



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ทุนวิจัยหมวดเงินอุดหนุน (ว.1)

ประจำปีงบประมาณ 2549

เรื่อง

การศึกษาผลของสภาวะการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยวิธีระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง  
ที่มีต่อคุณภาพน้ำส้มในระดับต้นแบบ

The Effect of Falling Film Evaporation Process for Orange Juice Production on  
Orange Juice Quality in Pilot Plant Scale

คณะผู้วิจัย

นายสุภชัย                      บุญนำมา                      หัวหน้าโครงการ  
สังกัด สำนักสวนอุตสาหกรรม

นางสาวปนัดดา                  นนทนา                      หัวหน้าโครงการร่วม  
สังกัด สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ

นางสุชาดา                      ไชยสวัสดิ์                      ผู้ร่วมโครงการ  
สังกัด สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ

นางสาววิภาวดี                  สัตตกิจ                      ผู้ร่วมโครงการ  
สังกัด สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ

นางสาวอรุณี                      ทรัพย์เจริญเลิศ                  ผู้ร่วมโครงการ  
สังกัด สำนักสวนอุตสาหกรรม

เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2556

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหย เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในช่วงฤดูการ โดยการแปรรูปน้ำส้มสดให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์เข้มข้น คณะผู้วิจัยได้ทดลองแปรรูปน้ำส้มเข้มข้นโดยใช้เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงในระดับต้นแบบ ของสำนักสวนอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทำการทดลองที่สภาวะการผลิต 2 ตัวแปร ตัวแปรละ 3 ระดับ คือ อัตราการปั่น 40, 60 และ 80 ลิตรต่อชั่วโมง และ ความดันไอน้ำ 1.0, 1.5 และ 2.0 บาร์ ทั้งนี้ในการทดลองได้กำหนดสภาวะควบคุมการทำงานของเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง คือ การใช้ความดันสุญญากาศสัมบูรณ์ที่ 300 มิลลิบาร์ และกำหนดระยะเวลาการทดลองเพิ่มความเข้มข้น 150 นาที โดยผลการทดลอง พบว่าความเข้มข้นน้ำส้มเข้มข้นเริ่มต้น 13 องศาบริกซ์ เมื่อนำไปเพิ่มความเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงที่สภาวะการผลิตดังกล่าว ผลิตได้น้ำส้มเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ การเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) และปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่สำหรับปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 39.0- 62.0 องศาบริกซ์, 1.16-1.78, 0.01-1.61% และ -21.0 ถึง -39.5% ตามลำดับ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการผลิตในเชิงพาณิชย์ พบว่า ต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นตามสภาวะการผลิตทดลองผลิต จะมีค่าการดำเนินงานผลิตอยู่ในช่วง 112 -172 บาทต่อกิโลกรัม น้ำส้มเข้มข้น

คำสำคัญ : น้ำส้ม / การเพิ่มความเข้มข้น / เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง

## Abstract

This work aimed to study the conditions of concentrated orange juice production by falling film evaporation technique, in order to solve the oversupply season. The experiments were carried out in pilot scale falling film evaporator under different juice feed rate and steam pressure, and under vacuum condition at 300 absolute millibar. The experimental results showed that the total soluble solid, total color difference ( $\Delta E$ ) and total acid increased but amount of vitamin C decrease during evaporation, in range 39.0-62.0 °Brix, 1.16-1.78 ( $\Delta E$ ) , 0.01-1.61% of total acid changed and (-)21.0 – (-)39.5% of vitamin C changed respectively. The total operating cost 112-172 Baht per kilogram of concentrated orange juice, in range, was estimated in economic study.

Keywords: Orange Juice / Concentration Method / Falling Film Evaporator

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงานวิจัย เรื่อง การศึกษาผลของสภาวะการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยวิธีระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงที่มีต่อคุณภาพน้ำส้มในระดับต้นแบบ ซึ่งเป็นทุนวิจัยหมวดเงินอุดหนุนที่ได้รับการจัดสรรจากรัฐ และขอขอบคุณสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการศึกษานี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัย

16 พฤษภาคม 2556

## สารบัญ

|                                                                   | หน้า      |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                                   | ก         |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                                | ข         |
| กิตติกรรมประกาศ                                                   | ค         |
| สารบัญ                                                            | ง         |
| รายการตาราง                                                       | ฉ         |
| รายการรูปประกอบ                                                   | ช         |
| <br>                                                              |           |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                                               | <b>1</b>  |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา                                     | 1         |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย                                       | 2         |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย                                             | 2         |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย                                      | 2         |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในงานวิจัย                           | 3         |
| <br>                                                              |           |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>                     | <b>4</b>  |
| 2.1 ส้ม                                                           | 4         |
| 2.2 คุณค่าทางอาหารของส้ม                                          | 4         |
| 2.3 ส่วนประกอบของส้ม                                              | 5         |
| 2.4 การเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำส้ม                                  | 7         |
| 2.5 การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย                                | 8         |
| 2.6 กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหย                  | 10        |
| 2.7 เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง (Falling Film Evaporator) | 14        |
| 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                                         | 16        |
| <br>                                                              |           |
| <b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>                              | <b>18</b> |
| 3.1 วัตถุประสงค์                                                  | 18        |
| 3.2 สารเคมีที่ใช้                                                 | 18        |
| 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง                                  | 18        |

|                |                                                                                                                |           |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4            | วิธีการดำเนินการวิจัย                                                                                          | 20        |
| <b>บทที่ 4</b> | <b>ผลการวิจัย</b>                                                                                              | <b>22</b> |
| 4.1            | การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำส้มสด                                                                                  | 22        |
| 4.2            | การศึกษ้อัตราการป้อนวัตถุดิบและความดันไอน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง | 23        |
| 4.3            | การประเมินต้นทุนที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มเข้มข้น                                                                   | 28        |
| <b>บทที่ 5</b> | <b>สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>                                                                             | <b>29</b> |
| 5.1            | สรุปผลการทดลอง                                                                                                 | 29        |
| 5.2            | ข้อเสนอแนะ                                                                                                     | 29        |
|                | <b>เอกสารอ้างอิง</b>                                                                                           | <b>30</b> |

## รายการตาราง

| ตาราง                                                                                                                                                 | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 สารอาหารของส้มเขียวหวาน ใน 100 กรัม                                                                                                               | 4    |
| 2.2 ชนิดของเครื่องต้มระเหยที่เหมาะสมกับอาหารเหลวชนิดต่างๆ                                                                                             | 13   |
| 4.1 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำส้ม                                                                                                                   | 22   |
| 4.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด ในน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการทดลองต่างๆ                                                                                 | 23   |
| 4.3 การเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) ของน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการผลิต น้ำส้มเข้มข้นต่างๆ ที่คั้นรูปให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำส้มคั้นสดเริ่มต้น | 24   |
| 4.4 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการผลิต น้ำส้มเข้มข้นต่างๆ ที่คั้นรูปให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำส้มคั้นสดเริ่มต้น  | 25   |
| 4.5 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการผลิตต่างๆ โดยคั้นรูปให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำส้มคั้นสด                         | 26   |
| 4.6 ต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง                                                                                 | 28   |

## รายการรูปประกอบ

| รูป                                                               | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของผลส้ม                                     | 5    |
| 2.2 การเพิ่มความเข้มข้นสารละลายด้วยวิธีแบบ Reverses Osmosis       | 9    |
| 2.3 ส่วนประกอบของ Falling-film evaporators                        | 14   |
| 3.1 เครื่องขัดล้างผลส้ม / มะนาว                                   | 18   |
| 3.2 เครื่องผ่าคั่นผลส้ม / มะนาว                                   | 19   |
| 3.3 เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง (Falling Film Evaporator) | 19   |
| 3.4 ผลส้มสด                                                       | 20   |
| 3.5 เครื่องล้างทำความสะอาดผลส้ม                                   | 20   |
| 3.6 เครื่องขัดล้างทำความสะอาดผลส้ม                                | 20   |
| 3.7 เครื่องผ่าคั่นส้ม / มะนาว                                     | 20   |
| 3.8 น้ำส้มสดที่กรองเมล็ดและเกล็ดส้ม                               | 21   |
| 3.9 เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง                           | 21   |

## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ส้ม เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย และเป็นที่ยิมนำมาบริโภคทั้งในรูปแบบของผลสดและในรูปของเครื่องดื่ม ด้วยคุณค่าทางอาหารสูง และประกอบด้วยวิตามินซี เกลิอแร และใยอาหารจากเนื้อเยื่ออ่อน จึงนิยมแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้นสด แต่เนื่องจากน้ำส้มคั้นสดไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน จึงจำเป็นต้องแปรรูปหรือผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ เพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น อีกทั้งในปัจจุบันผู้บริโภคเริ่มใส่ใจสุขภาพมากขึ้น ประกอบกับสภาพความเป็นอยู่ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากอดีต และสภาวะที่เร่งรีบของสังคมไทยในปัจจุบัน ทำให้ผู้บริโภคที่ต้องการคั้นน้ำผลไม้สดเพื่อรับประทานเองจึงมีน้อยลง จากเหตุดังที่กล่าวมา อุตสาหกรรมน้ำผลไม้พร้อมดื่มในประเทศจึงเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์น้ำส้มพร้อมดื่ม ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทที่พบได้ตามท้องตลาด คือ น้ำส้มคั้นสด ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงและมีอายุการเก็บรักษาสั้น และผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้แปรรูป ได้แก่ น้ำส้มเข้มข้น ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้นานกว่าน้ำส้มสด แต่ในปัจจุบัน ประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำส้มเข้มข้นจากต่างประเทศ เพื่อผลิตเป็นน้ำส้มพร้อมดื่มจำหน่ายภายในประเทศ ซึ่งการนำเข้าน้ำส้มเข้มข้นในแต่ละปีมีมูลค่ามากกว่า 100 ล้านบาท (สถาบันอาหาร, 2555) หากมีการศึกษาแนวทางการผลิตน้ำส้มเข้มข้นที่มีคุณภาพเช่นเดียวกับน้ำส้มเข้มข้นที่นำเข้าจากต่างประเทศ จะสามารถช่วยลดการนำเข้าน้ำส้มเข้มข้น และลดการขาดดุลทางการเงินของประเทศได้อีกทางหนึ่ง อีกทั้งการนำผลผลิตทางการเกษตรของประเทศมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ยังเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนผลผลิตของเกษตรกรในประเทศ

การผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นโดยทั่วไป มี 3 วิธี คือ การต้มระเหย การใช้เยื่อเลือกผ่าน และการแช่แข็ง (Ramteke et al., 1993) แต่วิธีการเพิ่มความเข้มข้นด้วยการใช้เยื่อเลือกผ่านและการแช่แข็งนั้น จะมีต้นทุนการผลิตสูง อีกทั้งการเพิ่มความเข้มข้นด้วย 2 วิธีนี้ จะเพิ่มความเข้มข้นได้อย่างจำกัด และเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหย นับเป็นวิธีที่น่าสนใจอีกวิธีหนึ่ง และเป็นวิธีที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถเพิ่มความเข้มข้นได้มากกว่าวิธีการเพิ่มความเข้มข้นโดยใช้เยื่อเลือกผ่าน และวิธีการแช่แข็ง แต่ถึงอย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหยจำเป็นต้องทราบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มความเข้มข้น เนื่องจากน้ำผลไม้ไม่สามารถทนความร้อนได้สูงมากนัก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสภาวะการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลือที่ลง (Falling Film Evaporator) ในระดับต้นแบบ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี และเวลาที่ผลิตภัณฑ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำในระหว่างการผลิตที่สั้น ส่งผลให้

