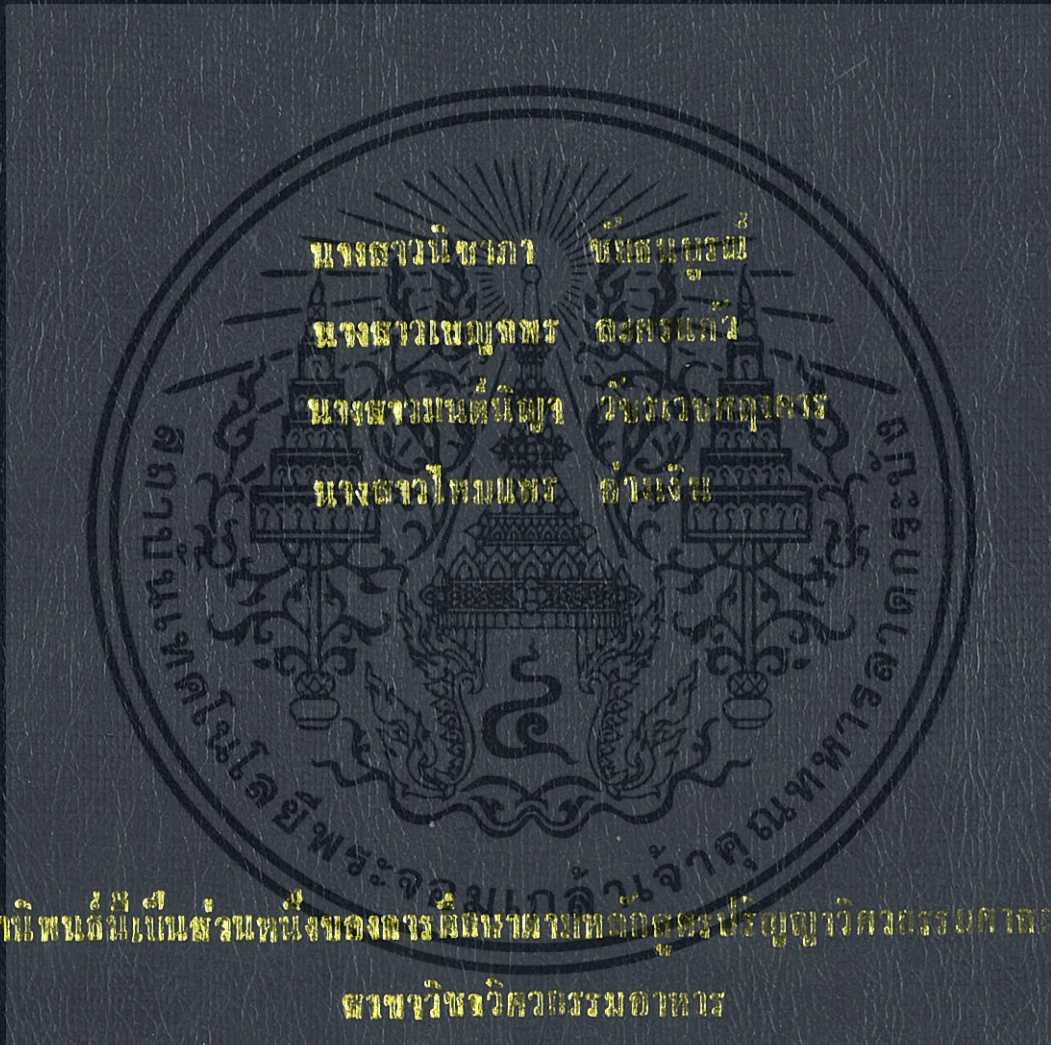


การผลิตผงแตงกวาด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบคั่วฝอย
PRODUCTION OF CANTALOUPE POWDER BY SPRAY DRYING PROCESS



ปริญญานิพนธ์นี้เขียนขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การผลิตแคนตาลูปผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย
PRODUCTION OF CANTALOUPE POWDER BY SPRAY DRYING PROCESS



T129211



เลขหมู่ 2505
เลขทะเบียน 129211
วัน,เดือน,ปี. - 2 S.A. 2556

b. 1258079
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCTION OF CANTALOUPE POWDER BY SPRAY DRYING PROCESS



MISS NICHAPA CHAITHANABOON
MISS BENJAPORN LAKORNKAEW
MISS MONNIYA WATCHARAWETSARINGKARN
MISS MAIPHRAE ARNG-NGERN

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การผลิตแคนตาลูปผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Production of Cantaloupe Powder by Spray Drying Process

ผู้จัดทำ

นางสาวนิชาภา ชัยธนบูรณ์ รหัสนักศึกษา 52010606

นางสาวเบญจพร ละครแก้ว รหัสนักศึกษา 52010637

นางสาวมนต์นิญา วัชรเวชศฤงคาร รหัสนักศึกษา 52010936

นางสาวไหมแพรว อ่างเงิน รหัสนักศึกษา 52011364



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.กัณฑ์ขันธ์ ขวัญพฤษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|------------------|---|
| หัวข้อโครงการ | การผลิตแคนตาลูปผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย |
| นักศึกษา | นางสาวนิชาภา ชัยธนบูรณ์ |
| | นางสาวเบญจพร ละครแก้ว |
| | นางสาวมนต์นิญา วิชระเวชศฤงคาร |
| | นางสาวไหมแพรว อ่างเงิน |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร.กัณฑ์นิษฐ์ ขวัญพุกฤษ์ |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอาหาร |
| ปีการศึกษา | 2555 |

บทคัดย่อ

น้ำแคนตาลูปมีส่วนประกอบของน้ำตาลอยู่ซึ่งทำให้ยากต่อการทำแห้ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นได้ของการอบแห้งแคนตาลูปด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (DE-10) ซึ่งใช้เป็นสารช่วยทำแห้งต่อคุณภาพของแคนตาลูปผงและน้ำแคนตาลูปคั้นรูป ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลประกอบด้วย 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน โดยใช้อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากการทดลองพบว่า ผลผลิตแห้งที่ได้มีความชื้น (ฐานเปียก) ร้อยละ 5.20 – 6.65 การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตลดลง ซึ่งสภาพอากาศมีผลต่อผลผลิตแห้ง ทำให้บางสภาวะไม่เป็นไปตามแนวโน้มที่ควรจะเป็นเหมือนสภาวะอื่น และอุณหภูมิที่สูงเกินไป (180 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้ผลผลิตแห้งสามารถละลายน้ำได้ดี แต่ได้ผลผลิตต่ำ และมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีมาก ดังนั้นหากพิจารณาคุณภาพของผลผลิตแห้งโดยรวม โดยใช้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตและปริมาณความชื้นเป็นเกณฑ์ สภาวะอบแห้งที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 170 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

| | |
|------------------------|---|
| Project Title | Production of Cantaloupe Powder by Spray Drying Process |
| Students | Miss Nichapa Chaithanaboon Miss Benjaporn Lakornkaew Miss Monniya Watcharawetsaringkarn Miss Maiphrae Arng-ngern |
| Project Advisor | Dr.Kankanit Khwanpruk |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Program | Food Engineering |
| Academic Year | 2012 |

ABSTRACT

Cantaloupe juice is not easy to dry because it is rich in sugar. The aims of this research are to study the feasibility of drying cantaloupe juice using a spray dryer. To study the effects of hot air temperature and maltodextrin (DE-10) on the qualities of cantaloupe powder and reconstituted cantaloupe juice. A factorial experiment with three air temperature (160,170 and 180 °c) and two maltodextrin concentrations (10 and 15% by weight) was carried out in triplicate. From the experiment, the moisture content of the powder was 5.20-6.65 % (w.b.). An increase in air temperature significantly resulted in lower percentage of yield recovery. So the weather had effect to powder product it made some condition did not trend others condition. Too high temperature (180 °c) effect to product can be solubility but low percentage of yield and much color changes of product. On the basis of yield and moisture content, the suitable drying condition was the drying air temperature at 170 °c and using 15% (by weight) maltodextrin.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้จะสำเร็จขึ้นไม่ได้ ถ้าขาดความกรุณาจาก ดร.กนต์กนิษฐ์ ขวัญพฤษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหา อีกทั้งยังให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบหัวข้อและโครงสร้างปริญญาานิพนธ์ รศ.สาทิป รัตนภาสกร ผศ. ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ผศ.ดร.นวกัทธา หนูนาถ ดร.เกียรติศักดิ์ รุ่งน พระแสง อาจารย์สมัคร รักแม่ และ ดร.เอกพงษ์ ชีวิตโสภณ ที่กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนะ ข้อผิดพลาดตลอดจนให้ความรู้และแนวทางในการทดลอง จนปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จขึ้นได้

ขอขอบพระคุณ คุณอำนาจ คุณตะคุ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ คุณบุญนำ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และให้คำปรึกษาในการทดลอง และอำนวยความสะดวกในการเบิกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ อีกทั้งให้กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา

ขอขอบคุณ บริษัท ยูโร เบสท์ เทคโนโลยี จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยรวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้ปกครอง ซึ่งเป็นบุคคลที่เลี้ยงดูอบรมสั่งสอนจนเติบโตใหญ่ และให้การสนับสนุนในการศึกษาตลอดมา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร รุ่นที่ 14 ทุกท่านที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษา แนะนำ ในระหว่างการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ

นางสาวนิชาภา ชัยธนบูรณ์

นางสาวเบญจพร ละครแก้ว

นางสาวมนต์นิญา วิชรเวชตฤงคาร

นางสาวไหมแพรว อ่างเงิน

สารบัญ

| | หน้า |
|--------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VI |
| สารบัญภาพ | VII |

| | |
|------------------------------|----------|
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญโครงการ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา | 2 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |

| | |
|---|----------|
| บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร | 3 |
| 2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับแคนตาลูป | 3 |
| 2.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย | 6 |
| 2.2.1 ห้องทำแห้ง | 7 |
| 2.2.2 การทำให้สารละลายกระจายตัวเป็นละออง | 8 |
| 2.2.3 อุปกรณ์แยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ | 9 |
| 2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพของอาหารที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย | 10 |
| 2.3 กระบวนการห่อหุ้มและการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลีนิรส | 10 |
| 2.3.1 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน | 11 |
| 2.3.2 ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน | 12 |
| 2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลีนิรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน | 14 |
| 2.3.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน | 15 |
| 2.3.5 การเอนแคปซูเลชันโดยใช้เครื่องมือ | 16 |
| 2.3.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของไมโครแคปซูล | 17 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 18 |

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง | 21 |
| 3.1 วัสดุที่ใช้ศึกษา | 21 |
| 3.2 อุปกรณ์การทดลอง | 21 |
| 3.3 สารเคมี | 21 |
| 3.4 วิธีการทดลอง | 22 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ซ้ำ การคัดลอกหรือการเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่ฝ่าฝืนจะมีความผิดตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย | 22 |
| 3.4.2 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย | 24 |
| 3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำแคนตาลูปผง | 26 |
| 3.5.1 ปริมาณความชื้น | 26 |
| 3.5.2 ปริมาณน้ำอิสระ | 26 |
| 3.5.3 คุณสมบัติการละลาย | 26 |
| 3.5.4 ความเป็นกรด - เบส | 26 |
| 3.5.5 ค่าสี | 27 |
| 3.5.6 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ | 27 |
| 3.5.7 โครงสร้างจุลภาค | 28 |
| 3.6 การวางแผนการทดลอง | 28 |
| บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง | 29 |
| 4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น | 29 |
| 4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย | 29 |
| 4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผง | 29 |
| 4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น | 31 |
| 4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ | 32 |
| 4.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการละลาย | 33 |
| 4.3.4 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด - เบส | 34 |
| 4.3.5 ผลการวิเคราะห์ค่าสี | 35 |
| 4.3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ | 40 |
| 4.3.7 โครงสร้างจุลภาคของแคนตาลูปผง | 41 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 43 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 43 |
| 5.2 ปัญหาที่พบ | 43 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ | 43 |
| เอกสารอ้างอิง | 44 |
| ภาคผนวก | 46 |
| ภาคผนวก ก. ผลของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผง | 47 |
| ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัสดุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง | 53 |
| ภาคผนวก ค. การคำนวณหาอัตราการใช้ | 58 |
| ภาคผนวก ง. ตาราง ANOVA | 59 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ซ้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และโยงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า | |
|---------------|---|----|
| ตารางที่ 2.1 | ข้อมูลทางโภชนาการของแคนตาลูป | 5 |
| ตารางที่ 2.2 | คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูเลต | 13 |
| ตารางที่ 2.3 | เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรส | 16 |
| ตารางที่ 3.1 | การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล | 28 |
| ตารางที่ 4.1 | แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายแคนตาลูปก่อนการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ | 29 |
| ตารางที่ 4.2 | สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง | 29 |
| ตารางที่ 4.3 | ผลการวิเคราะห์ผลผลิตแห้งแคนตาลูปผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ | 29 |
| ตารางที่ 4.4 | ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น | 31 |
| ตารางที่ 4.5 | ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ | 32 |
| ตารางที่ 4.6 | ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการละลาย | 33 |
| ตารางที่ 4.7 | ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด - เบส | 34 |
| ตารางที่ 4.8 | ผลการวิเคราะห์ค่าการวัดสี | 35 |
| ตารางที่ 4.9 | ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง | 36 |
| ตารางที่ 4.10 | ผลการวิเคราะห์ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว | 37 |
| ตารางที่ 4.11 | ผลการวิเคราะห์ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน | 38 |
| ตารางที่ 4.12 | ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวม | 39 |
| ตารางที่ 4.13 | ผลการวิเคราะห์ปริมาณของผลผลิตแห้งที่ได้ | 40 |

สารบัญรูปภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 แคนตาลูป | 3 |
| รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย | 6 |
| รูปที่ 2.3 การไหลแบบทางเดียว | 7 |
| รูปที่ 2.4 การไหลแบบสวนทางกัน | 7 |
| รูปที่ 2.5 การไหลแบบผสม | 8 |
| รูปที่ 2.6 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง | 8 |
| รูปที่ 2.7 หัวฉีดหัวฉีดแบบแรงดันสูง | 9 |
| รูปที่ 2.8 หัวฉีดแบบ Two – fluid | 9 |
| รูปที่ 2.9 โครงสร้างของไมโครแคปซูล | 10 |
| รูปที่ 2.10 ไมโครแคปซูลแบบ Single core หรือ True encapsulation | 11 |
| รูปที่ 2.11 ไมโครแคปซูลแบบ multi – core หรือ matrix encapsulation | 11 |
| รูปที่ 2.12 ไมโครแคปซูลแบบ matrix encapsulation มีการเคลือบผิว 2 ชั้น | 11 |
| รูปที่ 2.13 การเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรส | 12 |
| รูปที่ 2.14 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรส | 15 |
| รูปที่ 3.1 แคนตาลูป (ก) ปอกเปลือก (ข) บั่น | 22 |
| รูปที่ 3.2 กรองแคนตาลูปด้วยผ้าขาวบาง | 22 |
| รูปที่ 3.3 น้ำแคนตาลูป | 23 |
| รูปที่ 3.4 เครื่องระเหยความดันต่ำกว่าบรรยากาศ | 23 |
| รูปที่ 3.5 แคนตาลูปเข้มข้น (ก) 25 องศาบริกซ์ (ข) 32 องศาบริกซ์ และ (ค) 35 องศาบริกซ์ | 23 |
| รูปที่ 3.6 (ก) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (ข) หัวฉีดสารละลายชนิดจานเหวี่ยง | 24 |
| รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการผลิตแคนตาลูปผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย | 25 |
| รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด | 28 |
| รูปที่ 4.1 โครงสร้างจุลภาคของแคนตาลูปผงที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก | 41 |
| รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาคของแคนตาลูปผงที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก | 42 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลไม้หลากหลายชนิดให้ผู้บริโภคสามารถเลือกรับประทานได้ตลอดทั้งปี ปัจจุบันแคนตาลูปเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่ผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจในการบริโภคกันมากขึ้น การเพาะปลูกแคนตาลูปจึงขยายบริเวณกว้างขึ้นในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก ซึ่งบางพื้นที่สามารถผลิตแคนตาลูปที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ รสชาติหวานกรอบ มีความหอม แต่ปัญหาที่พบคือ แคนตาลูปเมื่อเก็บจากสวนจะมีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 15 วัน (Ayhan และคณะ, 1998) จึงทำให้ไม่สามารถระบายสินค้าได้ทัน และแคนตาลูปที่ปลูกได้นั้นบางส่วนอาจมีคุณภาพหรือมาตรฐานที่ไม่ตรงตามที่ต้องการ เช่น แคนตาลูปมีตำหนิ รอยขีด สุกอมจนเกินไป จึงเกิดปัญหาการเน่าเสีย และส่งผลต่อเกษตรกรผู้ปลูกแคนตาลูปประสบกับปัญหาการขาดทุน อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่ง รวมไปถึงการเก็บรักษาผลแคนตาลูปสดมีค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้ในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทานผลิตภัณฑ์ที่มาจากธรรมชาติกันมากขึ้น (พรณจิรา และคณะ, 2545) ดังนั้นจึงได้เกิดแนวคิดในการนำผลผลิตแคนตาลูปสดส่วนนี้มาแปรรูป และพัฒนาเป็นแคนตาลูปผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภค และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร ช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการบำบัดของเสีย และเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

แคนตาลูปเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยเป็นพืชเมืองร้อน ชอบอากาศร้อนชื้น นิยมปลูกในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม และเก็บเกี่ยวในเดือนกุมภาพันธ์ ลักษณะทั่วไปของแคนตาลูปคล้ายแตงไทย เปลือกนอกแข็ง มีร่องลึกรอบ ๆ ผล เปลือกมีลายคล้ายตาข่าย สีขาวหรือสีฟางแห้งคลุมตลอดทั้งผล แต่บางพันธุ์ไม่มี บางพันธุ์มีผิวเรียบ ๆ เนื้อแคนตาลูปจะชุ่มน้ำ มีผลกลม ผลดิบเนื้อกรอบ เมื่อผลสุกจะมีเนื้อนิ่มสีส้มหรือสีจำปา หอมหวาน และสีของเนื้อแคนตาลูปจะแตกต่างกันตามพันธุ์ของแคนตาลูป โดยแคนตาลูปนั้นจัดเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีวิตามินเอซึ่งช่วยบำรุงสายตา วิตามินซีช่วยป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟันและมีแคลเซียมที่ช่วยบำรุงกระดูกและฟัน นอกจากนี้ยังมีความหวานของน้ำตาลธรรมชาติ รวมถึงสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (พรณจิรา และคณะ, 2545)

การทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยถือได้เป็นเทคนิคในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นสารละลาย สารแขวนลอย หรือสารประเภทอิมัลชันให้กลายเป็นอนุภาคผง โดยของเหลวจะมีการสัมผัสกับลมร้อนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการระเหยของน้ำ อนุภาคผงที่ได้จะลอยกระจายอยู่ในกระแสลม และถูกดักอนุภาคผงด้วยไซโคลน ซึ่งเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้ได้มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น (อุทัยวรรณ, 2554) ซึ่งเทคโนโลยีในปัจจุบันล้วนมีการทำแห้งน้ำผลไม้ต่าง ๆ ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยหลากหลายชนิด ส่วนการทำแห้งแคนตาลูปผงนั้นยังไม่มีการผลิตในเชิงพาณิชย์แต่มีการศึกษาและการวิจัยอยู่บ้าง ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการทำแห้งแคนตาลูปผงครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแคนตาลูปผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปผง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้งแคนตาลูปผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย
2. เพื่อวัดคุณสมบัติทางกายภาพของแคนตาลูปผง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. วัตถุดิบที่ใช้ คือ แคนตาลูปพันธุ์พอท ออเรนจ์
2. ปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย
 - อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส
 - ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 2 ระดับ คือ ร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก
3. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงที่ศึกษาประกอบด้วย
 - ปริมาณความชื้น
 - ปริมาณน้ำอิสระ
 - คุณสมบัติการละลาย
 - ความเป็นกรด – เบส
 - ค่าสี
 - ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้
 - โครงสร้างจุลภาค

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแคนตาลูปผง
2. ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ยังคงรักษาสี กลิ่น และรสตามธรรมชาติ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับแคนตาลูป

บทที่ 2 ตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับแคนตาลูป



รูปที่ 2.1 แคนตาลูป

ชื่อสามัญ Cantaloupe
ชื่อวิทยาศาสตร์ Cucumismelo L. var. cantaloupensis

การจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์

อาณาจักร: Plantae
หมวด: Magnoliophyta
ชั้น: Magnoliopsida
อันดับ: Cucurbitales
วงศ์: Cucurbitaceae
สกุล: Cucumis
ชนิด: Cucumismelo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคนตาลูป (ดังรูปที่ 2.1) เป็นชื่อของแตงพันธุ์หนึ่งที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดีย และต่อมาได้มีคนนำเข้าไปปลูกในประเทศอิตาลี ที่เมืองแคนตาลูโป จึงได้รับการตั้งชื่อใหม่ตามพันธุ์ที่นำไปปลูกในอิตาลี และตามชื่อของเมืองในท้องถิ่นนั้นว่า “แคนตาลูป” โดยแคนตาลูปเป็นพืชตระกูลเดียวกับแตงโม และแตงกวา แคนตาลูปเข้ามาปลูกในประเทศไทยครั้งแรก เมื่อปีพุทธศักราช 2478 ในสมัยก่อนเรียกว่า “แตงเทศ” หรือ “แตงฝรั่ง” ด้วยรูปร่างลักษณะคล้ายกับแตงไทย จึงมีบางคนเรียกแคนตาลูปว่า “แตงไทยฝรั่ง” แต่ปลูกแล้วเป็นโรคจึงตายเป็นจำนวนมาก ต่อมาได้มีการพัฒนาพันธุ์จนสามารถปลูกแคนตาลูปได้ผลผลิตดีเช่นในปัจจุบัน แหล่งปลูกแคนตาลูปในประเทศไทยอยู่ อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี และอำเภอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว เกษตรกรในอำเภอรัญประเทศเรียกแคนตาลูปว่า “แตงคุณหนู” เพราะเป็นผลไม้ที่ต้องดูแลเอาใจใส่กันเป็นพิเศษ ตั้งแต่หยอดเมล็ดจนได้ผล แคนตาลูปมีลักษณะเป็นแตงเปลือกแข็ง ผิวของผลสีเขียว หรือสีน้ำตาล หรือสีเหลือง หรือสีขาว ทั้งนี้แล้วแต่พันธุ์ ผิวของผลหยาบ เปลือกมีร่องลึกรอบ ๆ ผล เปลือกมีลายคล้ายร่างแหหรือตาข่ายสีขาว แต่บางพันธุ์ก็ไม่มี บางพันธุ์มีผิวเรียบ ๆ เมื่อสุกเนื้อในมีสีส้ม หรือสีจำปา หรือสีเขียว มีความชุ่มฉ่ำ กลิ่นหอม และรสหวาน มีแตงที่จัดอยู่ในสกุลหรือพวกเดียวกันกับแคนตาลูป 4 ชนิดด้วยกัน คือ

1. มัสคเมล่อน มีขนาดเล็กกว่าแคนตาลูป ปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา มีเปลือกเป็นตาข่ายสานกันค่อนข้างถี่ แลดูเรียบ มีลักษณะกลม และเนื้อภายในเป็นสีส้ม
2. อันนี่ตีว มีขนาดผลเกือบเท่ากันกับมัสคเมล่อน แต่ลักษณะเปลือกภายนอกคล้ายกับแตงไทย ผิวของแตงชนิดนี้จะเรียบ ไม่มีตาข่าย และมีกลิ่นหอมรุนแรง
3. แตงไทย ส่วนใหญ่ปลูกในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีผลลักษณะรูปร่างยาว และมีเปลือกบางเนื้อนุ่มเป็นสีส้ม ในประเทศไทยของเรามีปลูกกันมาก
4. แคนตาลูป มีลักษณะผลใหญ่เปลือกหนา และแข็งขรุขระ เนื้อในมีรสหอมหวาน สีส้ม นิยมปลูกกันมากในแถบทวีปยุโรป

แคนตาลูปที่สามารถนำมาปลูกอยู่ในประเทศไทยปัจจุบันมีพันธุ์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ พันธุ์ชั้นไรซ์ พันธุ์นิวเจนจูรี พันธุ์สโนว์ชาร์ม พันธุ์สกายร็อกเก็ต พันธุ์อันนี่เวิลด์ พันธุ์เรดควีน พันธุ์สวอน พันธุ์เจดตีว พันธุ์ฟาร์เมอร์ริส นิมเบอร์ทู พันธุ์ซิลเวอร์สตาร์ พันธุ์โกลเด้นโลท์ พันธุ์ชั้นบิวตี้ พันธุ์เตลิเกด พันธุ์ซูก้าบอลล์ พันธุ์ซิลเวอร์โลท์ พันธุ์โกลเด้นบิวตี้ พันธุ์เจด พันธุ์มิลกี้เวย์ (คำนึ่ง, 2553)

แคนตาลูปจัดเป็นผลไม้ ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สรรพคุณของแคนตาลูป อุดมด้วยสารอาหารที่ช่วยเกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมเนื้อเยื่อโดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินเอ ที่ช่วยบำรุงผิวพรรณ และรักษาสิว วิตามินซีจะทำให้แผลหายเร็ว ส่วนสารอาหารอื่น ๆ ที่มีในแคนตาลูป ประกอบด้วย โปแทสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม แคลเซียม เบต้าแคโรทีน และวิตามินบี1 บี2 และบี6 ดังแสดงในตารางที่ 2.1 จัดเป็นผลไม้ที่ล้างพิษได้อย่างอ่อนโยนกว่าผลไม้ชนิดอื่น ๆ ช่วยดับร้อน ลดใช้รักษาการอักเสบของลำไส้ ขับน้ำนม และขับปัสสาวะ (พรรณจิรา และคณะ, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทางโภชนาการของแคนตาลูป

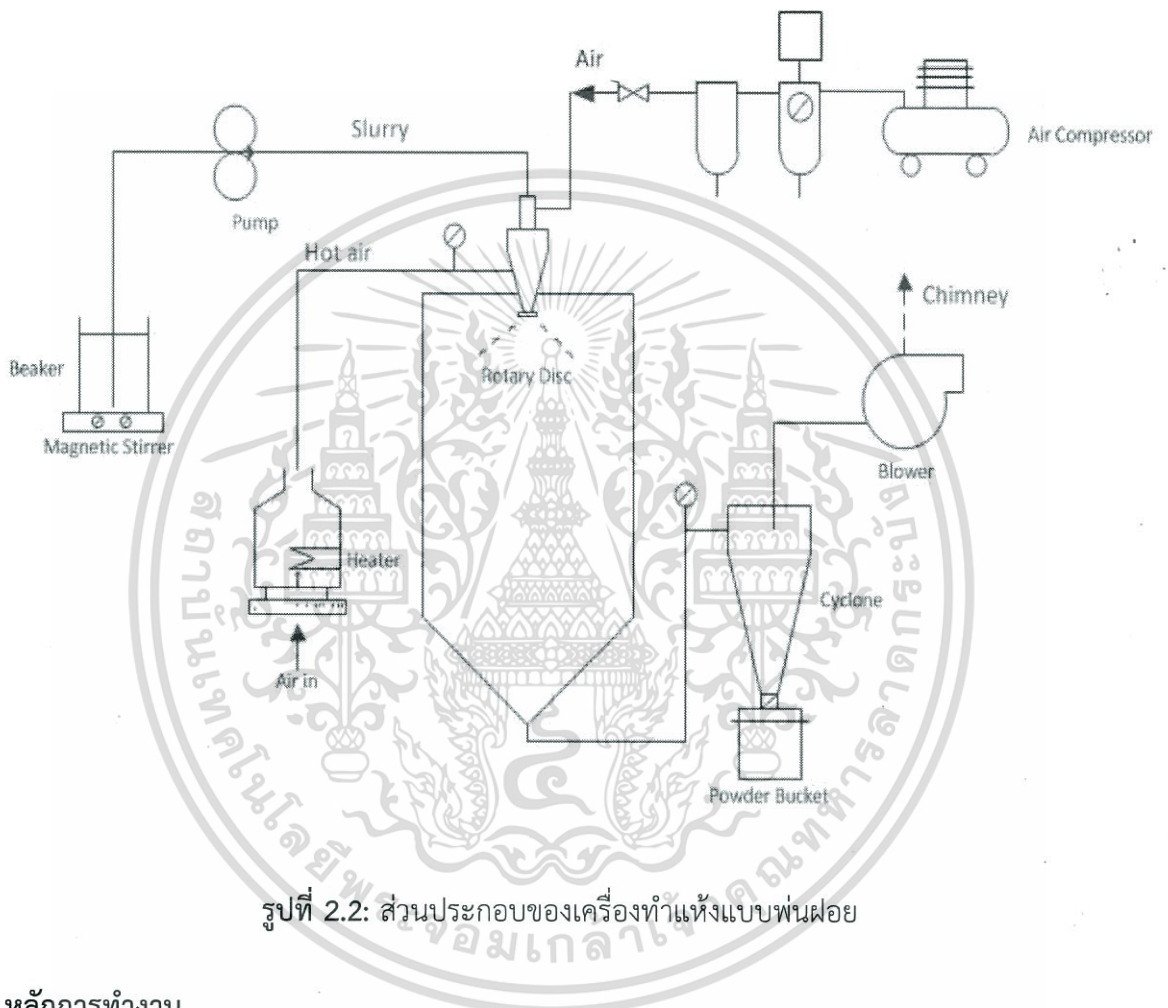
| คุณค่าทางโภชนาการต่อแคนตาลูป | |
|------------------------------|-------------------------------|
| พลังงาน | 34 กิโลแคลลอรี่ (142 กิโลจูล) |
| คาร์โบไฮเดรต | 8.8 กรัม |
| - โยอาหาร | 0.9 กรัม |
| - น้ำตาล | 7.9 กรัม |
| โปรตีน | 0.8 กรัม |
| ไขมัน | 0.2 กรัม |
| วิตามินเอ | 169 ไมโครกรัม |
| วิตามินซี | 36.7 มิลลิกรัม |
| วิตามินอี | 0.1 มิลลิกรัม |
| วิตามินเค | 2.5 ไมโครกรัม |
| ไนอาซิน (วิตามินบี 3) | 0.7 มิลลิกรัม |
| วิตามินบี 6 | 0.1 มิลลิกรัม |
| เบต้าแคโรทีน | 2020.0 ไมโครกรัม |
| โฟเลต | 21.0 ไมโครกรัม |
| คลอรีน | 7.6 มิลลิกรัม |
| แคลเซียม | 9.0 มิลลิกรัม |
| เหล็ก | 0.2 มิลลิกรัม |
| แมกนีเซียม | 12.0 มิลลิกรัม |
| ฟอสฟอรัส | 15.0 มิลลิกรัม |
| โพแทสเซียม | 267 มิลลิกรัม |
| โซเดียม | 16.0 มิลลิกรัม |
| สังกะสี | 0.2 มิลลิกรัม |
| ซีลีเนียม | 0.4 ไมโครกรัม |
| ฟลูออไรด์ | 1.0 ไมโครกรัม |
| น้ำ | 90.2 กรัม |

ที่มา: Yehia และคณะ, 2010

2.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทำงานของเครื่องอบแบบนี้ คือของเหลวที่ต้องการทำให้แห้งต้องฉีดพ่นเป็นละอองเข้าไปในตู้ที่มีลมร้อนผ่านเข้ามาเมื่อละอองของอาหาร และลมร้อนสัมผัสกัน จะทำให้น้ำระเหยออกไปแล้วอนุภาคที่แห้งจะลอยกระจายในกระแสลม เข้าสู่เครื่องแยกเป็นผงละเอียดแล้วนำอาหารผงนั้น บรรจุในภาชนะต่อไป เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป ไซ้ผงน้ำผลไม้ผง ชุปผง เป็นต้น (วิไล, 2546)



รูปที่ 2.2: ส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

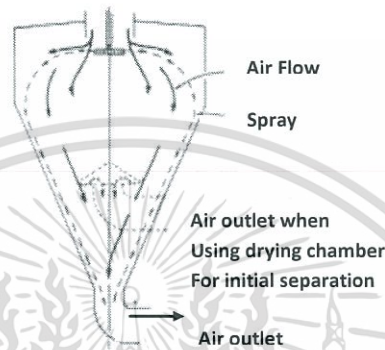
หลักการทำงาน

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีกระบวนการเริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองโดยใช้เครื่องดูดลมและผ่านตัวให้ความร้อนจากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง ส่วนวัตถุดิบที่ใช้พ่นเข้าเครื่องควรมีลักษณะเหลว จากนั้นสารละลายจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยภายในห้องอบ และจุดสัมผัสกับอากาศร้อนทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเล็กน้อยจะได้ผงผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของห้องอบแห้งและผงบางส่วนที่หลุดมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ไซโคลนจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย

2.2.1 ห้องทำแห้ง

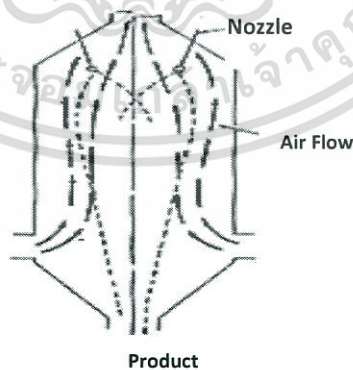
เป็นบริเวณที่เกิดการทำแห้งอาหารโดยอากาศร้อนแห้งซึ่งเป็นอากาศที่ถูกดูดผ่านระบบกรอง และทำให้ร้อนจะปะทะกับอาหารเหลวบริเวณนี้เกิดการระเหยของน้ำจากละออง การสัมผัสระหว่างอากาศร้อนและอาหารเหลวอาจเป็นได้หลายทิศทาง (ไพบุรณ์, 2532)

1. อากาศและอาหารเหลวไหลทางเดียวกัน (ดังรูปที่ 2.3) อาหารเหลวและอากาศร้อนที่ป้อนเข้าไปจะไหลในทิศทางเดียวกัน อุณหภูมิอากาศร้อนจะลดลงระหว่างการทำให้แห้งเหมาะกับอาหารที่ไวต่อความร้อนเนื่องจากการระเหยของน้ำเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้นมาก



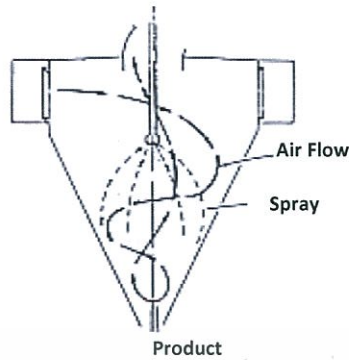
รูปที่ 2.3 การไหลแบบทางเดียวกัน
(ไทรท์และคณะ, 2551)

2. อากาศและอาหารเหลวไหลสวนทางกัน (ดังรูปที่ 2.4) อาหารเหลวที่ถูกพ่นและอากาศร้อนไหลในทิศทางตรงกันข้าม เริ่มจากอุณหภูมิของอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำเมื่อได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีอุณหภูมิเท่ากับอากาศร้อนลักษณะนี้จะมีการถ่ายโอนความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพเหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูง และต้องการความร้อนมาก



รูปที่ 2.4 การไหลแบบสวนทางกัน
(ไทรท์และคณะ, 2551)

3. การไหลแบบผสม (ดังรูปที่ 2.5) ลมร้อนถูกป้อนเข้าทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้ง

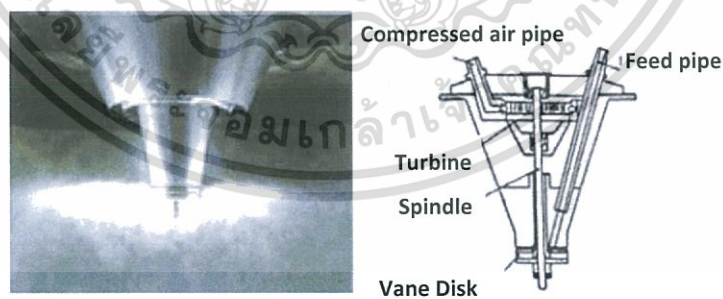


รูปที่ 2.5 การไหลแบบผสม
(ไทรท์และคณะ, 2551)

2.2.2 การทำให้สารละลายกระจายตัวเป็นละออง

ตัวทำละออง มีหน้าที่ทำให้อาหารเหลวแตกตัวเป็นละอองฝอย เพิ่มพื้นที่สัมผัสกับความร้อนให้มากขึ้นเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลไปยังห้องอบแห้ง และกำหนดขนาดอนุภาคตลอดจนคุณภาพต่าง ๆ ของอาหารผง เครื่องพ่นละอองที่ใช้ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีหลายระบบ แต่ละระบบมีผลต่อลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่างกัน การเลือกชนิดของตัวทำละอองขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอาหารเหลวเริ่มต้น เช่น ความหนืดนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับและคุณสมบัติของอาหารผงที่ต้องการ เช่น ขนาดของอนุภาค การละลายความหนาแน่น การเปียกน้ำ เป็นต้น ตัวทำละอองที่นิยมใช้ได้แก่ (พิมพ์เพ็ญและนิธิยา, 2556)

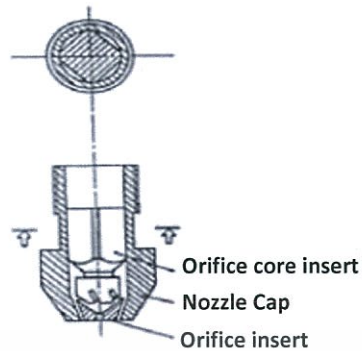
1. หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (ดังรูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง
(ไทรท์และคณะ, 2551)

หัวฉีดชนิดนี้สารละลายจะไหลลงบนจานหมุน ซึ่งใกล้กับจุดศูนย์กลางโดยจานหมุนจะมีความเร็วรอบสูงประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที และสารละลายจะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองโดยขนาดเฉลี่ย 30-120 มิลลิเมตรซึ่งขนาดเฉลี่ยนี้จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลของเอกสสารละลายความหนืดและแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน นอกจากนี้การดำเนินการก็ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

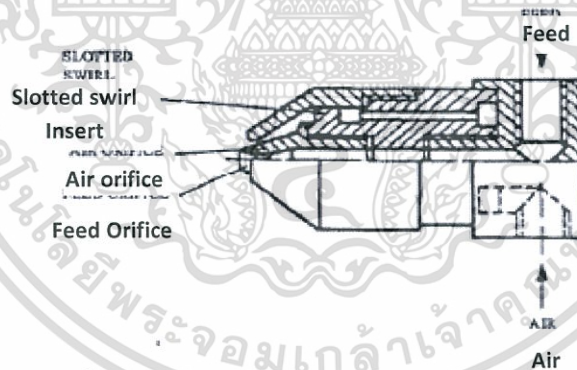
2. หัวฉีดแรงดันสูง (ดังรูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 หัวฉีดแบบแรงดันสูง
(ไทรท์และคณะ, 2551)

วิธีนี้สารละลายจะไหลผ่านช่องเปิดภายใต้ความดันสูง ทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดเป็นฝอยโดยไม่ใช้อากาศ อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ย 120-250 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลของสารละลาย ความหนืด และแปรผกผันกับความดัน

3. หัวฉีดแบบ Two-fluid (ดังรูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 หัวฉีดแบบ Two-fluid
(ไทรท์และคณะ, 2551)

