity@ 15.5 C: not less than 1.2627  
Density: 1.265 g/cc min.  
Color: 0.3 yellow (Y) max. (not darker than standard)  
Odour & Taste: Very slight characteristic & sweet

## Chemical properties:

Sulphate ash: 0.01 % w/w max.  
Chloride: 10 ppm max.  
Arsenic (AS): 1.5 ppm max.  
Chlorinated compounds: 30 ppm max.  
Sulphate: 20 ppm max.  
Heavy metals: 5 ppm max.  
Fatty acid and esters: 0.031 % max.

Packing: Net 260 kgs/drum

.....

Bent Jucker Specialties Limited  
Bent Jucker House, 39 Soi Ruam,  
Sukhumvit #2 Road, Phra Khanong, Bangkok,  
Bangkok 10110, Thailand  
Tel: (66-2) 267-1111, 281-4520  
Fax: (66-2) 281-4548  
Registration Number 158/2514  
www.bentjucker.co.th

บริษัท เบ็นเจอร์ สเปเชียลตี้ส์ จำกัด  
อาคาร เบ็นเจอร์ 39 ซอย รุาม  
ถนนสุขุมวิท #2 แขวงคลองเตย เขตคลองเตย  
กรุงเทพฯ 10110  
โทรศัพท์: (66-2) 267-1111, 281-4520  
โทรสาร: (66-2) 281-4548  
เลขที่จดทะเบียน: 158/2514  
www.bentjucker.co.th

## CERTIFICAT DE CONFORMITE ET D'ANALYSE CERTIFICATE OF QUALITY

LACTOSERUM DOUX / SWEET WHEY POWDER  
Consommation Humaine / Human Consumption  
CDC : SP.F / CL / 067

PRDUCTION SITE : ENTREMONT QUIMPER

CLIENT/CUSTOMER : FONTERRA  
n° Contrat /Order n° : 30469

| N° LOT / BATCH N°                                      |             | L 061    | L 062    | L 063    | L 065    |
|--|-------------|----------|----------|----------|----------|
| Date Fabrication / Production Date                     |             | 01/03/04 | 02/03/04 | 03/03/04 | 05/03/04 |
| Quantité / Quantity (KG)                               |             | 26.000   | 26.000   | 26.000   | 26.000   |
| ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES / PHYSICAL-CHEMICAL QUALITY |             |          |          |          |          |
|  | NORME       |          |          |          |          |
| Humidité % / Moisture %                                | maxi 4%     | 1,6      | 1,7      | 1,8      | 2,0      |
| pH (solution à 10%) / pH (10% solution)                | mini 6      | 6,37     | 6,40     | 6,40     | 6,47     |
| Propreté / Dirt test                                   | maxi B      | A        | A        | A        | A        |
| Solubilité (ADMI/ml) / Solubility (ADMI/ml)            | maxi 0,5    | <0,1     | <0,1     | <0,1     | <0,1     |
| Nitrates ppm / Nitrates ppm                            | maxi 50     | <2,5     | <2,5     | <2,5     | <2,5     |
| Protéines % / Proteins %                               | mini 11,5   | 12,5     | 12,5     | 12,5     | 12,5     |
| Mat. Minérales % / Ash %                               | maxi 8,5    | 7,1      | 7,1      | 7,1      | 7,1      |
| ANALYSES BACTERIOLOGIQUES / MICROBIOLOGY QUALITY       |             |          |          |          |          |
| Coliformes (dans 1 g) / Coliforms (in 1 g)             | absence     | absence  | absence  | absence  | absence  |
| Spores Sulf. Réduct. /g / Spores Sulphite reducing/g   | < 20        | 1        | < 1      | < 1      | < 1      |
| Germes totaux/g / Total plate count/g                  | maxi 20 000 | 620      | 90       | 100      | 80       |
| Levures Moisissures/g / Yeasts and moulds/g            | maxi 100    | < 1      | 1        | 1        | < 1      |
| Salmonelles/100g / Salmonella/100 g                    | absence     | absence  | absence  | absence  | absence  |