สารอาหารภายในผลิตภัณฑ์ไม่ถูกทำลายมากเกินไป (Hartel, 1992) อีกทั้งเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นในระดับอุตสาหกรรม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะในการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยวิธีระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง
2. ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นที่ได้ในแต่ละสภาวะการผลิต
3. ประเมินต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะอัตราการป้อนวัตถุดิบและความดันไอน้ำในการเพิ่มความเข้มข้นน้ำส้มด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง
2. ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นที่ได้ในแต่ละสภาวะการผลิตกับน้ำส้มคั้นสด โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) ค่าสี (L, a, b) ปริมาณกรดทั้งหมด (g citric acid /100 ml) และปริมาณวิตามินซี (mg Ascorbic acid /100 ml)
3. ประเมินต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะของอัตราการป้อนวัตถุดิบที่อัตราการไหล 40, 60 และ 80 ลิตรต่อชั่วโมง และความดันไอน้ำ 1, 1.5 และ 2 บาร์ สำหรับการผลิตน้ำส้มเข้มข้นโดยใช้เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง
2. วิเคราะห์คุณภาพของน้ำส้มสดและน้ำส้มเข้มข้นที่ได้แต่ละสภาวะ ดังนี้
  - ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้
  - ค่าสี L a b วัดโดยเครื่องวัดสี colorimeter
  - ปริมาณกรดทั้งหมด (g citric acid /100 ml) โดยวิธีการของ AOAC, 1995
  - ปริมาณวิตามินซี (mg ascorbic acid /100 ml) โดยวิธีการของ AOAC, 1995
3. น้ำส้มเข้มข้นที่ผลิตได้แต่ละสภาวะจากเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง จะถูกนำมาคั้นรูปให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำส้มสดเพื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำส้มสด
4. ประเมินต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง
5. สรุปผลการทดลอง

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในงานวิจัย

1. แนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรให้สูงขึ้น
2. แนวทางในการพัฒนาการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงในเชิงพาณิชย์

## บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ส้ม

ส้ม เป็นผลไม้ที่จัดอยู่ในกลุ่ม Mandarins มีลักษณะทรงกลม มีทั้งส้มเปรี้ยว (Sour Orange) และส้มหวาน (Sweet Orange) โดยส้มเปรี้ยวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus aurantium* ส่วนส้มหวานมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus sinensis* ผลไม้ส้มมีด้วยกันหลายพันธุ์ เช่น เช้งเขียวหวาน เป็นต้น เปลือกของส้มจะลอกได้ง่าย (ยกเว้น ส้มเซ้ง) ได้ตรงกลางของส้มจะกลวง กลิบของผลส้มแยกกันได้ง่าย ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของส้ม อาทิเช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (องศาบริกซ์) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำส้ม กลิ่นและรสชาติของส้ม เป็นต้น คุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล การดูแลรักษา พื้นที่การเพาะปลูก และสายพันธุ์ ในปัจจุบันส้มจะมีการเพาะปลูกอยู่ทั่วไปในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก แต่สายพันธุ์ส้มที่นิยมเพาะปลูกกันในประเทศส้ม ได้แก่ ส้มจี๊ด ส้มคัมคอร์ท ส้มเขียวหวาน ส้มเซ้ง ส้มเกลี้ยง ส้มแก้ว ส้มซ่า ส้มมะละกอ ส้มมือ เกรฟฟรุต และ ส้มจุก เป็นต้น

### 2.2 คุณค่าทางอาหารของส้ม

ส้ม โดยเฉพาะส้มเขียวหวาน เป็นผลไม้ที่มีผลผลิตตลอดปี มีจำหน่ายในตลาดทั่วไปและเป็นผลไม้ที่นิยมรับประทาน อีกทั้งมีคุณค่าทางอาหารสูง ผลการวิเคราะห์สารอาหารจากส้มเขียวหวาน 100 กรัม โดยกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่า ประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.1

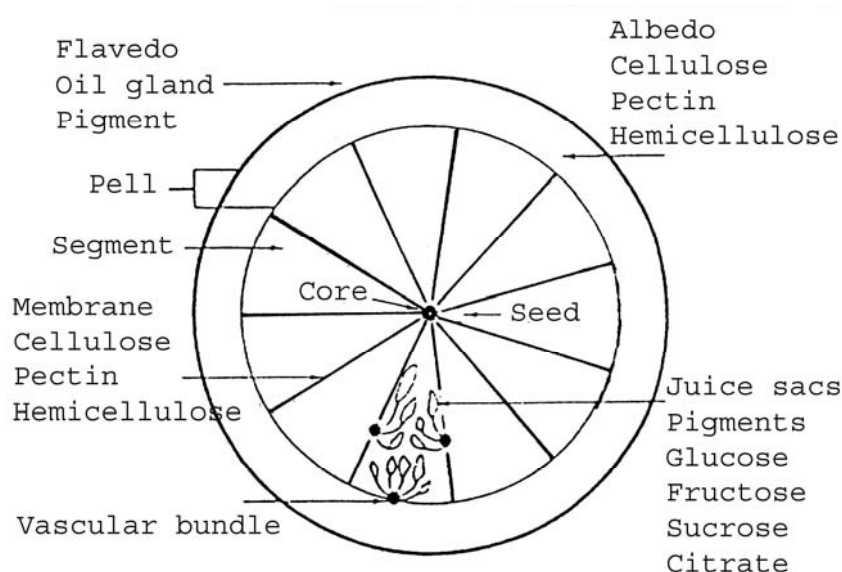
ตารางที่ 2.1 สารอาหารของส้มเขียวหวาน ใน 100 กรัม

| องค์ประกอบ   | ปริมาณต่อ 100 กรัม | องค์ประกอบ    | ปริมาณต่อ 100 กรัม |
|--------------|--------------------|---------------|--------------------|
| คาร์โบไฮเดรต | 9.0 กรัม           | วิตามินเอ     | 13 RE              |
| โปรตีน       | 0.60 กรัม          | วิตามินบี 1   | 0.04 มิลลิกรัม     |
| ไขมัน        | 0.40 กรัม          | วิตามินบี 2   | 0.05 มิลลิกรัม     |
| เถ้า         | 0.10 กรัม          | วิตามินบี 12  | 0.0011 มิลลิกรัม   |
| เส้นใย       | 1.3 กรัม           | วิตามินซี     | 42.0 มิลลิกรัม     |
| ความชื้น     | 89.9 กรัม          | เบต้า-แคโรทีน | 82.0 ไมโครกรัม     |
| พลังงาน      | 42 กิโลแคลอรี      | ไรโบฟลาวิน    | 0.04 มิลลิกรัม     |
| เหล็ก        | 0.8 มิลลิกรัม      | ฟอสฟอรัส      | 24.0 มิลลิกรัม     |
| แคลเซียม     | 30.0 มิลลิกรัม     | ไทอามีน       | 0.04 มิลลิกรัม     |

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

## 2.3 ส่วนประกอบของส้ม

ส้มจัดอยู่ใน Berry type ที่เรียกว่า Hesperidium ซึ่งเจริญเติบโตมาจากรังไข่ ประกอบด้วย 10 carpels เชื่อมติดกันเป็นวงกลมรอบ central axis ผลส้มแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ เปลือกผล (Ovary Wall) ผนังกันและแกนผล (Septa and Central Axis) และถุงน้ำหวาน (Juice Sacs) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของผลส้ม

ที่มา : Schineider, 1968

### 2.3.1 เปลือกผล (Ovary Wall) แบ่งออกเป็น 3 ชั้น

- เปลือกผลชั้นนอก เรียกว่า ฟลาเวโด (Flavedo) เป็นส่วนที่อยู่ชั้นนอกสุดของผล ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ Epidermis ที่มี Cuticle ห่อหุ้มเซลล์ Epidermis และเซลล์ Epidermis จะมีการแบ่งเซลล์จนถึงระยะผลส้มสุก ช่วงการแบ่งตัวระยะนี้ Cuticle ที่ห่อหุ้ม Epidermis จะบางลงและมีต่อมน้ำมันเกิดขึ้น ซึ่งสร้างตั้งแต่ในระยะที่เป็นรังไข่ของดอก ต่อมน้ำมันจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระยะที่ผลขยายใหญ่ ได้ชั้นของ Epidermis มีชั้นของเซลล์ Parenchyma ซึ่งมี Chloroplast เป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อผลแก่ Chlorophyll จะเปลี่ยนเป็น Chloroplast ที่เรียกว่า โครมาโตฟอร์ และจะสร้างสารพวก Carotenoid ทำให้ผลส้มเกิดสีเหลืองหรือส้มตามลักษณะประจำของแต่ละพันธุ์

- เปลือกผลชั้นกลาง เรียกว่า Albedo เซลล์ชั้นกลางของเปลือกผลเป็นเซลล์พวก Spongy Parenchyma คล้ายกับ Spongy Mesophyll ซึ่งจะเกาะกันอย่างหลวมๆ คล้ายร่างแห ทำให้มีช่องว่างระหว่างเซลล์เป็นปริมาณมาก และในชั้น Albedo จะมีสีขาวอ่อนนุ่ม การเพิ่มขนาดของผลในระยะแรกเกิดจากการเพิ่มความหนาของชั้น Albedo ส่วนการเพิ่มขนาดของช่องผลมีน้อยเมื่อผลแก่ เปลือกผลที่แกะออกมาส่วนใหญ่จะเป็นชั้นของ Flavedo และชั้น Albedo เช่น ส้มโอ แต่สำหรับส้มพวก Mandarin เช่น ส้มเขียวหวาน เปลือกที่เป็นชั้นของเปลือกชั้นนอกและชั้นกลางจะบางมาก
- เปลือกผลชั้นใน จัดเป็นชั้นในสุดของเปลือกผล คือ ส่วนที่เป็นช่องหรือกลีบผล (segment) และผนังของพูรังไข่ ก่อนที่ช่องผลจะขยายขนาด ส่วนที่เป็นจุดกำเนิดถุงน้ำหวาน (Juice Sacprimordia) จัดเรียงกันอย่างแน่นหนาและเป็นระเบียบ เมื่อช่องผลขยายโตเต็มที่ถุงน้ำหวานจะกระจัดกระจายออกไม่เป็นระเบียบ ผนังของเปลือกชั้นในจะยึดตัวออกจนตึงและปกคลุมด้วยชั้น cuticle