อุปกรณ์ชนิดนี้สารละลายและอากาศจะไหลผ่านหัวฉีด ซึ่งจะทำให้สารละลายแตกเป็นละอองฝอยเนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูง ภายในหัวฉีดการปรับอัตราการไหลของอากาศ จะช่วยในการกระจายเป็นละอองของสารละลายวิธีนี้นิยมใช้กับสารละลายที่มีความหนืดสูง อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีค่าดำเนินการที่สูง และให้ผลผลิตที่ต่ำ

2.2.3 อุปกรณ์แยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ

1. ไซโคลน (Cyclone)

2. ถุงกรอง (bag filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

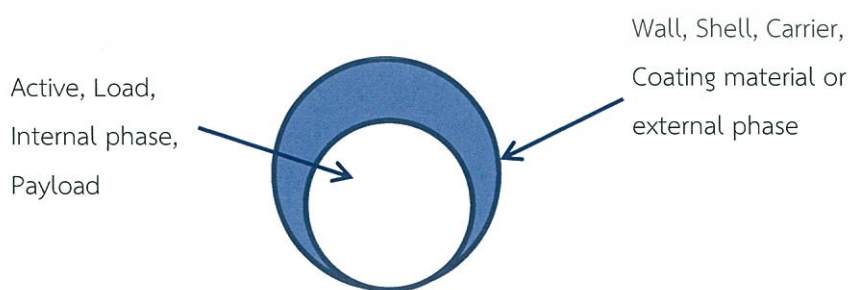
2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ และคุณภาพของอาหารที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. ลักษณะของสารละลายโดยถ้าสารละลายมีความหนืดสูง (หรือผลจากการลดลงของอุณหภูมิของสารละลาย) ทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่สภาวะของหัวฉีดเดียวกัน (ถ้ามีความหนืดมากจะทำให้มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย)
2. อัตราการไหลของสารละลายโดยที่ถ้าอัตราการไหลของสารละลายสูงขึ้นทำให้ได้ละอองที่หยาบขึ้น
3. อัตราไหลของอากาศที่ลดลงทำให้เวลาที่ละอองอยู่ในห้องทำแห้งนานขึ้น และจะสัมผัสกับอากาศร้อนนานจึงมีการนำความร้อนออกได้มากขึ้น
4. อุณหภูมิอากาศขาเข้าการเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการระเหย และทำให้ความหนาแน่นเนื้อลดลง เนื่องจากเกิดความพรุน และมีการแตกหักของผลิตภัณฑ์อุณหภูมิอากาศขาออก การปรับอัตราไหลของสารละลายมีผลต่ออุณหภูมิขาออก ถ้าอัตราการไหลของสารละลายสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิลดลง และจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงจะเกาะอยู่บริเวณผนังของห้องทำแห้งได้ (สุเมธ, 2555)

2.3 กระบวนการห่อหุ้มและการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนรส

กลิ่นและรสชาติเป็นสิ่งที่บอกถึงคุณภาพของอาหารรวมถึงความพึงพอใจของแต่ละบุคคล โดยกระบวนการกักเก็บกลิ่นรสเป็นเทคโนโลยีในการกักเก็บให้อยู่ภายใต้สารที่จัดตัวกันเป็นร่างแห ซึ่งส่วนใหญ่จะแปรรูปไปอยู่ในรูปของผงอนุภาค เทคโนโลยีในการกักเก็บกลิ่นรสจะช่วยปกป้องผลิตภัณฑ์จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากออกซิเจน แสง ความร้อนรวมทั้งไม่เกิดการเสื่อมเสียของกลิ่นรสระหว่างการเก็บรักษาด้วย ทำให้กลิ่นรสถูกเก็บรักษานานขึ้น (เบญจา, 2550)

ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น ใช้สารในการช่วยทำแห้ง คือ โมลโตเดกซ์ตริน ซึ่งจัดเป็นสารที่ช่วยในกระบวนการกักเก็บสารและการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลืนรสเป็นการเคลือบสารด้วยสารชนิดอื่น โดยสารที่ถูกเคลือบหรือถูกยึดจับไว้ (Entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่ในบางครั้งอาจเป็นของแข็งหรือก๊าซซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น Core material หรือ Internal phase และสารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า Wall material, Carrier, Membrane, Shell หรือ Coating

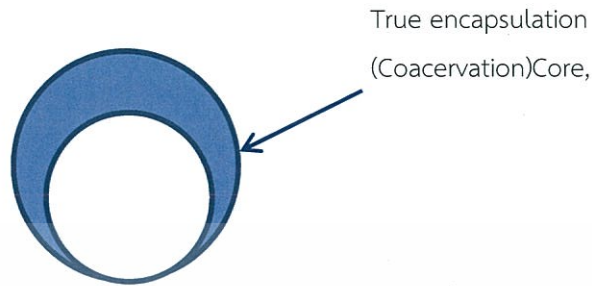


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของไมโครแคปซูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน

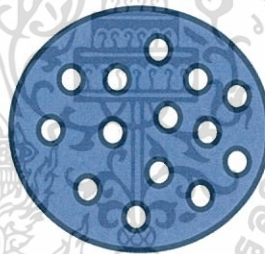
1. Single core หรือ True encapsulation (ดังรูปที่ 2.10) เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลตโดยใช้เทคนิค Coacervation



รูปที่ 2.10 ไมโครแคปซูลแบบ Single core หรือ True encapsulation

2. Multi-core หรือ matrix encapsulation (ดังรูปที่ 2.11) เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยสเปรย์ซิลลิงสเปรย์คูลลิงเอ็กซ์ทรูชันในการเอนแคปซูเลต

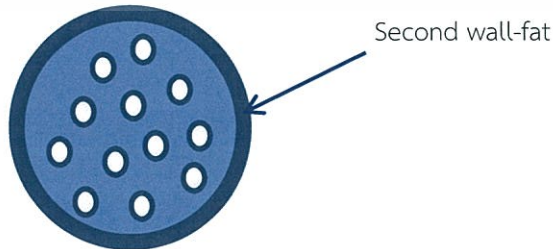
Spray drying, Prilling,
Extrusion etc.



รูปที่ 2.11 ไมโครแคปซูลแบบ multi-core หรือ matrix encapsulation

3. Multi-wall หรือ control release (ดังรูปที่ 2.12) เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่มีการเคลือบผิวครั้งที่สองโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด หรือ centrifugal coating ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในสภาวะที่ต้องการได้

Fluidized bed or
Centrifugal coating



รูปที่ 2.12 ไมโครแคปซูลแบบ matrix encapsulation ที่มีการเคลือบผิว 2 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรสจะสามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสที่อาจทำปฏิกิริยากับส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารลดการเกิดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดจากสารให้กลิ่นรสทำปฏิกิริยากัน ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากแสงและปฏิกิริยาออกซิเดชันยืดอายุการเก็บรักษาสารให้กลิ่นรสหรือควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหาร

ส่วนผสมอาหารอื่นๆ ที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันได้แก่ กรด, ไขมัน, เอนไซม์, จุลินทรีย์, สารทดแทนน้ำตาล, วิตามิน, เกลือแร่, สี และเกลือ

โดยทั่วไปการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรส (ดังรูปที่ 2.13) ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน (ดังรูปที่ 2.13) โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางและสารเคลือบโดยสารเคลือบที่ใช้ได้แก่พอลิแซ็กคาไรด์ หรือโปรตีนขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลง



]Food Flavor emulsion (Liquid state)

Encapsulated flavor powder (Solid state)

รูปที่ 2.13 การเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรส (เบญญา, 2550)

เทคนิคการเอนแคปซูเลตที่เลือกใช้จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรสและความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา

2.3.2 ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลต

การเลือกชนิดของสารที่ห่อหุ้มให้เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติส่วนใหญ่ของผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ดีหรือไม่ดีนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารห่อหุ้มเป็นหลัก นอกจากนี้ชนิดของสารห่อหุ้มยังมีผลต่อความเสถียรของอิมัลชันสายป้อนซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการกักเก็บของกลิ่นรสระหว่างกระบวนการอบแห้งและยังส่งผลต่อความสามารถในการไหล รวมไปถึงอายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย

1. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตที่สามารถนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบ ได้แก่ สตาร์ช และมอลโตเดกซ์ตริน

- สตาร์ช และ ingredients ที่ผลิตได้จากสตาร์ช เช่น สตาร์ชดัดแปร มอลโตเดกซ์ตริน และปีตา-ไซโคลเดกซ์ตริน ถูกนำมาใช้ เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อกักเก็บและปกป้องสารให้กลิ่นรส

กลไกการจับตัวระหว่างสารให้กลิ่นรสและสตาร์ชแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบโดย รูปแบบแรกสารให้กลิ่นรสจะถูกล้อมรอบด้วย Amylase helix โดยการจับกันเป็นแบบ Hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะกักสารให้กลิ่นรสไว้ภายในโมเลกุล รูปแบบที่สองจะเกิด Polar interaction โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่าง Hydroxyl groups ของสตาร์ชและสารให้กลิ่นรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูเลต

| สารให้กลีนิรส ชนิดของสารเคลือบ | คุณลักษณะเฉพาะ |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Maltodextrin (DE<20) | Film forming |
| Corn syrup solid (DE>20) | Film forming |
| Modified starch | Very good emulsifier |
| Gum Arabic | Emulsifier, film forming |
| Modified cellulose | Film forming |
| Gelatin | Emulsifier, film forming |
| Cyclodextrin | Encapsulant, emulsifier |
| Lecithin | Emulsifier |
| Whey protein | Good emulsifier |
| Hydrogenated fat | Barrier to oxygen and water |

ที่มา: (เบญจา, 2550)

- มอลโตเดกซ์ตริน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดบางส่วนโดย การใช้กรดหรือเอนไซม์ โดยผลิตจำหน่ายในรูป Dextrose Equivalent (DEs)

DE value เป็นการวัดระดับของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ชซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์ซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบผิว

- กัมอารบิก เป็นกัมที่ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบเนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์และสามารถกักเก็บสารให้กลีนิรสได้ดี ไม่โครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลตสารให้กลีนิรสโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเดกซ์ตรินและกัมอารบิก เป็นสารเคลือบจะมีขนาดตั้งแต่ 10-200 ไมครอน และสามารถกักเก็บสารให้กลีนิรสได้มากกว่า 80% ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศของอากาศร้อน, ความเข้มข้นของอิมัลชัน ความหนืด และสัดส่วนของกัมอารบิกและมอลโตเดกซ์ตริน

2. โปรตีน

โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ของสารเคลือบเช่นค่าการละลาย, ความหนืด และคุณสมบัติของการทำให้เกิดฟิล์มซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูเลชันระหว่างการเกิดอิมัลชันโมเลกุลของโปรตีนจะดูดซับที่บริเวณ Oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด Steric stabilizing layer ชั้นที่จึงสามารถปกป้องหยดน้ำมันจากการกลับมารวมตัวอีกครั้งทำให้เกิดความเสถียรทางกายภาพของอิมัลชันระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา

- เวย์โปรตีน จะให้คุณสมบัติทางหน้าที่ที่ต้องการในการใช้เป็นสารเคลือบเวย์โปรตีนที่จัดจำหน่ายใน International market จะอยู่ในรูปของ Whey protein isolates (มีปริมาณโปรตีน 95-96%) หรือ Whey protein concentrate (WPC-50, WPC-70) powder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวย์โปรตีนเป็นสารเคลือบที่สามารถต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเอนแคปซูเลตน้ำมันส้ม โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยการใช้เวย์โปรตีนร่วมกับคาร์โบไฮเดรตสามารถใช้เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรสโดยเวย์โปรตีนจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มในขณะที่คาร์โบไฮเดรต (มอลโตเดกซ์ทรินหรือ Corn syrup solids) จะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเมทริกซ์

- โปรตีนชนิดอื่น ๆ Protein-based material เช่น Polypeptone, โปรตีนถั่วเหลือง หรืออนุพันธ์ของเจลาติน มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรกับสารให้กลิ่นรส

เจลาตินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายคอลลาเจน ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบในการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรสโดยเทคนิค Complex coacervation และเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยเนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ดี และมีคุณสมบัติในการเคลือบผิวไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่ได้โดยใช้เจลาตินเป็นสารเคลือบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส

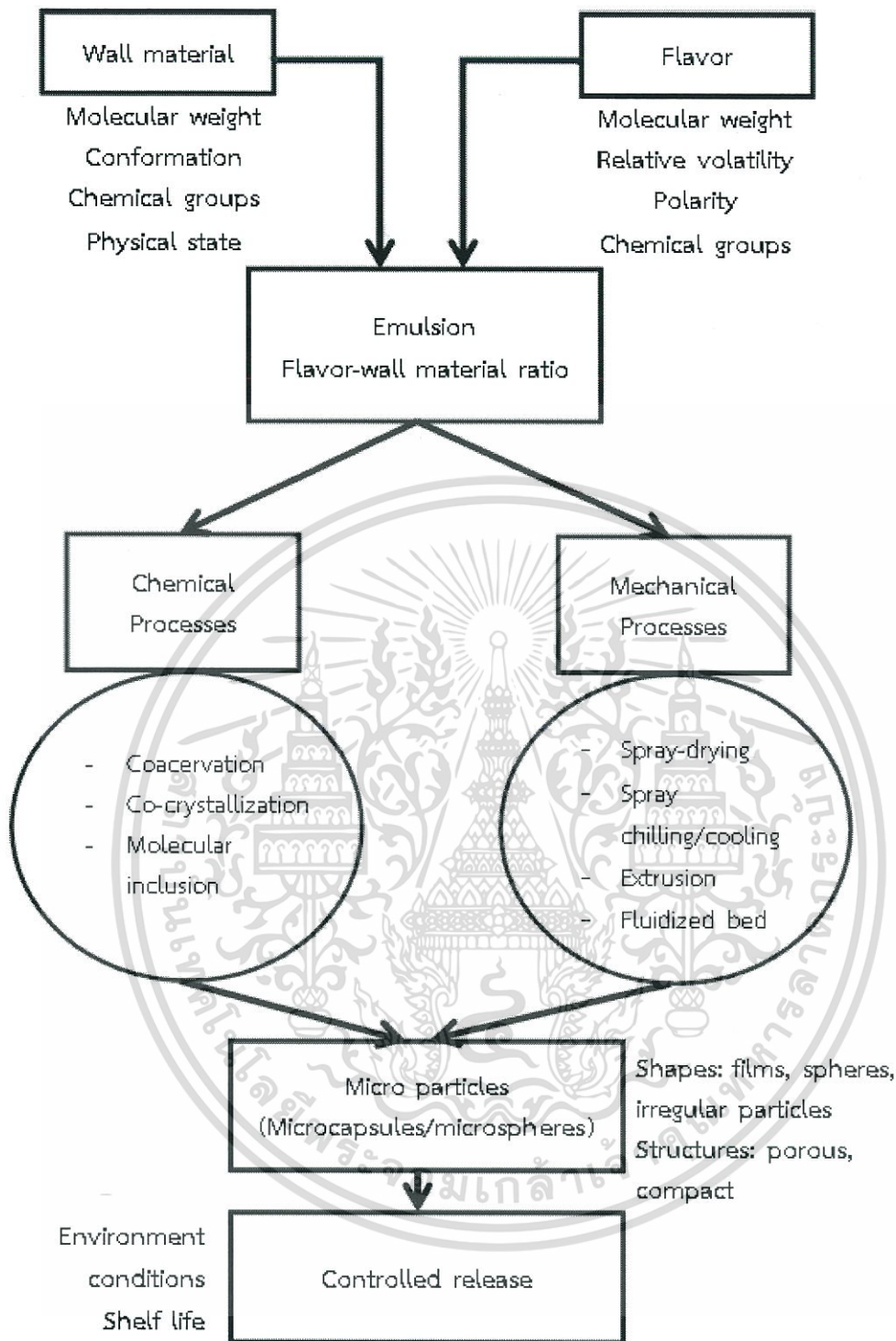
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลต

1. คุณสมบัติทางเคมีของสารให้กลิ่นรส ได้แก่ โครงสร้างทางเคมี, ความมีขี้ขี้ และความสามารถในการระเหย

2. คุณสมบัติของสารเคลือบ

3. สภาพที่ใช้ในขั้นตอนการเอนแคปซูเลต

สารเคลือบที่ใช้ในการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรสจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารให้กลิ่นรสมีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง, ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อมมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียรและสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ



รูปที่ 2.14 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรส (เบญจา, 2550)

2.3.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน

การเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรสสามารถทำได้หลายวิธีวิธีการที่ใช้อย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรมได้แก่เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย และเอ็กซ์ทรูชัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคอื่นๆ เช่นสเปรย์ซิลลิงและคูลลิง, การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟูลอิดไดส์เบด, การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม และเทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรส

| Techniques | Encapsulation Methods | Particle size (μm) | Max load (%) | Reference |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------|------------------------|
| Chemical techniques | Simple coacervation | 20-200 | <60 | Richard & Benoit, 2000 |
| | Complex coacervation | 5-200 | 70-90 | Richard & Benoit, 2000 |
| | Molecular inclusion | 5-50 | 5-10 | Uhlemann et al., 2002 |
| Mechanical techniques | Spray-drying | 1-50 | <40 | Richard & Benoit, 2000 |
| | Spray chilling | 20-200 | 10-20 | Uhlemann et al., 2002 |
| | Extrusion | 200-2000 | 6-20 | Uhlemann et al., 2002 |
| | Fluidized bed | >100 | 60-90 | Richard & Benoit, 2000 |

ที่มา : เบญจา, 2550

2.3.5 การเอนแคปซูเลตโดยใช้เครื่องมือ

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูเลตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม การผลิตสารให้กลิ่นรส เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่ายและต้นทุนการผลิตโดยวิธีนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น ขั้นตอนการเอนแคปซูเลตโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วยการนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ เช่น มอลโตเดกซ์ตริน สตาร์ชตัดแปรง กัมหรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ จากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการนำมาเอนแคปซูเลตมาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ โดยทั่วไปอัตราส่วนของสารเคลือบและสารแกนกลางจะอยู่ในช่วง 4:1 นำส่วนผสมที่ได้ไปผ่าน กระบวนการโฮโมจีไนซ์ เพื่อให้เกิดหยดของสารให้กลิ่นรส

ข้อดีของการเอนแคปซูเลตโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

- ต้นทุนการผลิตต่ำ
- เครื่องมือที่ใช้สามารถหาได้ง่าย
- สามารถปกป้องสารแกนกลางและเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด

ข้อด้อยของการเอนแคปซูเลตโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

- อาจเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดต่ำระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย
- อาจมีสารแกนกลางติดที่ผิวของไมโครแคปซูลซึ่งอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ที่ได้

- การเอนแคปซูเลตโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงที่ละเอียดมากโดยทั่วไปขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอยู่ในช่วง 10-100 ไมครอน ซึ่งอาจจะต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการ Agglomeration โดยใช้ Fluidized bed process เพื่อทำให้อนุภาคที่ผ่านการเอนแคปซูเลตสามารถละลายได้ทันทีหรือละลายได้ง่ายขึ้นเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในรูปของเหลว

เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตสารเคลือบโดยบริษัท Colloid Naturels และ TIC gum โดยการใช้กัมอารบิกและการใช้กัมอารบิกร่วมกับสตาร์ชหลายชนิดเพื่อทำให้สารให้กลิ่นรสมีความคงตัวมากขึ้นในระหว่างขั้นตอนการอบแห้งทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่นานขึ้น

นอกจากนี้ในปัจจุบันยังได้มีการพัฒนาเครื่อง Leaflesh spray dryer เพื่อใช้ในการเอนแคปซูลเลตสารให้กลิ่นรสที่มีจุดเดือดสูงโดยออกแบบให้อากาศร้อน (300–4000 องศาเซลเซียส) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงภายในห้องอบแห้งซึ่ง Leaflesh spray dryer สามารถใช้ในการอบแห้ง Citral และ Linalyl acetate โดยมีผลกระทบต่อคุณภาพของสารให้กลิ่นรสดังกล่าวน้อยมาก ในกรณีที่สารให้กลิ่นรสที่จะนำมาเอนแคปซูลเลตมีจุดเดือดต่ำการเอนแคปซูลเลตจะทำได้โดยนำอิมัลชันซึ่งประกอบไปด้วยสารให้กลิ่นรสในตัวกลางที่ละลายน้ำ เช่น กัมอารบิก มาผ่านหัวฉีดเพื่อพ่นละอองฝอยไปยังสารละลายเอทานอล ซึ่งเป็นของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลที่ได้สามารถแยกออกจากสารละลายโดยการกรองและทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำโดยใช้ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศวิธีการนี้ยังไม่มีเครื่องมือการผลิตเป็นแบบต่อเนื่องจึงทำให้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อากาศร้อนแต่วิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการผลิตสารให้กลิ่นรสที่มีราคาแพงและไวต่อความร้อน

การกักเก็บสารให้กลิ่นรสระหว่างกระบวนการเอนแคปซูลเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะขึ้นอยู่กับ

- คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของของสารแกนกลางและสารเคลือบ
- อุณหภูมิที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้ง
- คุณสมบัติของสารเคลือบ เช่นคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรความสามารถในการทำให้เกิดฟิล์มเคลือบที่ผิวของสารแกนกลางและมีความหนืดต่ำที่ความเข้มข้น

2.3.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้แก่

- องค์ประกอบและคุณสมบัติของสารเคลือบ
- อัตราส่วนของสารให้กลิ่นรส : สารเคลือบ
- วิธีการพ่นฝอยและตัวแปรในกระบวนการอบแห้ง
- การหดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในระหว่างขั้นตอนเริ่มต้นของการอบแห้ง
- สภาพะในการเก็บรักษา

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2545 พรรณจิราและคณะ ศึกษากระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผง โดยแบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ขั้นตอน คือการหาสภาวะในการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ และการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผง ซึ่งในการทดลองใช้น้ำผักผลไม้รวมที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำส้ม น้ำแครอท และน้ำมะนาวเท่ากับ 49 : 34 : 17 และที่ระดับปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 16 องศาบริกซ์ เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นจากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำน้ำผักผลไม้รวมมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 100 110 และ 120 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่ระดับร้อยละ 13 16 และ 19 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 110 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก จะให้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสที่ดีที่สุด ในขณะที่การอบแห้งน้ำผักผลไม้รวมด้วยเครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ที่ความดัน 160 ทอร์ กำลังไฟ 210 วัตต์ โดยใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่ระดับร้อยละ 13 16 และ 19 พบว่า การใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 16 โดยน้ำหนักจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสที่ดีที่สุดเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 2 วิธี พบว่า กรรมวิธีในการอบแห้งมีผลต่อความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณความชื้น ปริมาณวิตามินซีและสีของน้ำผักผลไม้รวมผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับขั้นตอนการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้ผงพบว่าการใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นกระจายโฟมโดยใช้สารละลายโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และเทคนิคการรวมกลุ่มอนุภาคผงโดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีค่าการละลายและค่าการกระจายตัวสูงขึ้น ในขณะที่มีความหนาแน่นปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (พรรณจิรา และคณะ, 2545)

ในปี 2550 ทำการวิจัย เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตริน (DE10) ขณะอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพและคุณค่าทางโภชนาการของสับปะรดผงโดย สโรบล และคณะ ซึ่งการทดลองผลิตสับปะรดผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นจำเป็นต้องมีการเติมสารช่วยทำแห้งเนื่องจากน้ำผลไม้โดยทั่วไปมีปริมาณน้ำตาลและกรดอินทรีย์ในปริมาณสูงทำให้ยากที่จะทำให้แห้งได้ โดยออกแบบการทดลองแบบแฟกตอเรียลตัวแปรกระบวนการที่ศึกษาได้แก่ 1) อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส และ 2) ความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตรินที่ 37 40 และ 43 %ฐานแห้งจากผลการทดลองพบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรมีผลกระทบต่อความชื้นความหนาแน่นบรรจุ การละลายที่ 30 องศาเซลเซียสและการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมจากการศึกษาผลของปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อคุณภาพของสับปะรดผงที่ได้พบว่า การลดอุณหภูมิและเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินจะทำให้ %ผลผลิตที่ได้สูงขึ้นและปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงอุณหภูมิลมร้อนที่สูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสมบัติการดูดความชื้น ค่าการกระจายตัวและค่าการละลายสูงขึ้นส่วนมอลโตเดกซ์ตรินมีผลทำให้ค่าสมบัติการดูดความชื้น ค่าการละลายลดลงส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลของผลิตภัณฑ์ลดลง 48-54% เมื่อพิจารณาคุณภาพโดยรวมสภาวะอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 130-150 องศาเซลเซียส 37% มอลโตเดกซ์ตริน (สโรบล และคณะ, 2550)

ปี 2552 การผลิตมัจจุผงด้วยกรรมวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยตัวแปรหลักที่มีผลกระทบบกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงที่ศึกษาคืออุณหภูมิของอากาศร้อนและความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการคัดลอก
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราผลตอบแทนร้อยละของผลิตภัณฑ์ผงและการละลายที่ 30 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นในขณะที่ ปริมาณความชื้นร้อยละและเวลาการละลายลดลงโดยการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่เข้าและความ เข้มข้นของมอลโตเดกซ์ตริน สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของผลิตภัณฑ์ผงโดยใช้ ร้อยละ 10 โดย น้ำหนักมอลโตเดกซ์ตริน และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จะให้ผลผลิตที่สูงมีความชื้น ต่ำและมีความสามารถในการละลายที่สูงจากสภาวะที่เหมาะสมพบว่า 100 ± 0.4 กิโลกรัม มังคุดให้ 33 ± 0.2 กิโลกรัม เนื้อมังคุด และให้ 31.8 ± 0.5 กิโลกรัม น้ำมังคุดสด น้ำมังคุดสดถูกสกัดผ่านเครื่อง อบแห้งแบบพ่นฝอยให้ 22.60 ± 1.04 กิโลกรัมของผงมังคุด ในเรื่องของกลิ่นสีและคุณค่าทาง โภชนาการของผงมังคุดก็มียังคงรักษาคุณภาพเช่นเดียวกับมังคุดสด (Chaisawadi และคณะ, 2009)