Fait à Quimper, le 18/03/04

**GROUPE ENTREMONT**  
USINE DE QUIMPER  
1 rue de la République - 29556 QUIMPER CEDEX 9  
Tél. 02.98.76.55.99 - Fax 02.98.76.55.99

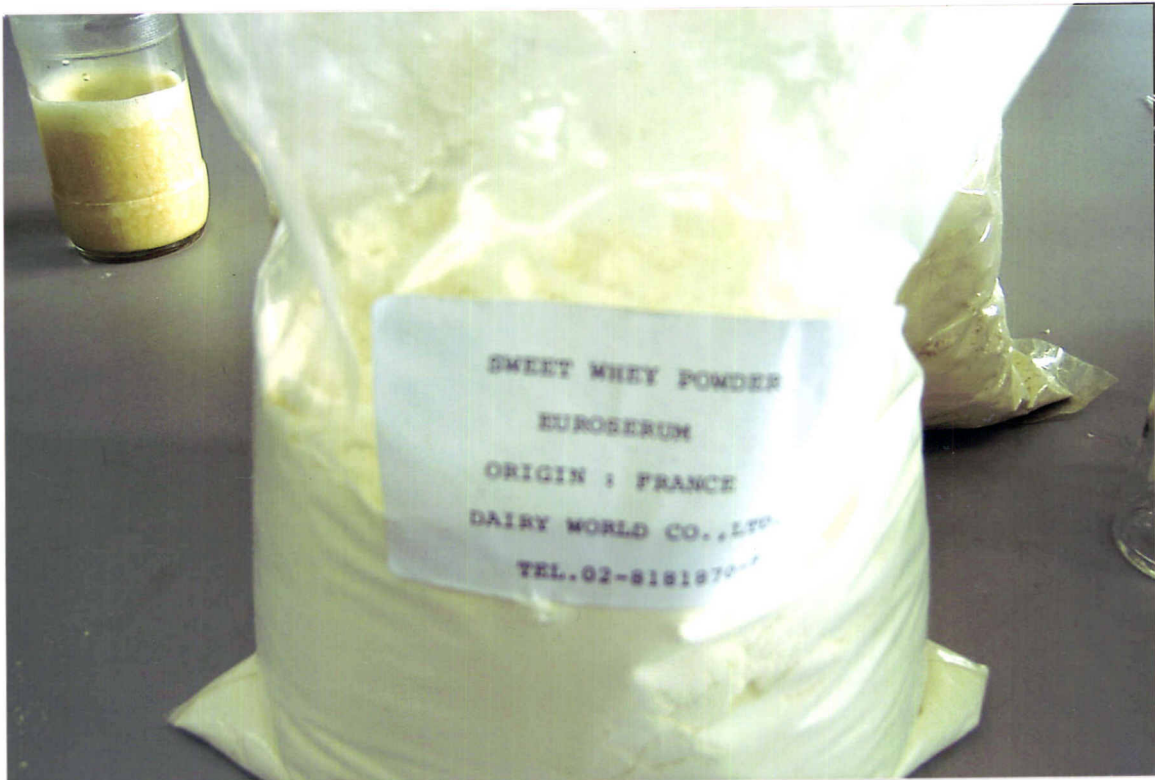
Service Qualité,  
D. NEDELEC

*D. Nedelec*

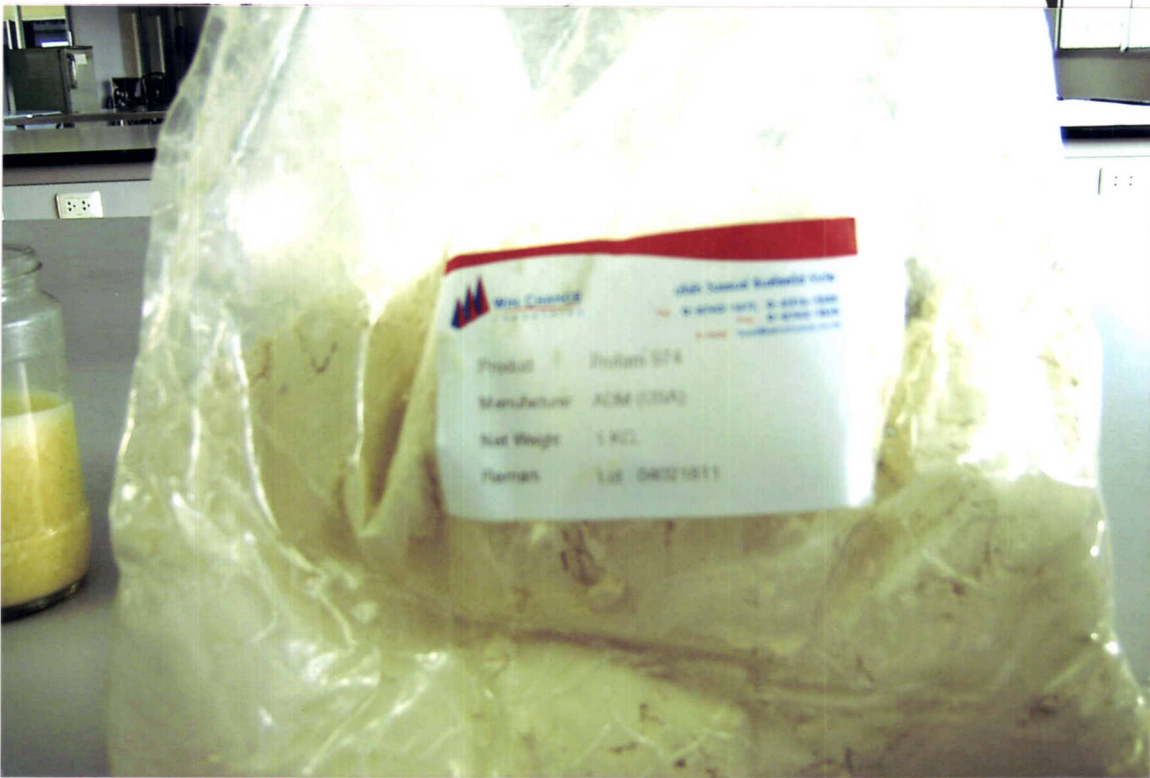




รูปที่ 1 Refined Glycerin USP