### 2.3.2 ผนังกลีบและแกนของผล (Septa and Central Axis)

ผนังกลีบจะเป็นผนังบาง ๆ แบ่งกันระหว่างช่องผล แต่ละกลีบประกอบด้วยผนัง 2 ชั้น ของช่องผลสองช่องมาประกบกัน สามารถแยกออกจากกันได้เป็นกลีบ เรียกว่า Segment ระหว่างผนังของกลีบ ผลทั้งสองจะมีเส้นใยที่เป็นท่อลำเลียงอาหารเส้นเล็ก ๆ สีขาว คล้ายกับ Spongy Parenchyma มาเลี้ยงผล และทุก Segment ซึ่งอยู่ในชั้นของเปลือกชั้นใน แกนผล เป็นแกนกลางของผลที่เปลี่ยนแปลงมาจากแกนของดอกแต่ละพูรังไข่ที่เชื่อกันว่ามีวิวัฒนาการจากใบนั้น ขอบของใบจะเกาะติดกับแกนกลางและที่แกนผลทางตอนล่างจะมีท่อลำเลียงอาหารกระจายไปเลี้ยงส่วนของถุงน้ำหวานและไข่อ่อน เซลล์พวกนี้เป็นพวก Spongy Parenchyma ในส้มบางพันธุ์มีแกนกลางขนาดเล็กหรือเกือบไม่มี

### 2.3.3 ถุงน้ำหวาน (Juice Sacs)

เป็นส่วนของผลที่เจริญมาจากผนังเปลือกชั้นใน บางครั้งเรียกว่าถุงน้ำหวาน ถุงน้ำหวานมีก้านยาวสั้นไม่เท่ากัน ภายในก้านไม่มีมัดท่อลำเลียงอาหารเป็นเซลล์ที่มีช่องว่างใหญ่และมีรูปร่างต่างๆ กัน

## 2.4 การเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำส้ม

น้ำส้มที่ถูกคั้นออกจากผลส้มจะเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำส้ม อาทิเช่น ปริมาณวิตามินซีที่ลดลง การเปลี่ยนแปลงของกลิ่นเฉพาะตัวของน้ำส้ม และการเปลี่ยนแปลงรสชาติของน้ำส้มคั้น เป็นต้น เมื่อตั้งน้ำส้มที่คั้นได้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิที่เรียกว่า Terebenthin หรือ Cymie โดย Terpeny เกิดจากน้ำมันหอมระเหยของเปลือกส้มที่เจือปนอยู่ในน้ำส้ม จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและกระบวนการทางชีวเคมีอื่นๆ คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำส้มที่เสื่อมเสียคุณภาพ ได้แก่

### 1. การเปลี่ยนแปลงของวิตามินซี (Ascorbic acid)

การสูญเสียวิตามินซี (Ascorbic acid) ของน้ำส้มสดและน้ำส้มเข้มข้น เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือความร้อน โดยเฉพาะในสภาวะที่มีแสงหรืออากาศ ซึ่งมักเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ (Fourie, 1996) โดยการสลายตัวของวิตามินจะสัมพันธ์กับสีที่เข้มข้นของน้ำผลไม้ ซึ่งจะเกิดจากการให้ความร้อนในสภาวะที่มีสภาพความเป็นกรด – ด่างต่ำ ทำให้น้ำตาลซึ่งเป็นองค์ประกอบที่พบในน้ำส้มเกิดปฏิกิริยาคาลาเมลไรเซชัน (caramelization) เป็น 2,3-diketogulonic acid ซึ่งสารนี้จะมีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นสารประกอบเฟอฟูรอลและเมลานอยดินในปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard browning) (Sawamura et al, 2000)

### 2. การเปลี่ยนแปลงกลิ่นธรรมชาติ (off-flavor)

เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรเมอไรเซชัน กับปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน Orange oil สัมผัสกับอากาศจะเกิด off-flavor

### 3. การเปลี่ยนแปลงความขุ่น

ลักษณะเฉพาะของน้ำผลไม้ตระกูลส้ม คือ ความขุ่น ซึ่งจะแตกต่างจากน้ำผลไม้ชนิดอื่นๆ ความขุ่นเกิดจากการกระจายตัวของเพคตินที่อยู่ในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม น้ำส้มปั่น น้ำฝรั่ง และอื่นๆ การสูญเสียความขุ่นเกิดจากปฏิกิริยา Desterication ของเพคติน โดยมีเอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส (Pectinesterase) และแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) เข้ามาร่วมในปฏิกิริยา ซึ่งจะทำให้เพคตินในน้ำส้มสูญเสียสภาพที่เป็นคอลลอยด์ (colloid) ในน้ำส้ม มีผลทำให้เกิดการแยกตัวของส่วนที่เป็นน้ำใส (serum) กับส่วนที่เป็นของแข็ง (cloud) น้ำส้มที่สูญเสียความคงตัวของความขุ่นในระหว่างการเก็บรักษาจะไม่ใช่ที่ต้องการของผู้บริโภค (Goodner, 1999)

การป้องกันการสูญเสียความขุ่นทำได้โดยการใช้ความร้อนยับยั้งหรือทำลายเอนไซม์ ถ้าใช้ความร้อนต่ำเกินไปจะไม่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ทั้งหมด เนื่องจากเอนไซม์ Pectinesterase สามารถทนความร้อนได้สูง

#### 4. การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์

ลักษณะของการเสื่อมเสียมักมาจากเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย ที่ส่วนใหญ่จะปะปนมากับน้ำส้ม น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดได้ แต่จะไม่มีผลกับเชื้อรา และยีสต์ การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์มักเกิดจากแบคทีเรียในกลุ่มแลคติก (Lactic acid bacteria) เช่น *Lactobacillus plantarum*, *L. brevis*, *L. thermophilus*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Ledextransicum* เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบการเสื่อมเสียเนื่องจากยีสต์ เช่น *Candida parapsilosis*, *C. intermedia*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulospora delbruekii* เป็นต้น (Parish and Higgins, 1989; Arias et al., 2002)

## 2.5 การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย

โดยธรรมชาติของสารละลายที่มีอยู่โดยทั่วไป จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบ และความเข้มข้นของสารละลายนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่เป็นองค์ประกอบ หากอัตราส่วนของน้ำต่อปริมาณของสารละลายเปลี่ยนแปลงจะส่งผลโดยตรงต่อความเข้มข้นของสารละลายนั้นๆ ดังนั้นกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย จึงหมายถึง กระบวนการที่แยกน้ำออกจากสารละลาย (Dewatering) ซึ่งมีหลายวิธีในการเพิ่มความเข้มข้นให้กับสารละลาย ดังนี้

### 2.5.1 การเพิ่มความเข้มข้นด้วยการต้มระเหย (Evaporation)

การระเหย คือ ปรากฏการณ์ที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ โดยอาศัยการถ่ายเทความร้อน เมื่อพิจารณาทางเทอร์โมไดนามิค การระเหยเกิดขึ้นในขณะที่มีความดันไอของของเหลวมีค่ามากกว่าความดันย่อยในที่ว่างเหนือบริเวณของของเหลวนั้น ความดันไอเป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิและส่วนประกอบของสารละลายนั้น หากสารละลายประกอบด้วยตัวถูกละลายที่ระเหยได้ยาก สารละลายนี้ก็จะมีจุดเดือดสูงขึ้น

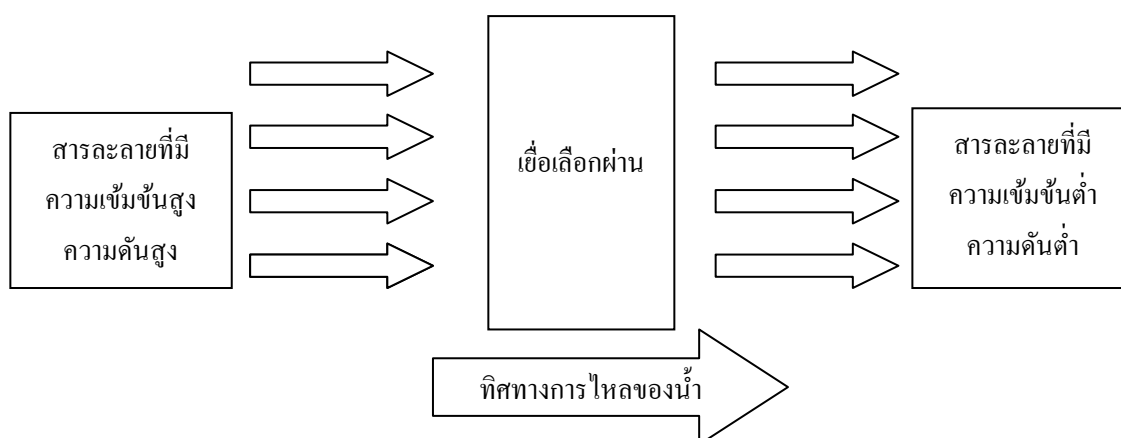
การต้มระเหยมีหลักการใหญ่ๆอยู่ 2 ประการ คือ การแลกเปลี่ยนความร้อน และการแยกตัวของไอน้ำที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับความร้อนออกจากสารละลาย การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นเมื่อสารละลายสัมผัสกับแผ่นให้ความร้อน ที่บริเวณผิวแผ่นให้ความร้อนจะเกิดฟองของไอน้ำติดอยู่ เพราะของเหลวมีอุณหภูมิใกล้กับจุดเดือด จากนั้น ฟองก็ค่อยๆโตขึ้น และหลุดลอยไปยังผิวหน้าของเหลว จากนั้นเกิดการเดือดอย่างรุนแรง ขณะนี้เองเป็นเวลาไอน้ำจากฟองแยกตัวออกจากสารละลายของเหลวเกิดเป็นฟองไอน้ำ

ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ หากองค์ประกอบของสารละลายนั้นมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำ สารตัวนั้นก็ จะระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ ทำให้สารละลายเข้มข้นที่เหลือสูญเสียคุณค่าไป อาทิเช่น เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสม เนื่องจากแอลกอฮอล์มีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำ นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้น

ด้วยวิธีการต้มระเหยจะต้องใช้ความร้อนในการระเหยนํ้าออกจากสารละลาย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสารละลายบางชนิด อาทิเช่น นํ้าผลไม้ เป็นต้น โดยทั่วไปจุดเดือดของนํ้าจะอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ แต่การระเหยนํ้าออกจากสารละลายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะไม่เหมาะกับสารละลายเข้มข้นหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณภาพของกลิ่นเนื่องจาก กลิ่นของสารละลายจะระเหยไปพร้อมกับไอนํ้า การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการนี้มักปฏิบัติงานภายใต้ความดันต่ำกว่า 1 บรรยากาศ แต่อย่างไรก็ดี วิธีนี้เป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนการผลิตต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ตัวอย่างของการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหย ได้แก่ การเคี่ยวนํ้าตาล เป็นต้น

## 2.5.2 การเพิ่มความเข้มข้นโดยวิธีเยื่อเลือกผ่าน (Reverse osmosis)

การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีนี้ใช้หลักการของการไหลของนํ้าผ่านแผ่นกรอง (Filter) จากด้านที่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่ด้านที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยอาศัยความแตกต่างระหว่างขนาดของโมเลกุลของนํ้าและสารละลาย โดยจะเพิ่มความดันให้กับสารละลายฝั่งที่มีความเข้มข้นสูง ดังแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเพิ่มความเข้มข้นสารละลายด้วยวิธีแบบ Reverse Osmosis