ในปี 2553 ศุภมาศ และคณะ ทำการศึกษาสภาวะของการทำแห้งทุเรียนแบบพ่นฝอย โดยใน การผลิตทุเรียนผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยจำเป็นต้องใช้มอลโตเดกซ์ตรินเพื่อเป็นสารตัวพาเพื่อ ป้องกันการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นและป้องกันการไหม้ระหว่างกระบวนการทำแห้งที่ต้องใช้อุณหภูมิสูง เนื่องจากทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีไขมันและน้ำตาลสูงโดยวางแผนการทดลองแบบแฟกตอเรียลระดับของ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้และปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเป็น 3 ระดับคืออุณหภูมิ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเป็นร้อยละ 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักโดยสภาวะที่ เหมาะสมสำหรับทำแห้งทุเรียนแบบพ่นฝอย คือ ใช้มอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของ สารละลายก่อนการทำแห้ง และใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็น 170 องศาเซลเซียสทั้งนี้ทุเรียนผงที่ได้จะมีลักษณะอนุภาคเล็กละเอียดมีสีเหลืองนวลและมีกลิ่นทุเรียนเมื่อ ละลายน้ำโดยทุเรียนผงที่ผลิตจากทุเรียนพันธุ์หอมทองระยะความสุกงอมจัด และทุเรียนผงที่ผลิต จากทุเรียนพันธุ์ชะนีและก้านยาวระยะสุกกำลังรับประทานจะได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภค สูงที่สุดและทุเรียนผงที่ผลิตได้เมื่อบรรจุในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนช่วยป้องกันฝุ่น ความชื้นและมี อายุการเก็บรักษาไม่เกิน 6 เดือนส่วนทุเรียนผงที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตจะมีอายุการเก็บ รักษามากกว่า 9 เดือน (ศุภมาศ และคณะ, 2553)

ปี 2553 Goula, A.M. และคณะ ได้ทำการพัฒนาเทคนิคสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดย เทคนิคใหม่ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยน้ำส้มเข้มข้นเป็นการปรับความชื้นของอากาศก่อนเข้าเครื่องทำ แห้ง และมอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารช่วยในการทำแห้ง โดยในการทดลองครั้งนี้ได้มีการปรับเปลี่ยน เครื่องทำแห้ง ซึ่งได้มีการออกแบบในส่วนท่ออากาศทางเข้าเพื่อใช้ในการดูดอากาศ ส่วนปริมาณสารที่ ใช้ช่วยในการทำแห้งจะใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่ระดับ DE-21 DE-12 และ DE-6 สภาวะลมร้อน ขาเข้า 110 120 130 และ 140 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำส้มเข้มข้นและ มอลโตเดกซ์ตรินเท่ากับ 4 2 1 และ 0.25 โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ความหนาแน่น การ ดูดซับความชื้น และสมบัติการละลาย ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่า การปรับความชื้นของอากาศ ก่อนเข้าเครื่องทำแห้ง และใช้มอลโตเดกซ์ตริน (DE-6) เป็นสารช่วยในการทำแห้งเป็นวิธีที่เพิ่ม ประสิทธิภาพในการลดการก่อด่างของผลิตภัณฑ์ (Goula และคณะ, 2010)

ในปี 2555 Solval และคณะ กล่าวถึงคุณประโยชน์ของแคนตาลูปว่าเป็นแหล่งที่ดีของแคโรทีนอยด์ และวิตามินซีที่เป็นประโยชน์ที่ควรรักษาไว้ในน้ำแคนตาลูป ซึ่งสามารถทำได้โดยการทำแห้ง แบบพ่นฝอย จุดประสงค์ของการศึกษาเพื่อพัฒนาแคนตาลูปผงและคำนวณหาคุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติทางกายภาพ โดยใส่มอลโตเดกซ์ตริน 10% เป็นตัวช่วยในการทำแห้งที่อุณหภูมิความ ร้อนขาเข้า 3 ระดับคือ 170 180 และ 190 องศาเซลเซียสจากนั้นนำไปวิเคราะห์หาค่าความชื้น ค่า วอเตอร์แอกติวิตี วิตามินซี คุณสมบัติการละลาย และโครงสร้างจุลภาค จากการทดลองพบว่าแคนตา ลูปสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่อุณหภูมิร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียสมีค่าของแบตาแคโรทีน วิตามินซีสูงกว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ใช้อุณหภูมิร้อนขาเข้าที่ 180 และ 190 องศาเซลเซียส (Solval และคณะ, 2012)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และการทดลอง

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแคนตาลูปผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยมีปัจจัยในการทำแห้ง 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง และปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน โดยมีปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 2 ระดับ คือ ร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง 3 ระดับคือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทั้งหมด 18 การทดลองจากนั้นนำผงผลิตภัณฑ์แคนตาลูปที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ

3.1 วัสดุที่ใช้ศึกษา

แคนตาลูปพันธุ์พอท ออเรนจ์ จากฟาร์มของคุณชนพงษ์ โกมลธง จังหวัดลำพูน

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ยี่ห้อ Euro-Best รุ่น EURO 2 ประกอบไปด้วย
 - เครื่องปั๊มลม (Air compressor)
 - เครื่องทำความร้อนชนิดครีบ (Finned heater)
 - พัดลมดูดอากาศ (Blower)
 - ปั๊มรีดท่อ (Peristaltic pump)
 - ถังภาชนะรองรับผลิตภัณฑ์ (Powder bucket)
2. เครื่องระเหยที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ประกอบไปด้วย
 - มอเตอร์แบบปรับความเร็วรอบ (Inverter)
 - ปั๊มสุญญากาศ (Rotary vacuum pump)
 - คอนเดนเซอร์ (Condenser)
 - เตาแผ่นให้ความร้อน
3. เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer) ยี่ห้อ IKAMAG รุ่น C-MAG HS7
4. ไฮโกรมิเตอร์ ยี่ห้อ DIGICON รุ่น HT-770
5. แอนนิโมมิเตอร์ ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT361
6. รีแฟรคโตมิเตอร์ ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Pal - α
7. เทอร์โมมิเตอร์ รุ่น TP3001

3.3 สารเคมี

1. มอลโตเดกซ์ตริน DE-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลโดยมีตัวแปรที่ต้องศึกษา 2 ตัวแปร คือ อุณหภูมิความร้อนขาเข้าในการทำแห้ง 3 ระดับคือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส และปริมาณ มอลโตเดกซ์ทริน 2 ระดับ คือ ร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทั้งหมด 18 การทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนในการเตรียมสารละลาย และการทำแห้ง ดังนี้

3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

1. นำผลแคนตาลูปมาปอกเปลือก (ดังรูปที่ 3.1 (ก)) จากนั้นหั่นเป็นชิ้น ๆ แล้วปั่นให้ละเอียด (ดังรูปที่ 3.1 (ข))



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 แคนตาลูป (ก) ปอกเปลือก (ข) ปั่น

2. นำน้ำแคนตาลูปที่ปั่นละเอียดแล้วมารองด้วยผ้าขาวบาง (ดังรูปที่ 3.2) วัดความเข้มข้น น้ำแคนตาลูป (ดังรูปที่ 3.3) เริ่มต้นได้ 10 องศาบริกซ์



รูปที่ 3.2 กรองแคนตาลูปด้วยผ้าขาวบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 น้ำแคนตาลูป

3. เพิ่มความเข้มข้นโดยนำน้ำแคนตาลูปความเข้มข้น 10 องศาบริกซ์ ไปเข้าเครื่องระเหยความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (ดังรูปที่ 3.4) ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ 40 เซนติเมตรปรอท จนมีความเข้มข้นสุดท้ายที่ 25 องศาบริกซ์



รูปที่ 3.4 เครื่องระเหยความดันต่ำกว่าบรรยากาศ

4. นำน้ำแคนตาลูปความเข้มข้น 25 องศาบริกซ์ (ดังรูปที่ 3.5 (ก)) มาผสมกับมอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ทำให้ได้น้ำแคนตาลูปเข้มข้นสุดท้ายที่ 32 และ 35 องศาบริกซ์ (ดังรูปที่ 3.5 (ข) และ 3.5 (ค)) ตามลำดับ



(ก)

(ข)

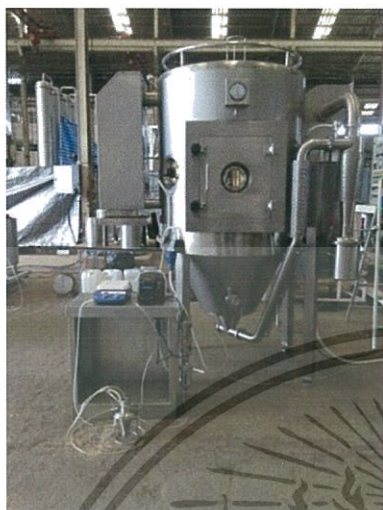
(ค)

รูปที่ 3.5 แคนตาลูปเข้มข้น (ก) 25 องศาบริกซ์ (ข) 32 องศาบริกซ์ และ (ค) 35 องศาบริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. เปิดเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (ดังรูปที่ 3.6 (ก)) ทิ้งไว้ก่อนประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อเป็นการเตรียมเครื่อง พร้อมทั้งเตรียมหัวฉีดสารละลายชนิดงานเหวี่ยง (ดังรูปที่ 3.6 (ข))



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.6 (ก) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (ข) หัวฉีดสารละลายชนิดงานเหวี่ยง

2. ตั้งค่าสถานะของเครื่องดังนี้

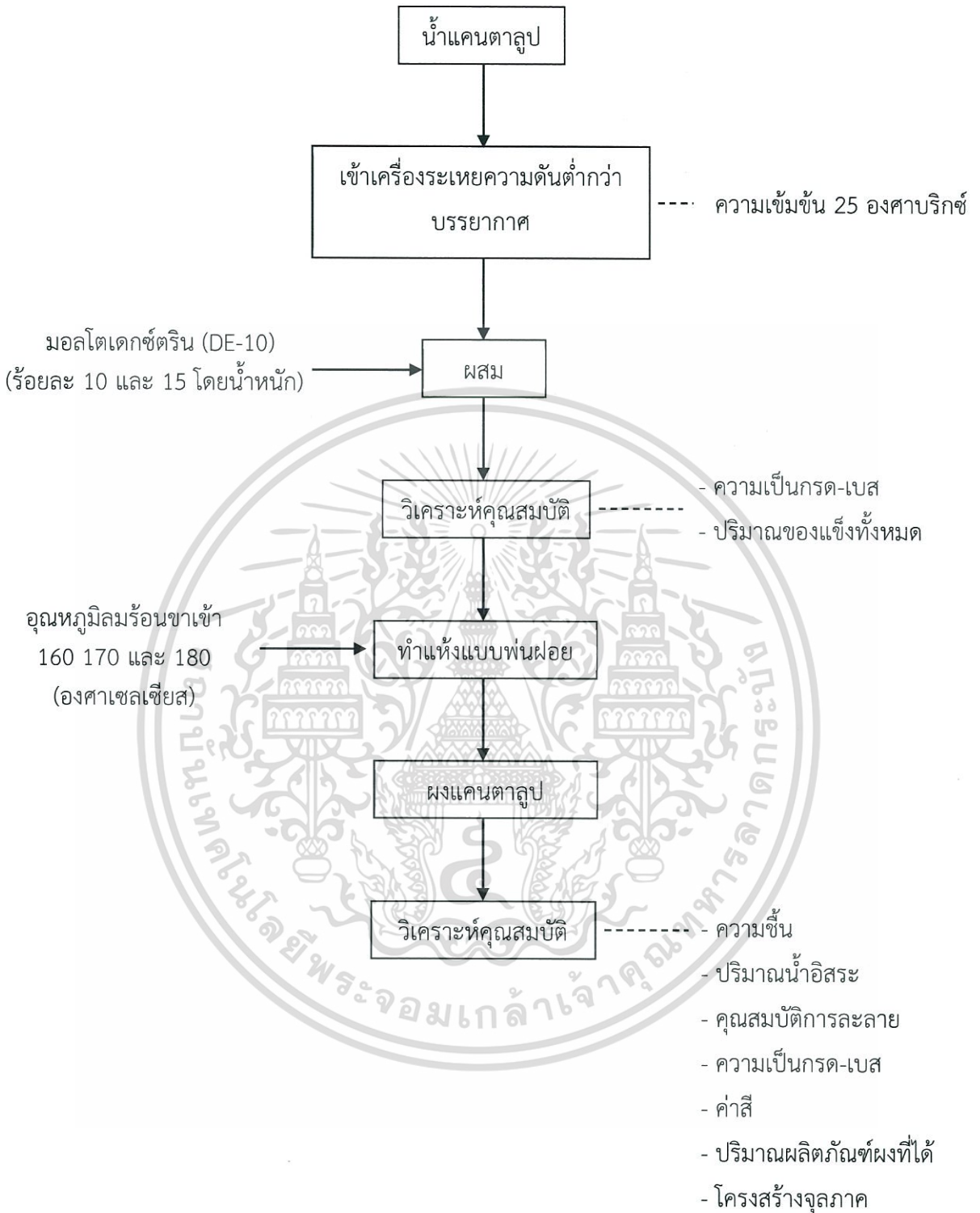
- ความดันหัวฉีดแบบงานเหวี่ยง 0.5 เมกะปาสคาล
- อัตราการไหลของอากาศ 190.16 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
- อัตราการป้อนของป้อน 55.5 รอบต่อนาที
- อุณหภูมิสารละลายที่ป้อน 30 องศาเซลเซียส

3. เปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อเป็นการคงอุณหภูมิภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยก่อนการทำแห้ง

4. ทำการทดลองโดยเริ่มจากการป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ก่อนการทำแห้งน้ำแคนตาลูป

5. ป้อนสารละลายน้ำแคนตาลูปที่เตรียมไว้เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และเปิดแอมเมอร์ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการติดค้างของผลิตภัณฑ์

6. เก็บผลิตภัณฑ์ผงที่ได้บรรจุใส่ซองอะลูมิเนียมที่ปิดสนิทด้วยความร้อน เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ผงแคนตาลูปสัมผัสอากาศ จากนั้นชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่อไป



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการผลิตแคนตาลูปผงด้วยกรรมวิธีการทำแท้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำแคนตาลูปผง

3.5.1 ปริมาณความชื้น

เครื่องมือ

1. ตู้อบลมร้อน
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก

การวิเคราะห์

นำผลิตภัณฑ์ผงประมาณ 1 กรัม เข้าเครื่องตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.5.2 ปริมาณน้ำอิสระ

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดค่า a_w อัตโนมัติยี่ห้อ AQUA LAB MODEL SERIES 3 TE

การวิเคราะห์

โดยทำการหาค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.5.3 คุณสมบัติการละลาย (สโรบล และคณะ, 2550)

เครื่องมือ

1. เครื่องกวนสารละลาย และแท่งกวนแม่เหล็ก
2. ปีกเกอร์ 1 ลิตร
3. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างด้วยน้ำหนักที่แน่นอน 3 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กวนผสมด้วยเครื่องกวนสารละลายที่ความเร็วคงที่ จับเวลาในการละลายอย่างสมบูรณ์

* สมบัติการละลาย = เวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างจนสมบูรณ์

3.5.4 ความเป็นกรด – เบส (pH)

เครื่องมือ

1. pH meter
2. ปีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร
3. น้ำกลั่น

การวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างผง 5 กรัม
2. เติลงในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
3. วัดค่า pH ของสารละลาย 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 ค่าสี

เครื่องมือ

เครื่อง Colorimeter (Tri-Stimulus Colori-meter)

การวิเคราะห์

ทำการวัดค่าสี L^* a^* และ b^* อ่านค่า และทำการทดลอง 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย นำค่าไปวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมจากสมการ

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

โดยที่ L^* คือ ความสว่าง

a^* คือ ค่าแทนสีแดง-เขียว

b^* คือ ค่าแทนสีเหลือง - น้ำเงิน

3.5.6 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (ธนกฤต และคณะ, 2553)

เครื่องมือ

เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

เป็นเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาโดยชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงมาหาความชื้นและนำมาคำนวณจากสมการ

$$\%yield = \frac{W_{CP}}{SS_{CF}} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

โดย W_{CP} คือ ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้

SS_{CF} คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น

3.5.7 โครงสร้างจุลภาค

เครื่องมือ

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ดังรูปที่ 3.8) (Scanning Electron Microscopy, SEM) ยี่ห้อ ZEISS รุ่น EVO MA 10



รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์

ถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคของแคนตาลูปผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 300 เท่า และ 3000 เท่า ขนาด 10 และ 100 ไมโครเมตร

3.6 การวางแผนการทดลอง

ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (ดังตารางที่ 3.1) โดยประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า โดยที่ ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมี 2 ระดับ คือ ร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับคือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทั้งหมด 18 การทดลอง

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

| การทดลองที่ | ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) |
|-------------|--|--|
| 1 | 10 | 160 |
| 2 | | 170 |
| 3 | | 180 |
| 4 | 15 | 160 |
| 5 | | 170 |
| 6 | | 180 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำแคนตาลูปมีปัจจัย 2 ประการที่เกี่ยวข้อง คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายแคนตาลูปก่อนการทำแห้งที่สภาวะต่าง ๆ

| ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | ค่าสีของน้ำแคนตาลูป | | |
|--|---------------------|-----------|-----------|
| | L_0^* | a_0^* | b_0^* |
| 10 | 1.11±0.05 | 4.7±0.52 | 2.55±0.23 |
| 15 | 1.29±0.00 | 7.05±0.66 | 1.72±0.25 |

4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองทำแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มต้นโดยการเตรียมสารละลายแคนตาลูปตามตารางการทดลองและควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง

| No. | อุปกรณ์ | ตัวแปรปรับแต่ง | ตัวแปรควบคุม |
|-----|---|----------------|--------------|
| 1 | อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | 160, 170, 180 | - |
| 2 | ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (เปอร์เซ็นต์) | 10, 15 | - |
| 3 | หัวฉีดสารละลาย | - | งานเหวี่ยง |
| 4 | อัตราการไหลเชิงปริมาตรของลม (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) | - | 190.16 |
| 5 | ความดันหัวฉีด (เมกะปาสกาล) | - | 0.5 |
| 6 | ความเร็วพัดลม (เฮิร์ต) | - | 37 |

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผง

จากการดำเนินการทดลองการทำแห้งครบทุกสภาวะแล้ว เมื่อนำผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ คุณสมบัติการละลาย ความเป็นกรด – เบส ค่าสี ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ และโครงสร้างจุลภาคของแคนตาลูปผงได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงด้วยการทำแห้งแบบนํ้าฝอยที่สภาวะต่าง ๆ

| การทดลองครั้งที่ | อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (ร้อยละโดยนํ้าหนัก) | ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) | ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (ร้อยละ) | | | | ค่าสีของผง | | | การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม |
|------------------|--------------------------------------|---|-------------------------|--|-------------------|-----------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------------------|
| | | | | ปริมาณน้ำอิสระ | คุณสมบัติการละลาย | ความเป็นกรด-เบส | L* | a* | b* | | |
| 1 | 160 | 10 | 6.65±0.62 | 30.28±3.74 | 0.25±0.01 | 1.91±0.32 | 5.78±0.07 | 2.02±0.67 | 5.65±1.17 | 3.29±1.13 | 1.78±1.34 |
| 2 | 170 | 10 | 6.07±0.57 | 27.93±4.41 | 0.26±0.01 | 1.65±0.31 | 5.67±0.04 | 1.74±0.22 | 4.17±0.68 | 2.73±0.36 | 1.00±0.43 |
| 3 | 180 | 10 | 5.81±0.66 | 28.98±2.78 | 0.23±0.03 | 2.08±0.06 | 5.68±0.02 | 1.42±0 | 3.44±0.57 | 2.21±0.01 | 1.36±0.51 |
| 4 | 160 | 15 | 5.44±0.61 | 36.22±4.30 | 0.24±0.05 | 1.89±0.31 | 5.69±0.08 | 1.84±0.05 | 4.45±0.93 | 3.04±0.04 | 3.00±0.77 |
| 5 | 170 | 15 | 5.20±0.59 | 49.96±5.45 | 0.22±0.03 | 1.92±0.31 | 5.55±0.03 | 0.72±0.25 | 1.66±0.74 | 1.17±0.54 | 5.46±0.81 |
| 6 | 180 | 15 | 5.87±0.71 | 28.35±7.69 | 0.24±0.01 | 1.90±0.31 | 5.55±0.05 | 0.81±0.28 | 1.5±1.33 | 1.18±0.45 | 5.61±1.37 |

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

| ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | | |
|--|--|------------|------------|
| | 160 | 170 | 180 |
| 10 | 6.65±0.62A | 6.07±0.57A | 5.81±0.66A |
| 15 | 5.44±0.61B | 5.20±0.59B | 5.87±0.71B |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กตามหลังในแนวนอนและตัวใหญ่ตามหลังในแนวตั้งแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วงร้อยละ 5.20 - 6.65 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนักปริมาณความชื้นที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อพิจารณาปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินทุกอุณหภูมิพบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงที่ได้มีความชื้นลดลง ส่วนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในช่วง 160-180 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลกระทบต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

| ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | อุณหภูมิสมร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส) | | |
|--|--|-----------|-----------|
| | 160 | 170 | 180 |
| 10 | 0.25±0.01 | 0.26±0.01 | 0.23±0.03 |
| 15 | 0.24±0.05 | 0.22±0.03 | 0.24±0.01 |

ค่าปริมาณน้ำอิสระของแคนตาลูปผงที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.22-0.26 และเมื่อพิจารณาทั้ง 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิสมร้อนชาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระของแคนตาลูปผงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ 4.5



4.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการละลาย

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการละลาย

| ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | อุณหภูมิผสมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | | |
|--|---|-----------|-----------|
| | 160 | 170 | 180 |
| 10 | 1.91±0.32 | 1.65±0.31 | 2.08±0.06 |
| 15 | 1.89±0.31 | 1.92±0.31 | 1.90±0.31 |

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติการละลายของแคนตาลูปผง พบว่ามีค่าคุณสมบัติการละลายอยู่ในช่วง 1.65-2.08 นาที เมื่อพิจารณาทั้งอุณหภูมิผสมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการละลายของแคนตาลูปผงที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ 4.6



4.3.4 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด - เบส

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด - เบส

| ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | อุณหภูมิร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส) | | |
|--|--------------------------------------|-------------|-------------|
| | 160 | 170 | 180 |
| 10 | 5.78±0.07aA | 5.67±0.04bA | 5.68±0.02bA |
| 15 | 5.69±0.08aB | 5.55±0.03bB | 5.55±0.05bB |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กตามหลังในแนวนอนและตัวใหญ่ตามหลังในแนวตั้งแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ความเป็นกรด - เบสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 5.55 - 5.78 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิร้อนชาเข้าที่ 160 องศาเซลเซียส ทั้งปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 10% และ 15% ความเป็นกรด - เบสที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญส่วนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อนชาเข้า 170 และ 180 องศาเซลเซียส ไม่ส่งผลต่อความเป็นกรด - เบสอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินพบว่าส่งผลต่อความเป็นกรด - เบสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยความเป็นกรด - เบสของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงที่ได้มีค่าลดลง เป็นกรดมากขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.7

4.3.5 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าการวัดสี

| การทดลองครั้งที่ | อุณหภูมิเริ่มร่อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | ค่าสีของแคนตาลูปผง | | | การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม |
|------------------|---|--|--------------------|------|------|---------------------------|
| | | | L* | a* | b* | |
| 1 | 160 | 10 | 1.42 | 4.40 | 2.18 | 0.57 |
| 2 | 160 | 10 | 1.90 | 5.84 | 3.24 | 1.55 |
| 3 | 160 | 10 | 2.75 | 6.72 | 4.44 | 3.22 |
| 4 | 170 | 10 | 1.83 | 3.71 | 2.89 | 1.27 |
| 5 | 170 | 10 | 1.90 | 3.86 | 2.99 | 1.23 |
| 6 | 170 | 10 | 1.49 | 4.95 | 2.32 | 0.51 |
| 7 | 180 | 10 | 1.42 | 4.09 | 2.21 | 0.76 |
| 8 | 180 | 10 | 1.42 | 3.12 | 2.21 | 1.64 |
| 9 | 180 | 10 | 1.42 | 3.10 | 2.22 | 1.66 |
| 10 | 160 | 15 | 1.90 | 3.81 | 3.03 | 3.55 |
| 11 | 160 | 15 | 1.81 | 4.01 | 3.01 | 3.34 |
| 12 | 160 | 15 | 1.81 | 5.52 | 3.09 | 2.12 |
| 13 | 170 | 15 | 0.97 | 2.31 | 1.67 | 4.75 |
| 14 | 170 | 15 | 0.72 | 1.82 | 1.24 | 5.28 |
| 15 | 170 | 15 | 0.48 | 0.86 | 0.59 | 6.34 |
| 16 | 180 | 15 | 0.48 | 0.62 | 0.66 | 6.57 |
| 17 | 180 | 15 | 0.97 | 3.03 | 1.49 | 4.04 |
| 18 | 180 | 15 | 0.97 | 0.85 | 1.38 | 6.22 |

จากการวิเคราะห์ค่าสีผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผง โดยการตรวจสอบจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 18 สภาวะการทดลอง พบว่าผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ระหว่าง 0.48-2.75 ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือสีเขียว (a*) อยู่ระหว่าง 0.62-6.72 และค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน (b*) อยู่ระหว่าง 0.59-4.44 และการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวมอยู่ระหว่าง 0.51-6.57

ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง

| ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | | |
|--|--------------------------------------|-------------|-------------|
| | 160 | 170 | 180 |
| 10 | 2.02±0.67aA | 1.74±0.22aA | 1.42±0aA |
| 15 | 1.84±0.05aB | 0.72±0.25bB | 0.81±0.28bB |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กตามหลังในแนวนอนและตัวใหญ่ตามหลังในแนวตั้งแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.72-2.02 เมื่ออุณหภูมิร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่งผลทำให้มีสีเข้มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.9



ผลการวิเคราะห์ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว

| ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | อุณหภูมิหมักร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส) | | |
|--|--|--------------|-------------|
| | 160 | 170 | 180 |
| 10 | 5.65±1.17aA | 4.17±0.68abA | 3.44±0.57bA |
| 15 | 4.45±0.93aB | 1.66±0.74bB | 1.50±1.33bB |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กตามหลังในแนวนอนและตัวใหญ่ตามหลังในแนวตั้งแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือสีเขียวที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.50-5.65 เมื่ออุณหภูมิหมักร้อนชาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเป็นสีแดงของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.10