รูปที่ 2 Whey Protein Isolate



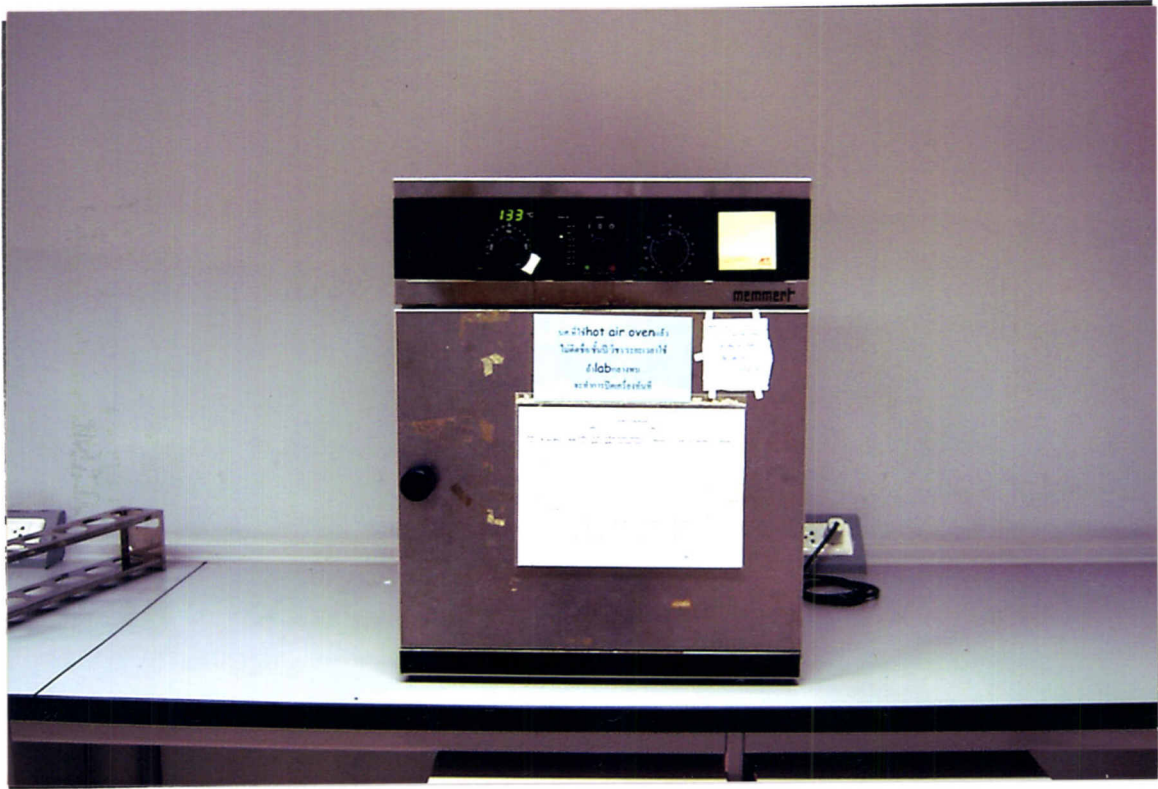
รูปที่ 3 Isolate Soy Protein



รูปที่ 4 เครื่องตีไข่



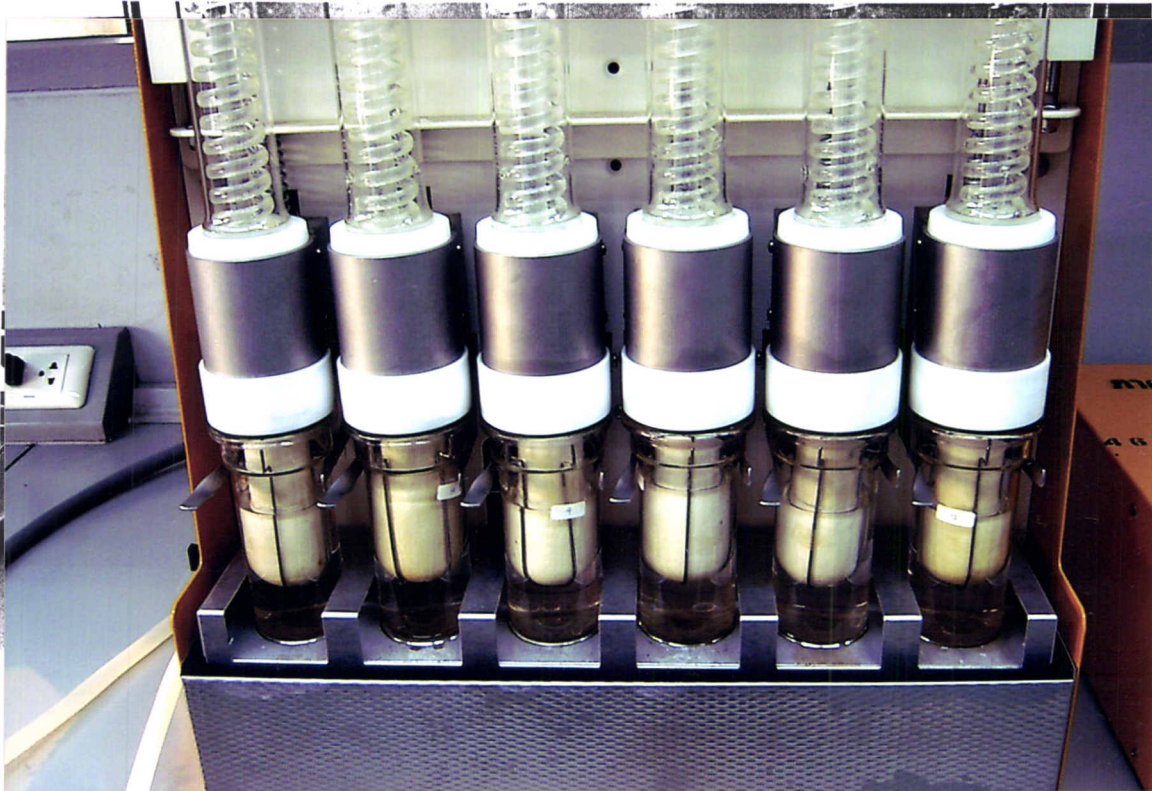
รูปที่ 5 แสดงการทอดของโดนัท



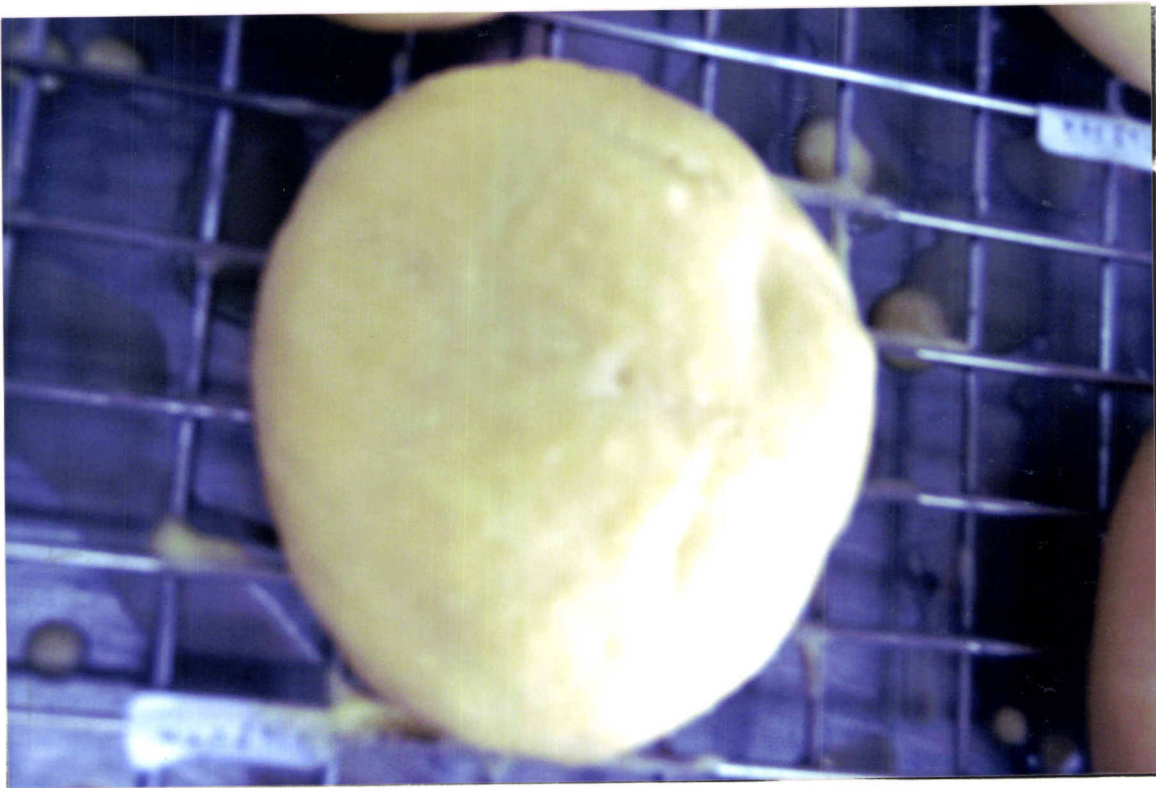
รูปที่ 6 Hot Air Oven



รูปที่ 7 ไพโตรเลียมออกไซด์



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ไขมัน