เมื่อนํ้าซึมผ่านเยื่อเลือกผ่านแล้ว จะพบว่า ด้านของสารละลายที่มีความดันสูงจะมีความเข้มข้นสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อดีของวิธีนี้ คือ ผลิตภัณฑ์จะไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ซึ่งจะสามารถรักษา สภาพของกลิ่นและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ได้ดี สารละลายเข้มข้นจะมีคุณภาพสูง ประสิทธิภาพของการเพิ่มความเข้มข้นขึ้นอยู่กับขนาดรูของเยื่อเลือกผ่าน และประสิทธิภาพในการ ไหลของนํ้าผ่านเยื่อดังกล่าว แต่การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีนี้จะต้องลงทุนสูงมากทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เนื่องจากราคาของเยื่อเลือกผ่านมีราคาสูงมาก อีกทั้งการทำงานจะต้องเพิ่มความดันให้กับ

สารละลายที่ต้องการเพิ่มความเข้มข้นซึ่งจะต้องใช้ปั๊มที่มีแรงดันสูงเพียงพอต่อการใช้งาน วิธีนี้จึงเหมาะสมกับสารละลายหรือผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง

### 2.5.3 การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็ง

การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็ง เป็นการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการทำให้น้ำที่เป็นตัวทำละลายในสารละลายแข็งตัวเป็นน้ำแข็ง สารละลายจะอยู่ในรูปของสารละลายเข้มข้นผสมเกล็ดน้ำแข็งจนมีลักษณะคล้ายโคลน (Slurry) หลังจากนั้นจึงทำการแยกน้ำแข็งออกจากสารละลายเข้มข้น วิธีนี้เหมาะกับการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายที่มีมูลค่าของผลิตภัณฑ์ปานกลางแต่ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมาก อาทิเช่น น้ำผลไม้ กาแฟ เบียร์ ไวน์ เป็นต้น นอกจากนี้ การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการลดของเสียจากกระบวนการผลิตก่อนการนำไปบำบัดได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการแช่แข็งจะมีคุณภาพดีกว่าการเพิ่มความเข้มข้นด้วยการต้มระเหย เนื่องจากวิธีนี้จะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าการต้มระเหย แต่ต้นทุนในการผลิตจะสูงกว่าวิธีการต้มระเหย ดังนั้น จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง

การเลือกวิธีการเพิ่มความเข้มข้นจะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายในการลงทุน คุณภาพผลิตภัณฑ์ และราคาขายผลิตภัณฑ์ หากเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการทั้ง 3 วิธี ดังที่กล่าวมา จะพบว่าวิธีการเพิ่มความเข้มข้นน้ำส้มที่เหมาะสมที่สุด คือ การเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหย เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าไม่สูงมากนัก รวมทั้งต้นทุนในการผลิตด้วยวิธีนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่นๆ

## 2.6 กระบวนการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหย

โดยหลักการการระเหยน้ำ เป็นการทำให้อาหารเหลวมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ด้วยการเปลี่ยนสถานะน้ำอิสระ (Free water) ที่มีอยู่ในอาหารเหลวให้กลายเป็นไอน้ำแยกออกจากอาหารเหลว ทั้งนี้ สารอาหารหรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ (Soluble solids) จะต้องยังคงอยู่ครบถ้วนในผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้น โดยมีหลักการทำงาน คือ ทำให้อุณหภูมิของอาหารเหลวสูงขึ้นจนถึงจุดเดือด จากนั้นรักษาอุณหภูมินั้นไว้ในช่วงเวลาที่ จะทำให้น้ำระเหยออกไปจนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ แต่ถ้าพิจารณาจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ซึ่งจะเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส ถ้าให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิดังกล่าว ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นที่ได้จะสูญเสียคุณภาพและกลิ่นรส แต่เนื่องจากน้ำที่มีอยู่ในอาหารเหลวนั้นมีองค์ประกอบต่างๆ ละลายอยู่ และน้ำก็อยู่ในสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน ทำให้จุดเดือดของน้ำเปลี่ยนไป โดยทั่วไปจุดเดือดของน้ำจะสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยจึงแตกต่างจากจุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์

นอกจากนั้น ในทางปฏิบัติหรือการผลิตในอุตสาหกรรมมักจะทำการระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศ ซึ่งจะทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลง และทำให้การระเหยน้ำออกจากอาหารเหลวมี

ประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นที่มีคุณภาพและกลิ่นรสดี แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดที่อุณหภูมิหรือความร้อน ที่จะให้แก่อาหารเหลวต้องพอดีไม่สูงเกินไป โดยเฉพาะอาหารเหลวประเภทที่ไวต่อความร้อน และไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้น การระเหยนํ้าจึงต้องพยายามหาวิธีหรือเครื่องมือที่สามารถทำให้นํ้าระเหยออกจากอาหารเหลวที่อุณหภูมิต่ำๆ และเวลาที่อาหารสัมผัสกับความร้อนน้อยที่สุด ระบบหรือเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม คือ เครื่องระเหยนํ้าสุญญากาศ

### 2.6.1 ประเภทของเครื่องต้มระเหยนํ้า

เครื่องต้มระเหยนํ้าสามารถแบ่งออกได้หลายประเภทตามลักษณะการทำงานหรืออาจจะแบ่งตามวิธีการให้ความร้อนแก่อาหารเหลว โดยเฉพาะในแง่ของเครื่องต้มระเหยนํ้าที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตอาหารเหลวเข้มข้นนั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ มากมาย เช่น ความจุความร้อน พื้นที่ผิวที่ต้องการในการถ่ายเทความร้อน ตัวกลางที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อน อื่นๆ เป็นต้น ในการจัดแบ่งประเภทของเครื่องต้มระเหยนํ้าในอุตสาหกรรมอาหารนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ

1. Calandria Evaporator เป็นกลุ่มของเครื่องระเหยนํ้าที่มีท่อส่งผ่านความร้อนขนาดสั้นๆ ที่อยู่ในแนวตั้ง (short vertical tube) และอาหารเหลวที่เคลื่อนที่ผ่านท่อความร้อน โดยธรรมชาติ (Natural circulation) โดยอาหารเหลวจะเคลื่อนที่ลงมาในแนวตั้ง นอกจากนั้นยังรวมถึงเครื่องระเหยนํ้าที่มีท่อส่งผ่านความร้อนอยู่ในแนวนอน (Horizontal tube) ด้วย ส่วนใหญ่จะมีการทำงานเป็นกะ

2. Forced Circulation Evaporator มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกยาวในแนวตั้งสำหรับใส่อาหารที่ต้องการทำเข้มข้น และมีส่วนทำความร้อนอยู่ภายนอกถังระเหย โดยจะมีเครื่องสูบอาหารเหลวให้ไหลวนเข้าไปในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อาหารเหลวร้อนขึ้นและเกิดการระเหยนํ้าขึ้น เครื่องระเหยนํ้าแบบนี้เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น ซอสมะเขือเทศเข้มข้น

3. Long Tube Vertical Evaporation มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกยาวในแนวตั้ง มีท่อส่งผ่านความร้อนวางในแนวตั้งภายในถังระเหย อาหารเหลวจะไหลวนโดยธรรมชาติ โดยจะไหลลงไปตามผิวท่อส่งผ่านความร้อนในลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เคลือบที่ผิวผนังท่อ เครื่องระเหยนํ้าแบบนี้อาหารเหลวจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของถังระเหย และจะเคลื่อนที่ขึ้น ไปตามผิวผนังท่อโดยแรงดันของฟองไอน์ (Bubble gas) ที่เกิดจากผิวท่อความร้อน นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่มีความหนืดไม่สูงมากนัก

4. Agitated-film Evaporator เครื่องระเหยน้ำแบบนี้ อาหารเหลวจะเข้าทางด้านล่างของถังระเหย แล้วไหลลงมาตามผิวผนังท่อส่งความร้อนในลักษณะแผ่นฟิล์มบางๆ รอบผิวท่อซึ่งจะมี rotor ทำให้เกิดการหมุนของอาหารเหลว ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

5. Rising falling film Evaporator เครื่องระเหยน้ำแบบนี้จะป้อนอาหารเหลวทางด้านล่างของถังระเหย และถูกนำขึ้นไปตามผิวผนังท่อในลักษณะแผ่นฟิล์ม เมื่อถึงส่วนบนของถังระเหย ใอจะถูกแยกออกจากอาหารเหลว จากนั้นอาหารเหลวเข้มข้นจะไหลลงมาออกทางด้านล่างของถังระเหย

เครื่องต้มระเหยน้ำสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ตามลักษณะของพื้นที่ผิวของการให้ความร้อนได้เป็น 6 แบบ ดังนี้

1. Tubular surfaces
  - Vertical tubes with climbing film
  - Vertical tubes with falling film
  - Inclined tubes
  - Horizontal tubes
2. Flat heating surfaces
  - Plate evaporator
  - Evaporator with welded plates (Lamellae)
3. Stationary cylindrical surface
4. Rotating cylindrical surface
5. Stationary conical surface
6. Rotating conical surface

เครื่องระเหยน้ำแต่ละประเภทจะมีประสิทธิภาพต่างๆ กัน และมีความเหมาะสมกับคุณลักษณะของอาหารเหลวต่างๆ กัน โดยเฉพาะในแง่ความหนืดของอาหารเหลว ตารางที่ 2.2 แสดงประเภทของเครื่องต้มระเหยที่เหมาะสมต่ออาหารเหลวแต่ละชนิด

ตารางที่ 2.2 ชนิดของเครื่องต้มระเหยที่เหมาะสมกับอาหารเหลวชนิดต่างๆ

| ลักษณะของอาหารเหลว                                         | เครื่องระเหยน้ำแบบ                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. อาหารเหลวที่มีความหนืดต่ำหรือปานกลางและไม่ไวต่อความร้อน | Tubular surfaces<br>Flat heating surfaces<br>Stationary conical surface                                             |
| 2. อาหารเหลวที่มีความหนืดสูงและไม่ไวต่อความร้อน            | Stationary cylindrical surface<br>Rotating conical surface                                                          |
| 3. อาหารเหลวที่มีความหนืดต่ำหรือปานกลางและไวต่อความร้อน    | Tubular surfaces<br>Flat heating surfaces<br>Stationary conical surface                                             |
| 4. อาหารเหลวที่มีความหนืดสูงและไวต่อความร้อน               | Rotating conical surface<br>Rotating cylindrical surface<br>Stationary cylindrical surface<br>Flat heating surfaces |
| 5. อาหารเหลวที่มีความหนืดต่ำและไวต่อความร้อนมาก            | Tubular surfaces<br>Flat heating surfaces<br>Stationary conical surface                                             |
| 6. อาหารเหลวที่มีความหนืดสูงและไวต่อความร้อนมาก            | Rotating conical surface<br>Rotating cylindrical surface                                                            |

### 2.6.2 การเลือกเครื่องต้มระเหยน้ำ

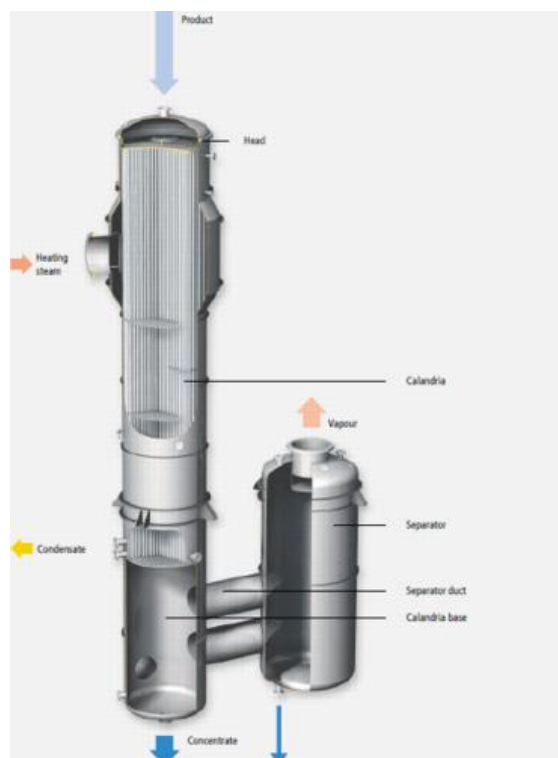
การเลือกเครื่องต้มระเหยน้ำให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของอาหารเหลวและผลิตภัณฑ์ จะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวเข้มข้นที่มีคุณภาพดี และต้นทุนต่ำสุด ดังนั้น จึงต้องมีความรู้ทั้งทางด้านคุณสมบัติของอาหารเหลวและคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องต้มระเหยน้ำแต่ละประเภท ปัจจัยที่ควรทราบในการเลือกเครื่องต้มระเหยน้ำ มีดังนี้

- ปริมาณและกำลังการผลิตที่ต้องการ (ปริมาณน้ำที่ระเหยออกต่อหน่วยเวลา หรือ kg/ hr. evaporated water)
- ความเข้มข้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ (%DS in Concentrate)
- ความไวต่อความร้อนของผลิตภัณฑ์
- สารระเหยที่เก็บไว้ได้
- การปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์

- ความยุ่งยากในการควบคุมการทำงาน
- ความสามารถในการลงทุนและต้นทุนการผลิต

## 2.7 เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง (Falling Film Evaporator)

การเพิ่มความเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายด้วยการระเหยนํ้าออกจากสารละลาย สารละลายจะถูกปั๊มเข้าด้านบนสุดของเครื่องต้มระเหย และไหลเข้าไปด้านในท่อ (tube) ภายในเครื่องต้มระเหย ซึ่งสารละลายจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ เคลือบผิวท่อด้านใน และขณะเดียวกันจะมีการให้ความร้อนบริเวณผิวท่อด้านนอกด้วยไอนํ้า เมื่อสารละลายได้รับความร้อนจากไอนํ้า นํ้าในสารละลายจะระเหยกลายเป็นไอนํ้า และถูกแยกออกทำให้สารละลายที่เหลือมีความเข้มข้นขึ้น (Billet, 1989) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของ Falling-film evaporators

ที่มา : GEA Wiegand GmbH

เครื่องต้มระเหยประเภทนี้มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย โดยเฉพาะสารละลายที่ไม่คงทนต่อความร้อน เช่น นม น้ำผลไม้ เป็นต้น

### 2.7.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง

การทำน้ำผลไม้เข้มข้น เครื่องมือที่นำมาใช้งานมักจะเป็นเครื่องต้มระเหยภายใต้สุญญากาศ แบบ steam jacket มีลักษณะเป็นหม้อต้ม สามารถควบคุมความดันภายในได้และมีเครื่องกวนภายในหม้อสำหรับกวนสารละลายขณะร้อน ภายในหม้อปรับให้มีความดันต่ำซึ่งจะทำให้ให้น้ำในน้ำผลไม้ระเหยออกมาที่อุณหภูมิต่ำ ใอน้ำที่ระเหยออกมาจะผ่านเข้าเครื่องควบแน่น และจะควบแน่นออกมาที่ท่ออีกด้านหนึ่ง การระเหยแบบนี้จะทำให้กลิ่น รส ของน้ำผลไม้สูญเสียน้อย โดยมีการระเหยอย่างรวดเร็วเนื่องจากภายในเป็นระบบสุญญากาศ จึงสามารถใช้อุณหภูมิต่ำในการทำเข้มข้น (สมบัติ, 2535) ส่วนประกอบหลักของเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง มี 4 ส่วน ดังนี้

1. ถังหรือหม้อต้มระเหย (evaporation vessel) เป็นส่วนที่ใส่อาหารเหลวที่ต้องการทำให้เข้มข้นและเป็นส่วนที่เกิดการระเหยน้ำ บางครั้งเรียกว่า boiling chamber แบบที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมมีลักษณะเป็นถัง 2 ชั้น เรียก double jacket evaporation pan ระหว่างชั้นที่เป็นช่องว่างจะเป็นส่วนที่ไอน้ำเข้าไปหล่อเลี้ยงให้ความร้อนแก่ระบบระเหยน้ำ มีระบบการกวนตรงกลางถังเพื่อช่วยกระจายความร้อนให้มีอัตราการระเหยเร็วขึ้น

2. แหล่งกำเนิดความร้อน (heat source) ในระดับอุตสาหกรรมอาจจะใช้ไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อน แต่สำหรับเครื่องต้มระเหยขนาดเล็กจะใช้เตาขดลวดไฟฟ้าหรือแหล่งให้ความร้อนจากภายนอกและต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิของระบบได้ โดยมีตัวตัดอุณหภูมิ (thermostat) เป็นตัวควบคุมให้อุณหภูมิของอาหารเหลวได้ตามที่กำหนด

3. เครื่องควบแน่น (condenser) ทำหน้าที่ควบแน่นไอน้ำที่ระเหยออกมาจากอาหารเหลวจะมีลักษณะเป็นท่อยาว ๆ มีท่อที่ขดวนอยู่ภายในช่องว่างโดยจะมีน้ำเย็นหล่อเลี้ยง เมื่อไอน้ำที่ระเหยขึ้นมาสัมผัสกับความเย็นก็จะรวมตัวเป็นหยดน้ำอีกครั้งแล้วไหลออกมาอีกทาง

4. ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ทำหน้าที่ลดความดันภายในหม้อต้มระเหยเพื่อให้เกิดสุญญากาศภายในและทำหน้าที่ช่วยกำจัดไอน้ำหรือก๊าซอื่น ๆ ที่ไม่กลั่นตัว โดยปั๊มนี้จะต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น

### 2.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยภายใต้สุญญากาศ

การระเหยภายใต้สุญญากาศจะเป็นการลดความดันภายในระบบลง ทำให้เกิดการระเหยที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ คือ 100 องศาเซลเซียส (Kyzlink, 1990) โดยปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำภายใต้สุญญากาศ มีดังนี้

- ความเร็วในการหมุนเพื่อให้ตัวอย่างสัมผัสผิวร้อนที่ผนังหม้อระเหย
- ความร้อนที่ให้กับพื้นผิวและการดึงน้ำที่เกิดการควบแน่นออกอย่างต่อเนื่อง
- ค่าความดันของระบบต่ำจะเป็นสุญญากาศสูง ทำให้เกิดการระเหยที่อุณหภูมิต่ำ

- สารเริ่มต้นมีค่าความหนืดสูง จะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน ทำให้อัตราการระเหยต่ำ
- ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของไอน้ำที่ให้ความร้อนและจุดเดือดของน้ำในอาหารเหลว

### 2.7.3 ข้อดีของการทำเข้มข้น

- สามารถป้องกันกิจกรรมของเอนไซม์ได้
- ป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ เนื่องจากน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีความหนืดสูง จะมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำ (water activity) ออกซิเจนเกิดการแพร่จากบริเวณรอบนอกเข้าสู่ภายในได้น้อย ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในอาหารได้ต่ำ จึงช่วยถนอมอาหาร
- การทำให้เข้มข้นจะช่วยรักษารส กลิ่น กลิ่นหอมระเหยและสีของน้ำผลไม้ได้ เนื่องจากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพได้ช้ากว่าน้ำผลไม้สด
- การทำให้เข้มข้นโดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 50 – 60 จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยไม่ต้องเติมสารกันเสีย
- น้ำผลไม้เข้มข้นโดยทั่วไปจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 60 แต่น้ำผลไม้ตระกูลส้มมีความเป็นกรดสูงจึงทำเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 60 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tannebaum et al., (1985) กล่าวว่าคุณค่าทางโภชนาการของน้ำส้มจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดแอสคอร์บิก การย่อยสลายของกรดแอสคอร์บิกไม่ได้มีสาเหตุมาจากเอนไซม์ ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลาย คือ ออกซิเจน แสง อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-เบส ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแอสคอร์บิก อัตราส่วนระหว่างกรดแอสคอร์บิกกับ Dehydroascorbic acid (หรือ DHA) อีออนโลหะ จุลินทรีย์ และภาชนะบรรจุกรณีที่มียูทิลิตี้ กรดแอสคอร์บิกจะเกิดการย่อยสลายในขั้นแรกไปเป็น DHA ในรูป monoanion ปฏิกริยาจะเป็นแบบ first order โดยมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดแอสคอร์บิก ปริมาณออกซิเจนและอีออนโลหะซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกริยา

ศรีศักดิ์ ตรังวัชรกุล และคณะ (2541) ทดลองเพิ่มความเข้มข้นน้ำผลไม้ ได้แก่ น้ำส้ม น้ำเสาวรส และน้ำสับปะรด โดยใช้เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มชนิดไหลขึ้น-ลง (Rising and falling film plate evaporator) ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการทดลอง จากผลการทดลอง พบว่าเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มชนิดไหลขึ้น-ลง สามารถระเหยน้ำออกจากน้ำผลไม้ด้วยอัตรา 90-100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ภายใต้สภาวะสูญญากาศ 650 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 52-56 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และกำลังพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง 12 กิโลวัตต์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเข้มข้น 48-69 องศา บริกซ์

นางลักษณ ชวาลย์กุล (2542) ทดลองเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหยน้ำส้ม โดยใช้เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มที่มีใบกวน โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของความเร็วรอบใบกวน อัตราการป้อนวัตถุดิบและความดันไอน้ำที่ใช้ในการผลิต จากผลการทดลอง พบว่า การเพิ่มความเร็วยรอบของใบกวนจะทำให้ น้ำส้มที่ผ่านการต้มระเหยมีความเข้มข้นมากขึ้น แต่การเพิ่มอัตราการป้อนจะส่งผลให้ความเข้มข้นของน้ำส้มมีความเข้มข้นต่ำกว่าการเพิ่มความเพิ่มความเร็วรอบของใบกวน ซึ่งจากการทดลองใช้น้ำส้มที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10 องศาบริกซ์ ต้มระเหยที่ความเร็วใบกวน เท่ากับ 200 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนประมาณ 16 ลิตรต่อชั่วโมง จะได้ น้ำส้มที่มีความเข้มข้น 25.2 องศาบริกซ์