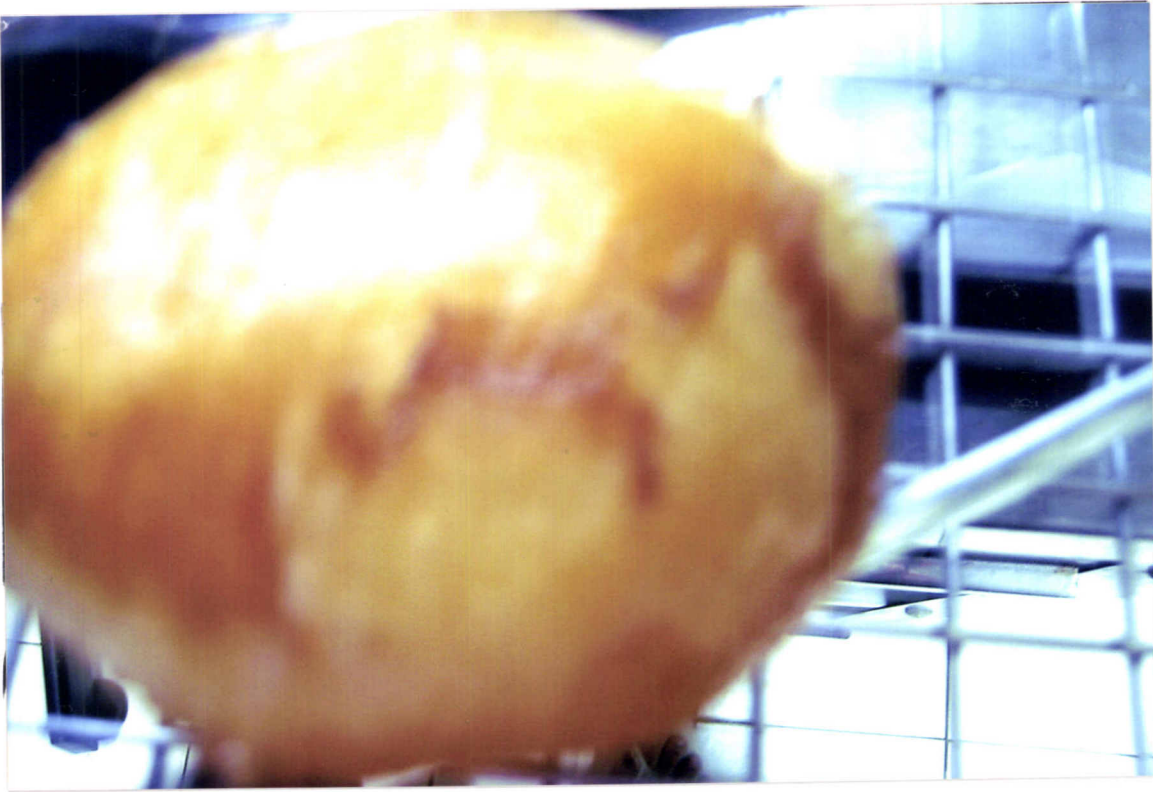
รูปที่ 9 ภาพแสดงโดนัทที่เคลือบด้วย WPI 30 % ก่อนการทอด



รูปที่ 10 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย WPI 45 % ก่อนการทอด



รูปที่ 11 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย WPI 60 % ก่อนการทอด



รูปที่ 12 ภาพแสดง โคนัทที่เคลือบด้วย WPI 30 % หลังการทอด