ลินจง สุขล้าภู (2546) ศึกษาการถนอมรักษาน้ำส้มโดยประยุกต์ใช้ความร้อนต่ำร่วมกับสารสกัดจากขิง พบว่า การให้ความร้อนแก่น้ำส้มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ร่วมกับสารสกัดจากขิงร้อยละ 10 จะสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุการเน่าเสีย ทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำส้มมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 4 วัน ในขณะที่น้ำส้มสด มีอายุการเก็บรักษาเพียง 1 วัน และได้ทำการประเมินคุณภาพน้ำส้มในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง พบว่า น้ำส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส มีเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ที่ถูกควบคุมไว้ตลอดระยะเวลาการเก็บ และกรดแอสคอร์บิกในน้ำส้มจะมีการสูญเสียเพียงเล็กน้อยและส่วนการเกิดสีน้ำตาลในน้ำส้มจะมีสีเข้มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ศุภกิจ พานิชเจริญ และทองพล ชงสุวรรณ (2545) ศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มระเหยด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มที่มีใบกวน เพื่อให้อายุการเก็บในช่วงเวลา 1 เดือน เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำส้ม ด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มที่มีใบกวน ที่ความเข้มข้นของน้ำส้มเริ่มต้น 8-11 องศาบริกซ์ จะต้องใช้สภาวะการทำงานที่อัตราการป้อน 40 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบใบกวน 200 รอบต่อนาที และความดันสุญญากาศ 350 มิลลิเมตรปรอท น้ำส้มเข้มข้นที่ได้จะถูกนำมาพัฒนาโดยการเติมสารปรุงแต่ง เช่น สารเพิ่มความหนืด เนื้อมันสี กลิ่นและวัตถุกันเสีย พบว่า ผลิตภัณฑ์มีสีเช่นเดียวกับน้ำส้มสดและลักษณะทางกายภาพของน้ำส้มจะผสมกลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกันดีกว่าน้ำส้มสด แต่รสชาติและกลิ่นจะด้อยกว่าน้ำส้มสด ส่วนการศึกษาอายุการเก็บน้ำส้มเข้มข้นในระยะเวลา 1 เดือน พบว่า รสชาติของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างจากเดิมเพียงเล็กน้อย ส่วนลักษณะทางกายภาพของน้ำส้ม พบว่า น้ำส้มเริ่มมีสีเข้มขึ้น ความหนืดของน้ำส้มเพิ่มขึ้น และเริ่มมีตะกอนนอนก้น

## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 วัตถุดิบ

ส้มเขียวหวาน ซื้อจากตลาดสี่มุมเมือง

### 3.2 สารเคมีที่ใช้

1. สารละลายกรดเมต้า-ฟอสฟอริก ( $\text{HPO}_3$ )
2. 2,6 ไดคลอโรโรฟีนอลอินโดฟีนอล (DCPIP)
3. กรดแอสคอร์บิก
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ )
5. ฟีนอล์ฟทาลีน
6. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ )
7. กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )
8. สารอินดิเคเตอร์ ไทมอลบลู (Thymol Blue Indicator)
9. โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ )

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องขัดล้างผลส้ม / มะนาว



รูปที่ 3.1 เครื่องขัดล้างผลส้ม / มะนาว

## 2. เครื่องผ่าคั้น



รูปที่ 3.2 เครื่องผ่าคั้นผลส้ม / มะนาว

## 3. เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง (Falling Film Evaporator) สำหรับใช้ในการผลิตน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะต่าง ๆ



รูปที่ 3.3 เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง (Falling Film Evaporator)

4. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter)
5. เครื่องวัดสี colormeter โดยใช้ระบบ Hunter (L, a, b)
6. อุปกรณ์วัดความเข้มข้น (Hand Refractometer)
7. อุปกรณ์เครื่องแก้ว ได้แก่ ปิเปต, บิวเรต กระจกตวง ขวดรูปชมพู่ และอื่นๆ

### 3.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.4.1 การเตรียมน้ำส้มสดและวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำส้มสด

- 1) นำผลส้มสดมาทำความสะอาดผิวส้มด้วยเครื่องขัดล้างผลส้ม
- 2) นำผลส้มสดที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดเข้าเครื่องผ่าคั้นส้ม/มะนาว ซึ่งจะมีตะแกรงกรองเมล็ดและเกล็ดส้มออกจากน้ำส้ม
- 3) เก็บตัวอย่างน้ำส้มสดที่คั้นได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำส้มสด โดยคุณสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำส้มสด สี (L, a, b) และปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มสด



รูปที่ 3.4 ผลส้มสด



รูปที่ 3.5 เครื่องล้างทำความสะอาดผลส้ม



รูปที่ 3.6 เครื่องขัดล้างทำความสะอาดผลส้ม



รูปที่ 3.7 เครื่องผ่าคั้นส้ม / มะนาว



รูปที่ 3.8 น้ำส้มสดที่กรองเมล็ดและเกล็ดส้ม



รูปที่ 3.9 เครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง

### 3.4.2 การทดลองผลิตน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะต่างๆ และวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มเข้มข้น

- 1) ศึกษาการผลิตน้ำส้มเข้มข้นที่อัตราการป้อนน้ำส้ม ที่ 40, 60 และ 80 ลิตรต่อชั่วโมง ความดันไอน้ำที่ใช้ในเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง 1, 1.5 และ 2 บาร์ (ในแต่ละการทดลองใช้ผลส้มสด 150 กิโลกรัม)
- 2) วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มเข้มข้นที่ผลิตได้ในแต่ละสภาวะ โดยเจือจางน้ำส้มเข้มข้นให้มีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นของน้ำส้มสดเริ่มต้น แล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติเช่นเดียวกับน้ำส้มสดเริ่มต้น
- 3) เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างน้ำส้มสดเริ่มต้นกับน้ำส้มเข้มข้นหลังจากคั้นรูปแล้วที่สภาวะต่างๆ
- 4) สรุปสภาวะการผลิตน้ำส้มเข้มข้นที่เหมาะสม

### 3.4.3 ประเมินต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการผลิตต่างๆ

ทำการประเมินต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการผลิตต่างๆ ซึ่งได้รวมค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าสาธารณูปโภคในการผลิต เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับผลิตน้ำส้มเข้มข้นในอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

การทดลองศึกษาสภาวะการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยวิธีการต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงที่มีต่อคุณภาพน้ำส้มในระดับโรงงานต้นแบบ ในการทดลองใช้ส้มเขียวหวานสดเป็นวัตถุดิบ ซึ่งจะนำมาล้างทำความสะอาดผิวส้ม และนำเข้าเครื่องผ่าคั้นเพื่อคั้นเป็นน้ำส้มสด แล้วจึงนำไปทดลองที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ คือ อัตราการป้อนวัตถุดิบที่ 40, 60 และ 80 ลิตรต่อชั่วโมง และความดันไอน้ำที่ใช้ในการผลิตที่ 1, 1.5 และ 2 บาร์ น้ำส้มเข้มข้นที่ได้ในแต่ละสภาวะการผลิตจะถูกนำมาเจือจาง (dilute) ให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำส้มคั้นสดเริ่มต้น จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำส้มเข้มข้นที่ผลิตได้กับน้ำส้มคั้นสด

### 4.1 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำส้มสด

น้ำส้มสดที่ได้จากกระบวนการผ่าคั้น ซึ่งกรองเกล็ดส้มและเมล็ดออกแล้ว จะนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี แสดงผลดังตารางที่ 4.1 โดยข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำส้มสดในตารางดังกล่าว จะใช้เปรียบเทียบกับคุณภาพของน้ำส้มเข้มข้นหลังการคั้นรูปในแต่ละสภาวะการผลิตต่างๆ

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำส้ม

| องค์ประกอบ                                                   | ค่าที่วัดได้      |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|
| ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด ( $^{\circ}$ Brix)              | $13 \pm 0.1$      |
| ค่าความเป็นกรด - ต่าง                                        | $3.5 \pm 0.02$    |
| ปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคำนวณในรูปกรดซิตริก (กรัม/100 มิลลิลิตร) | $0.26 \pm 0.0002$ |
| ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)                    | $38.17 \pm 0.15$  |
| ค่าสี L                                                      | $31.55 \pm 0.07$  |
| ค่าสี a                                                      | $5.82 \pm 0.06$   |
| ค่าสี b                                                      | $16.03 \pm 0.14$  |

หมายเหตุ : L = ความสว่าง (0 = สีดำ , 100 = สีขาว)

a = สีแดง / สีเขียว (+ = สีแดง, - = สีเขียว)

b = สีเหลือง / สีนํ้าเงิน (+ = เหลือง, - = สีนํ้าเงิน)

## 4.2 การศึกษาอัตราการป้อนวัตถุดิบและความดันไอน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง

ทำการทดลองผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง ที่อัตราการป้อนวัตถุดิบ 40, 60 และ 80 ลิตรต่อชั่วโมง และความดันไอน้ำในการผลิตที่ 1, 1.5 และ 2 บาร์ โดยกำหนดให้ความดันภายในเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง เท่ากับ -0.7 บาร์เกจ หรือ ความดันสุญญากาศสัมบูรณ์ที่ 300 มิลลิบาร์ และระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มเข้มข้นแต่ละครั้ง เท่ากับ 150 นาที จากนั้นนำน้ำส้มเข้มข้นที่ผลิตได้ มาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด การเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมด และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณวิตามินซี ของน้ำส้มเข้มข้นที่ได้ในแต่ละสภาวะการทดลอง

### 4.2.1 ผลวิเคราะห์คุณภาพด้านปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดของน้ำส้มเข้มข้น

น้ำส้มสดเริ่มต้นในการทดลองแต่ละครั้ง จะมีความเข้มข้น โดยเฉลี่ย 13 องศาบริกซ์ และอุณหภูมิของน้ำส้มเริ่มต้น เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส โดยการทดลองผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง ที่อัตราการป้อนและความดันไอน้ำที่ใช้ต่างๆ มีผลต่อปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดในน้ำส้มเข้มข้น ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด ในน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการทดลองต่างๆ

| Flow Rate<br>(L/h) | ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ (°Brix) |                  |                |
|--------------------|----------------------------------------|------------------|----------------|
|                    | ความดัน 1 บาร์                         | ความดัน 1.5 บาร์ | ความดัน 2 บาร์ |
| 40                 | 42.60±0.30                             | 50.60±0.10       | 61.40±0.20     |
| 60                 | 41.00±0.50                             | 49.40±0.20       | 58.60±0.10     |
| 80                 | 39.40±0.10                             | 47.80±0.10       | 57.20±0.10     |

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดในน้ำส้มเข้มข้นที่ผลิตได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อัตราการป้อนต่ำ เนื่องจากการลดอัตราการป้อนของน้ำส้มขาเข้า ของเหลวจะไหลผ่านส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำของเครื่องต้มระเหยช้าลง ทำให้ระยะเวลาที่ของเหลวอยู่ในเครื่องต้มระเหยมากขึ้น ของเหลวจึงได้รับความร้อนมากกว่าในกรณีที่ใช้อัตราการป้อนสูง โดยจะเห็นว่าที่อัตราการป้อนน้ำส้มที่ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นของน้ำส้มจะสูงกว่าที่อัตราการป้อน 60 และ 80 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของสุภาภรณ์ (2547) ที่ได้ศึกษาผลของอัตราการป้อนสารละลายน้ำส้มในเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มที่มีใบกวน พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนของน้ำส้มขาเข้าจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น แต่มีความเข้มข้นน้อยลง