รูปที่ 13 ภาพแสดง โคนัทที่เคลือบด้วย WPI 45 % หลังการทอด



รูปที่ 14 ภาพแสดงโดนัทที่เคลือบด้วย WPI 60 % หลังการทอด



รูปที่ 15 ภาพแสดงโดนัทที่เคลือบด้วย SPI 5 % ก่อนการทอด



รูปที่ 16 ภาพแสดงโดนัทที่เคลือบด้วย SPI 7.5 % ก่อนการทอด



รูปที่ 17 ภาพแสดงโดนัทที่เคลือบด้วย SPI 10 % ก่อนการทอด



รูปที่ 18 ภาพแสดง โคนันท์ที่เคลือบด้วย SPI 12.5 % ก่อนการทอด



รูปที่ 19 ภาพแสดง โคนันท์ที่เคลือบด้วย SPI 5 % หลังการทอด



รูปที่ 20 ภาพแสดง โคนัทที่เคลือบด้วย SPI 7.5 % หลังการทอด



รูปที่ 21 ภาพแสดง โคนัทที่เคลือบด้วย SPI 10 % หลังการทอด



รูปที่ 22 ภาพแสดงโคนัทที่เคลือบด้วย SPI 12.5 % หลังการทอด



รูปที่ 23 Control ก่อนและหลังการทอด