เมื่อพิจารณาผลการเพิ่มความดันไอน้ำที่ใช้ผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงพบว่า เมื่อเพิ่มความดันไอน้ำที่ใช้ผลิตสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำส้มสดเข้มข้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงขึ้นเช่นกัน เนื่องจากความดันไอน้ำที่สูงขึ้นจะให้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นซึ่งสามารถระเหยน้ำออกจากน้ำส้มคั้นสดได้มากขึ้น

#### 4.2.2 ผลวิเคราะห์คุณภาพด้านสีของน้ำส้มเข้มข้น

การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากอัตราการป้อนวัตถุดิบและความดันไอน้ำที่ใช้ในการผลิตต่อคุณภาพสีของน้ำส้มเข้มข้น โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) ของน้ำส้มเข้มข้นที่ได้ทำการคั้นรูปให้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับน้ำส้มสดเริ่มต้น ซึ่งค่า  $\Delta E$  จะบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปมีความเปลี่ยนแปลงจากวัตถุดิบเริ่มต้นมาน้อยเพียงใดในแต่ละสภาวะการทดลอง โดยแสดงผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) ของน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการผลิตน้ำส้มเข้มข้นต่างๆ ที่คั้นรูปให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำส้มคั้นสดเริ่มต้น

| Flow Rate<br>(L/h) | การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) |                  |                |
|--------------------|---------------------------------------|------------------|----------------|
|                    | ความดัน 1 บาร์                        | ความดัน 1.5 บาร์ | ความดัน 2 บาร์ |
| 40                 | 1.19 ± 0.02                           | 1.66 ± 0.01      | 1.78 ± 0.04    |
| 60                 | 1.17 ± 0.05                           | 1.28 ± 0.02      | 1.55 ± 0.03    |
| 80                 | 1.16 ± 0.03                           | 1.18 ± 0.02      | 1.38 ± 0.02    |

ผลการทดลอง พบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) ของผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อัตราการป้อนของน้ำส้มสดสูงขึ้น ส่วนการปรับความดันไอน้ำที่ใช้ในการระเหยของเครื่องต้มระเหยที่อัตราการไหลเดียวกัน พบว่า เมื่อใช้ความดันไอน้ำสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) ของผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นมีแนวโน้มสูงขึ้นตามด้วยเช่นกัน เนื่องจากการเพิ่มความดันไอน้ำ จะทำให้น้ำส้มได้รับพลังงานความร้อนมากขึ้น ทำให้น้ำในน้ำส้มระเหยออกได้มากขึ้น เป็นผลให้น้ำส้มมีความเข้มข้นสูงขึ้นและสารต่างๆ ที่อยู่ในน้ำส้ม เช่น น้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส และสารแคโรทีนอยด์ เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบชนิดอื่นๆ เนื่องจากสัมผัสความร้อนสูงหรือสัมผัสความร้อนเป็นเวลานาน เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์น้ำส้มเข้มข้นที่ได้มีสีส้มอมน้ำตาล จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม ( $\Delta E$ ) ที่อัตราการป้อนเดียวกัน พบว่า เมื่อใช้ไอน้ำที่ความดัน 2 บาร์ เป็นผลให้น้ำส้มเข้มข้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมสูงกว่าที่สภาวะการผลิตอื่น ๆ

เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากน้ำส้มซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ ทำให้น้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบในน้ำส้มเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) น้ำส้มจึงมีสีเข้มขึ้น นอกจากนี้ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากน้ำส้มจะมีผลต่อคุณภาพของน้ำส้มแล้ว ยังพบว่า ในระหว่างขั้นตอนการคั้นน้ำส้ม น้ำส้มจะสัมผัสกับอากาศแล้วทำให้กรดแอสคอร์บิกที่อยู่ในน้ำส้มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนเป็น Dehydroascorbic Acid (DHA) แล้ว DHA เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเปลี่ยนเป็น 2,3 – diketogulonic acid ซึ่งสารนี้จะมีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นสารประกอบเฟอฟูรอลและเมลานอยดินในปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) ในที่สุด (Sawamura et al., 2000)

#### 4.2.3 ผลวิเคราะห์คุณภาพด้านปริมาณกรดทั้งหมด

ผลการศึกษาปริมาณกรดทั้งหมดที่เปลี่ยนไปของน้ำส้มเข้มข้นที่ได้ทำการคั้นรูปให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำส้มสดเริ่มต้น เป็นผลมาจากการใช้อัตราการป้อนวัตถุดิบและความดันไอน้ำที่สภาวะการผลิตต่างๆ เปรียบเทียบกับปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำส้มสดเริ่มต้น ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำส้มเข้มข้นที่ผลิตได้ในแต่ละสภาวะการทดลอง ดังแสดงผลในตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการผลิตน้ำส้มเข้มข้นต่างๆ ที่คั้นรูปให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำส้มสดเริ่มต้น

| Flow Rate<br>(L/h) | ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำส้มเข้มข้น (กรัมต่อ100 มิลลิลิตร) |                  |                |
|--------------------|--------------------------------------------------------|------------------|----------------|
|                    | ความดัน 1 บาร์                                         | ความดัน 1.5 บาร์ | ความดัน 2 บาร์ |
| 40                 | 0.08 %                                                 | 1.17%            | 1.61 %         |
| 60                 | 0.02 %                                                 | 1.14 %           | 1.44 %         |
| 80                 | 0.01 %                                                 | 1.12 %           | 1.15 %         |

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำส้มสดก่อนการทดลอง พบว่า มีปริมาณกรดทั้งหมด โดยเฉลี่ยประมาณ 0.26 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของน้ำส้มสด เมื่อผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงที่สภาวะการผลิตด้วยอัตราการป้อนต่ำและใช้ความดันไอน้ำสูง ส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำส้มเข้มข้นหลังการคั้นรูปแล้วมีค่าสูงขึ้น แต่ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 2% เมื่อเทียบกับปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำส้มสดเริ่มต้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดนี้ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกเปลี่ยนเป็น dehydroascorbic acid แล้วเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องด้วยมีความร้อนซึ่งใช้เพิ่มความเข้มข้น ทำให้เกิด

การระเหยน้ำออกจากโมเลกุล จนท้ายที่สุดแล้วได้ 2-furoic acid (Shinoda และคณะ, 2005) จึงเป็นผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำส้มเข้มข้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากน้ำส้มสด

#### 4.2.4 ผลวิเคราะห์คุณภาพด้านปริมาณวิตามินซี

การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากอัตราการป้อนวัตถุดิบ และความดันไอน้ำในระดับต่างๆ ที่ใช้ในเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงต่อปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเข้มข้นหลังการคั้นรูปให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำส้มสด ซึ่งพบว่า ปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มสดเริ่มต้นมีอยู่ 38.17 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร แต่วิตามินซีที่มีอยู่ในธรรมชาติจะสลายตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสความร้อนหรือแสง การทดลองผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง โดยมีน้ำส้มคั้นสดเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำส้มเข้มข้น ซึ่งจะต้องสัมผัสกับความร้อนเพื่อระเหยน้ำออก ความร้อนที่น้ำส้มคั้นได้รับส่งผลให้วิตามินซีในน้ำส้มเกิดการสลายตัวบางส่วน ทั้งนี้ปริมาณวิตามินซีที่สลายตัวเนื่องจากความร้อนนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่น้ำส้มได้รับ ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการผลิตต่างๆ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเข้มข้นที่สภาวะการผลิตต่างๆ โดยคั้นรูปให้มีความเข้มข้นเท่ากับน้ำส้มคั้นสด

| Flow Rate<br>(L/h) | ปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) |                  |                |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|------------------|----------------|
|                    | ความดัน 1 บาร์                                              | ความดัน 1.5 บาร์ | ความดัน 2 บาร์ |
| 40                 | (-) 32.00%                                                  | (-) 34.12%       | (-) 39.44%     |
| 60                 | (-) 24.77%                                                  | (-) 26.60%       | (-) 29.35%     |
| 80                 | (-) 21.09%                                                  | (-) 26.33%       | (-) 28.15%     |

หมายเหตุ : เครื่องหมาย (-) หมายถึง ปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเริ่มต้น

จากผลการทดลองผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงที่อัตราการป้อนวัตถุดิบและใช้ความดันไอน้ำระดับต่างๆ พบว่า เมื่อใช้อัตราการป้อนของน้ำส้มสดสูงขึ้น ทำให้ปริมาณวิตามินซีเกิดการสลายตัวได้น้อยกว่า เนื่องจากที่อัตราการป้อนของน้ำส้มสดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำส้มสดกับไอน้ำภายในเครื่องต้มระเหยมีระยะเวลาด้าน แต่วัตถุประสงค์ของงานวิจัยต้องการเพิ่มความเข้มข้นน้ำส้มให้สูงขึ้น จึงทำให้ต้องมีการวนน้ำส้มกลับเข้าสู่ห้องต้มระเหยอีกจนกว่าจะครบเวลาทดลองที่ได้กำหนดไว้ (กำหนดเวลาการทดลองในการเพิ่มความเข้มข้น ทั้งหมด 150 นาที) ซึ่งน้ำส้มที่วนกลับเข้าสู่ห้องต้มระเหยแต่ละครั้ง จะได้รับปริมาณความร้อน

เท่าเดิม แต่ความเข้มข้นของน้ำส้มเพิ่มขึ้น ดังนั้น ปริมาณวิตามินซีจึงลดลง ถึงแม้ว่าจะใช้อัตราการป้อนที่สูงขึ้นก็ตาม

สำหรับการทดลองผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยการเพิ่มความดันไอน้ำ ที่อัตราการป้อนวัตถุดิบเดียวกัน มีผลต่อปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเข้มข้นเช่นกัน เนื่องจากการเพิ่มความดันไอน้ำเป็นการเพิ่มปริมาณพลังงานความร้อนให้กับน้ำส้มสดที่ต้องการเพิ่มความเข้มข้น ซึ่งแต่ละสภาวะการผลิตจะใช้น้ำส้มสดในปริมาณเท่ากัน ดังนั้น การใช้ความดันไอน้ำสูงในการผลิต ทำให้น้ำส้มได้รับพลังงานความร้อนมากขึ้น และวิตามินซีในน้ำส้มเกิดการสลายตัวมากกว่าการใช้ความดันไอน้ำต่ำในการผลิต กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีจะเสื่อมสลายได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับความชื้น โดยเฉพาะในสภาวะที่มีแสงหรืออากาศ ซึ่งมักเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปน้ำผลไม้ (Fourie, 1996) โดยเฉพาะการผลิตน้ำส้มเข้มข้นที่อัตราการป้อน 40 ลิตรต่อชั่วโมง และใช้ความดันไอน้ำ 2 บาร์ ปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเข้มข้นหลังการคั้นรูปแล้วจะเกิดการสลายตัวมากที่สุด เท่ากับ 39.44 % ส่วนสภาวะการผลิตน้ำส้มเข้มข้นที่อัตราการป้อน 80 ลิตรต่อชั่วโมง และใช้ความดันไอน้ำ 1 บาร์ เป็นผลให้ปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มเข้มข้นหลังการคั้นรูปแล้ว เกิดการสลายตัวของวิตามินซีน้อยสุด เท่ากับ 21.09%

#### 4.3 การประเมินต้นทุนที่ใช้ในการผลิตน้ำส้มเข้มข้น

น้ำส้มสดที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง มีน้ำหนัก 150 กิโลกรัม ซึ่งมาจากผลส้มสด 350 กิโลกรัม และใช้เวลาในการผลิตน้ำส้มเข้มข้นแต่ละครั้ง 150 นาที จะได้ผลผลิตน้ำส้มเข้มข้นในแต่ละการทดลอง และมีต้นทุนการดำเนินการผลิตน้ำส้มเข้มข้นในแต่ละครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง

| รายการ                                    | สภาวะการผลิต |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                           | 40           |       |       | 60    |       |       | 80    |       |       |
| อัตราการป้อน(ลิตร/ชั่วโมง)                |              |       |       |       |       |       |       |       |       |
| ความดันไอน้ำ (บาร์)                       | 1.0          | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   | 1.0   | 1.5   | 2.0   |
| ค่าวัตถุดิบ (บาท)                         | 4,375        |       |       | 4,375 |       |       | 4,375 |       |       |
| ค่าแรงงานผลิต (บาท)                       | 1,250        |       |       | 1,250 |       |       | 1,250 |       |       |
| ค่าไฟฟ้า (บาท)                            | 40           |       |       | 40    |       |       | 40    |       |       |
| ค่าน้ำ (บาท)                              | 13           |       |       | 13    |       |       | 13    |       |       |
| ค่าผลิตไอน้ำ (บาท)                        | 118          | 124   | 130   | 117   | 126   | 132   | 118   | 128   | 135   |
| น้ำส้มเข้มข้นที่ผลิตได้<br>(กก.ผลิตภัณฑ์) | 45.75        | 40.50 | 33.75 | 49.56 | 41.47 | 35.30 | 51.50 | 42.79 | 36.10 |
| ความเข้มข้น (องศาบริกซ์)                  | 42.6         | 50.6  | 61.4  | 41.0  | 49.4  | 58.6  | 39.4  | 47.8  | 57.2  |
| ต้นทุนการผลิต<br>(บาท/กก.ผลิตภัณฑ์)       | 126.7        | 143.3 | 172.1 | 116.9 | 140.0 | 164.6 | 112.5 | 135.7 | 161.0 |

หมายเหตุ : ค่าวัตถุดิบผลส้มสด 350 กิโลกรัม กิโลกรัมละ 12.50 บาท

ค่าแรงงานผลิต 250 บาทต่อวัน ใช้คนผลิต จำนวน 5 คน

ค่าผลิตไอน้ำ คำนวณจากการใช้น้ำมันของ Boiler ในการผลิตไอน้ำ

จากผลการประเมินต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้น ดังตารางที่ 4.6 พบว่า ต้นทุนการผลิตแปรตามความเข้มข้นของน้ำส้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสภาวะการผลิตที่อัตราการป้อนวัตถุดิบ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ความดันไอน้ำ 2 บาร์ จะมีต้นทุนการผลิตสูงที่สุด เท่ากับ 172 บาทต่อกิโลกรัมน้ำส้มเข้มข้น ซึ่งได้น้ำส้มที่มีความเข้มข้น 61.4 องศาบริกซ์ ส่วนสภาวะการผลิตที่อัตราการป้อนวัตถุดิบ 80 ลิตรต่อชั่วโมง และความดันไอน้ำ 1 บาร์ จะมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด เท่ากับ 112.50 บาทต่อกิโลกรัมน้ำส้มเข้มข้น และได้ น้ำส้มที่มีความเข้มข้น 39.4 องศาบริกซ์

## บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาดทดลองผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยสภาวะการผลิตที่อัตราการป้อนวัตถุดิบ 40, 60 และ 80 ลิตรต่อชั่วโมง และใช้ความดันไอน้ำ 1.0, 1.5 และ 2.0 บาร์ ควบคุมความดันภายในเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงในระหว่างการผลิตด้วยสภาพสุญญากาศ ที่ -0.7 บาร์เกจ หรือความดันสัมบูรณ์ 300 มิลลิบาร์ ใช้เวลาในการเพิ่มความเข้มข้นทั้งหมด 150 นาที พบว่า อัตราการป้อนวัตถุดิบและความดันไอน้ำที่ระดับต่างๆ ดังกล่าว มีผลต่อคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำส้มเข้มข้นที่ผลิตได้ ทั้งปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ ค่าสี และปริมาณกรดทั้งหมด มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพของน้ำส้มสดก่อนการทดลอง โดยเฉพาะการผลิตที่สภาวะใช้อัตราการป้อนต่ำและความดันไอน้ำสูง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพและเคมีมากที่สุด

2. ผลการประเมินต้นทุนการผลิตน้ำส้มเข้มข้นด้วยเครื่องต้มระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง พบว่า การผลิตน้ำส้มเข้มข้น 1 กิโลกรัม จะมีต้นทุนการผลิตอยู่ในช่วง 112 – 172 บาท โดยที่การผลิตด้วยสภาวะอัตราการป้อนต่ำ และใช้ความดันไอน้ำสูง จะมีต้นทุนการผลิตสูง

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการบรรจุน้ำส้ม เพื่อยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์และสามารถสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้
2. ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เทียบกับระยะเวลาการเก็บ
3. ควรศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บผลิตภัณฑ์
4. ต้นทุนการผลิตในงานวิจัยนี้ เป็นการผลิตเฉพาะเครื่องต้มระเหยขนาดต้นแบบ ซึ่งในการผลิตระดับอุตสาหกรรมจะมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าเมื่อผลิตในปริมาณที่มากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข กรมอนามัย กองโภชนาการ, ม.ป.ป., **คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย**

[ออนไลน์], แหล่งที่มา : <http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/index.php>

นงลักษณ์ ขวาลย์กุล, 2542, **การจำลองแบบกระบวนการและหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทำน้ำส้มให้เข้มข้นโดยเครื่องระเหยแบบฟิล์มที่มีใบกวนโดยโปรแกรม Aspen Plus**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 127 หน้า.

ลินจง สุขลำภู, 2546, “การถนอมรักษาน้ำส้มโดยประยุกต์ใช้ความร้อนต่ำร่วมกับสารสกัดจากขิง”, **อาหาร**, ปีที่ 33, ก.ค. – ก.ย., หน้า 211 – 221.

ศุภกิจ พานิชเจริญ และทรงพล ชงสุวรรณ, 2545, **การพัฒนาน้ำส้มเข้มข้น**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 58 หน้า.

ศรีศักดิ์ ตรังวรกุล, สัมพันธ์ ศรีสุริยวงษ์, ปณิดา บรรจงสินศิริ, อรรธยา นิพาสพงษ์, ต่อศักดิ์ นวลไย, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์, อนันต์ พิมพินิจ และยุพาภรณ์ ทับนาโคก, 2541, **กระบวนการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นในเชิงอุตสาหกรรม**, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร. 167 หน้า.

สถาบันอาหาร, ม.ป.ป., **อุตสาหกรรมน้ำผลไม้** [ออนไลน์],

แหล่งที่มา : [http://fic.nfi.or.th/food/upload/doc/9\\_536.docx](http://fic.nfi.or.th/food/upload/doc/9_536.docx)

สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535, **เทคโนโลยีการระเหยน้ำ**, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 246 หน้า.

สุภาภรณ์ ดีกกลาส และคณะ, 2547, **การแปรรูปและการศึกษาคุณสมบัติของน้ำส้มเข้มข้น**, โครงการวิจัยภายใต้ทุนงบประมาณปี 2547 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 42 หน้า.

Arias, C.R., Burn, J.K., Fridrich, L.M., Goodrich, R.M. and Parish, M.E., 2002, "Yeast Species Associated with Orange Juice : Evaluation of Different Identification Methods", **Applied and Environmental Microbiology**, Vol. 68, No.4, pp.1955 – 1961.

Association of Official Analytical Chemists, 1995, **Official Method of Analysis of AOAC International**, Cunniff, P. (Ed.), 16<sup>th</sup> ed, Virginia, USA.

Billet, R., 1989, "Operation and Design of Evaporator", In **Evaporation Technology : Principle, Application, Economics**, VCH, New York, pp.135-147.

Fourie, P.C., 1996, "Fruit and Human Nutrition", In **Fruit Processing**, Arthey, D. and Ashurst, P.R. (ed.), Blackie Academic & Professional, Glasgow, pp.20 – 39.

GEA Wiegand GmbH, **Falling film evaporators**, [Online],

Available : <http://www.gea-wiegand.com/geawiegand/cmsdoc.nsf/>

Goodner, J.K., Braddock, R.J., Parish, M.E. and Sims, C.A., 1999, "Cloud Stabilization of Orange Juice by High Pressure Processing". **Journal of Food Science**, Vol.64, No.4, pp.699 – 700.

Hartel, 1992, "Evaporation and Freeze Concentration", In **Handbook of Food Engineering**, Heldman, D.R. and Lund, D.B. (Eds.), Marcel Dekker, New York, pp. 341-373.

Kyzlink, V., 1990, "Principles of food preservation", In **Developments in food science 22**, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 590 pp.

Parish, M.E. and Higgins, D.P., 1989, "Yeasts and Molds Isolated from Spoiling Citrus Products and by – Products", **Journal of Food Protection**, Vol.52, No.4, pp. 261 – 263.

- Ramteke, R.S., Singh, N.L., Rekha, M.N. and Eipeson, W.E., 1993, "Method for Concentration of Fruit Juice : A Critical Evaluation", **Journal of Food Science and Technology**, Vol. 30, No. 6, pp. 391-402.
- Sawamura, M., Nakagawa, T., Katsuno, S., Hamaguchi, H. and Ukeda, H., 2000, "The Effect of Antioxidants on Browning and on Degradation Products Caused by Dehydroascorbic Acid", **Journal of Food Science**, Vol.65, pp.20 – 23.
- Schneider, H., 1968, "The Anatomy of Citrus", In Ruther, W.; L.D.Batcherlor and H.J.Webber,(ed.), **The Citrus Industry**, Vol.2, Division of Agricultural Science, University of California Press, pp.1-85.
- Shinoda, Y., Komura, H., Homma, S. and Murata, M., 2005, "Browning of Model Orange Juice Solution: Factors Affecting the Formation of Decomposition Products", **Bioscience Biotechnology and Biochemistry**, Vol.69, No.11, pp.2129-2137.
- Tannebaum, S. R., Archer, M. C., and Young, V. R., 1985, "Vitamins and minerals", In O.R.Fennema (Ed.), **Food chemistry**, 2<sup>nd</sup>ed, Marcel Dekker, New York, pp. 488–493.