ผลการวิเคราะห์ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ค่าที่แสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงิน

| ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | อุณหภูมิหมักร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | | |
|--|--|-------------|-------------|
| | 160 | 170 | 180 |
| 10 | 3.29±1.13aA | 2.73±0.36aA | 2.21±0.01aA |
| 15 | 3.04±0.04aB | 1.17±0.54bB | 1.18±0.45bB |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กตามหลังในแนวนอนและตัวใหญ่ตามหลังในแนวตั้งแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ค่าแสดงความเป็นสีเหลือง หรือน้ำเงินของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.17-3.29 เมื่อพิจารณาทุกอุณหภูมิหมักร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ 4.11



ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวม

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวม

| ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | อุณหภูมิหมักร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส) | | |
|--|---------------------------------------|-------------|-------------|
| | 160 | 170 | 180 |
| 10 | 1.78±1.34aA | 1.00±0.43aA | 1.36±0.51aA |
| 15 | 3.00±0.77aB | 5.46±0.81bB | 5.61±1.37bB |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กตามหลังในแนวนอนและตัวใหญ่ตามหลังในแนวตั้งแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 1.00-5.61 และเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มมากขึ้นในสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิหมักร้อนชาเข้าเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้การเปลี่ยนค่าสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงที่ได้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.12



4.3.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

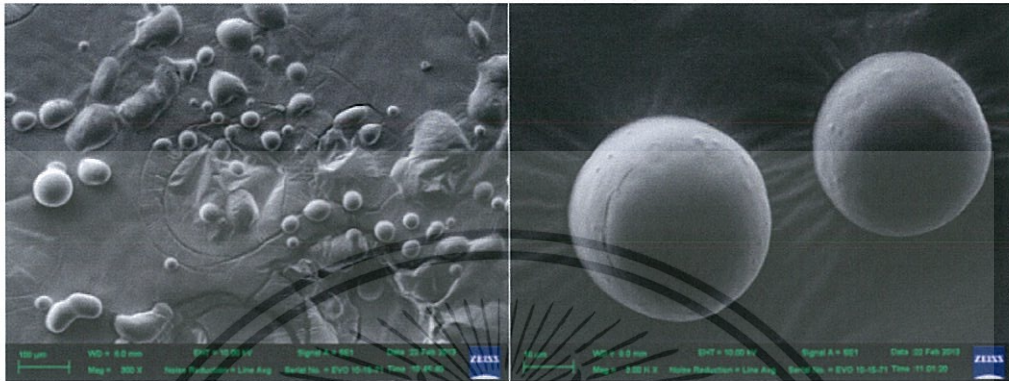
| ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | อุณหภูมิหม้อน้ำเข้า (องศาเซลเซียส) | | |
|--|---------------------------------------|--------------|--------------|
| | 160 | 170 | 180 |
| 10 | 30.28±3.74aA | 27.93±4.41aA | 28.98±2.78aA |
| 15 | 36.22±4.30aB | 49.96±5.45bB | 28.35±7.69aB |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กตามหลังในแนวนอนและตัวใหญ่ตามหลังในแนวตั้งแสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

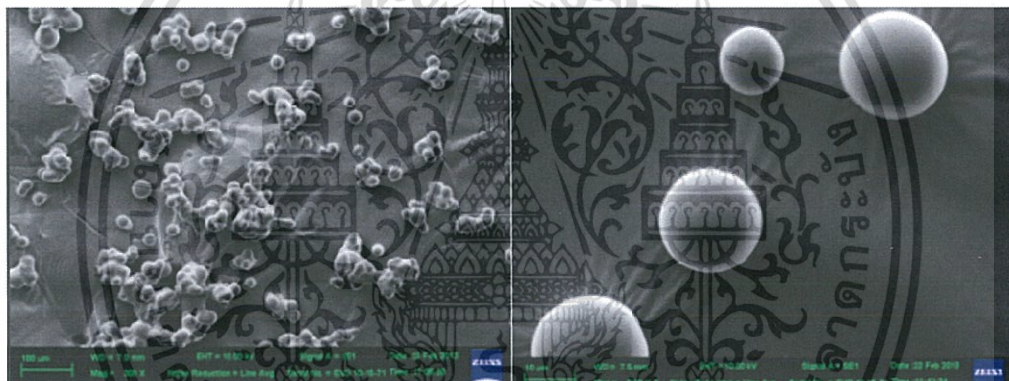
ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการวิเคราะห์หมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 27.93 - 49.96 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิหม้อน้ำเข้า พบว่าไม่ส่งผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ที่อุณหภูมิหม้อน้ำเข้า 170 องศาเซลเซียส ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมอลโตเดกซ์ตรินช่วยลดการเกาะติดภายในห้องอบแห้ง ในขณะที่เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิหม้อน้ำเข้าต่ำทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มากขึ้น แต่เมื่อใช้อุณหภูมิสูงกลับทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.13

4.3.7 โครงสร้างจุลภาคของแคนตาลูปผง

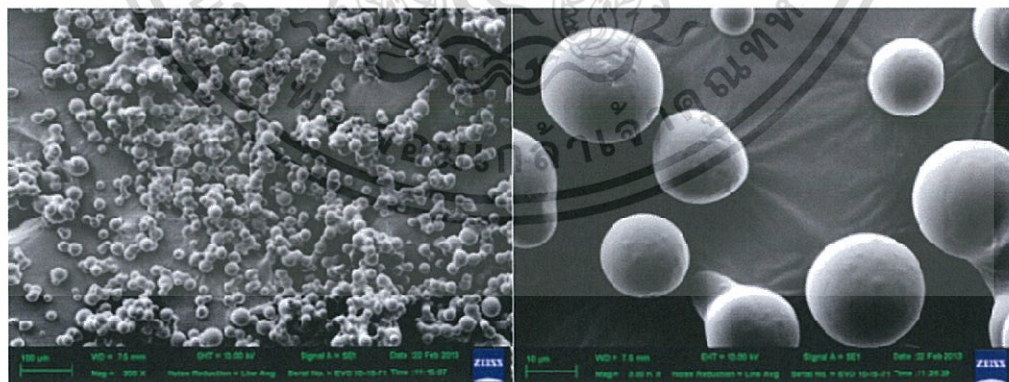
จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของแคนตาลูปผงใน 6 สภาวะ คือ ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 10% อุณหภูมิ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 6 และปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 15% อุณหภูมิ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 7 พบว่าลักษณะของอนุภาคแคนตาลูปผงมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีพื้นผิวเรียบ



(ก)



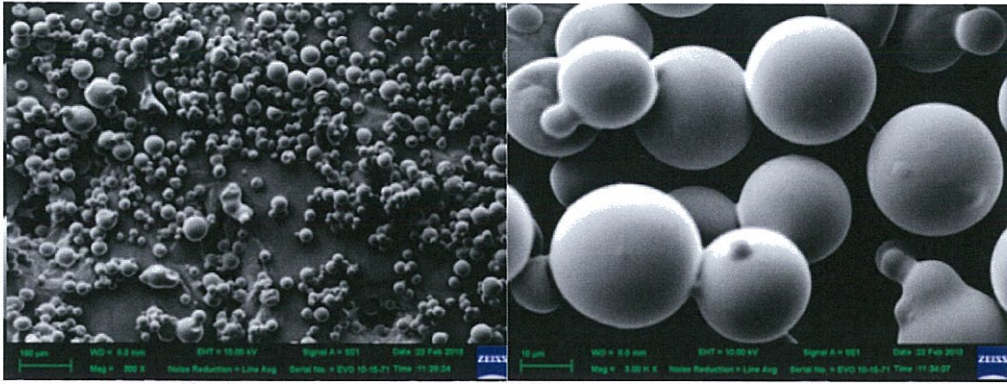
(ข)



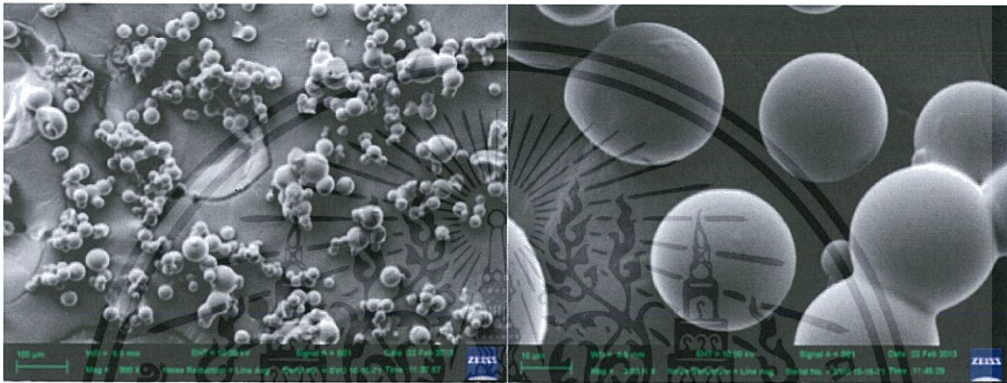
(ค)

รูปที่ 4.1 โครงสร้างจุลภาคของแคนตาลูปผงที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ (ก) 160 °ซ (ข) 170 °ซ (ค) 180 °ซ กำลังขยาย : ซ้าย 3000 เท่า และขวา 300 เท่า

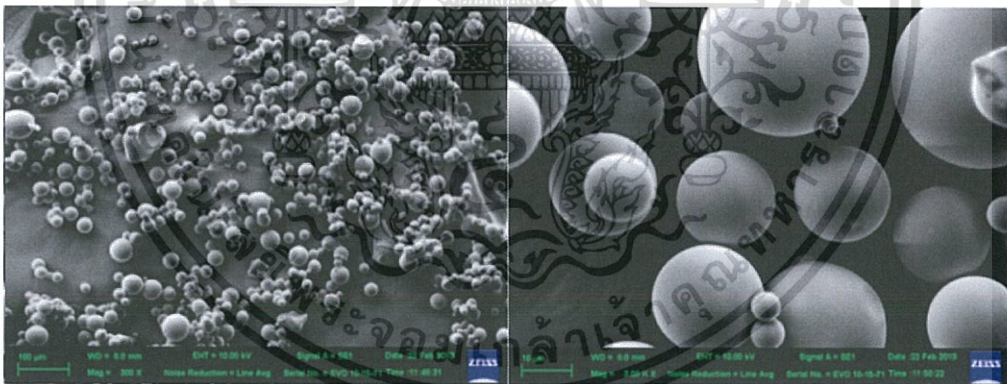
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาคของแคนตาลูปผงที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักอนุภาค (ก) 160 °ซ (ข) 170 °ซ (ค) 180 °ซ กำลังขยาย : ซ้าย 3000 เท่า และขวา 300 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (DE-10) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผง โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลมีปัจจัยในการทำแห้ง 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง และปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน แบ่งเป็นอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง 3 ระดับคือ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 2 ระดับคือ ร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 27.93 – 49.96 ปริมาณความชื้น (ฐานเปียก) ร้อยละ 5.20 – 6.65 เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลง แต่มีบางสภาวะที่ปริมาณความชื้นไม่เป็นไปตามแนวโน้ม อันเนื่องมาจากสภาพอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจึงส่งผลปริมาณความชื้นของลมที่ใช้ในการทำแห้ง และส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ซึ่งมีแนวโน้มตามปริมาณความชื้น และส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมมีค่ามากขึ้น นั่นคือมีสีส้มเข้มขึ้นนั่นเอง ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มขึ้นของปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน มีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลง ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เพิ่มขึ้น และพบว่าคุณสมบัติการละลายของผลิตภัณฑ์มีค่าที่ดีเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกัน หากพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผงโดยรวมแล้ว อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งที่เหมาะสมคือ 170 องศาเซลเซียส (ซึ่งงานวิจัยทุเรียนผงของ ศุภมาส และคณะ ก็เลือกอุณหภูมินี้เช่นกัน) และปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นร้อยละ 5.20 เปอร์เซ็นต์ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ร้อยละ 49.96 มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมน้อย ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติทางกายภาพผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผง พบว่าเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

5.2 ปัญหาที่พบ

1. สภาพอากาศในแต่ละวันมีความชื้นสัมพัทธ์สูง-ต่ำแตกต่างกัน เช่น ในบางวันมีฝนตกอากาศที่ใช้ในการแห้งมีความชื้นสูง จึงส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้
2. น้ำแคนตาลูปมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบค่อนข้างสูงจึงทำให้ยากต่อการทำแห้ง ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์เหนียวติดตามผนังห้องทำแห้ง
3. กลิ่นของแคนตาลูปสูญหายไปในช่วงการทำแห้ง
4. ผลิตภัณฑ์ผงแคนตาลูปดูดความชื้นเร็วมากและจับตัวเป็นก้อน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่สูง อาจไม่ได้มาจากสภาพอากาศรอบ ๆ บริเวณทำแห้งเพียงอย่างเดียว อาจมีผลมาจากการใช้ความดันหัวฉีดที่เร็วเกินไป หรือใช้อัตราการป้อนผลิตภัณฑ์ที่เร็วเกินไป จึงทำให้การทำแห้งผลิตภัณฑ์ไม่เต็มที่เท่าที่ควร จึงต้องปรับความดันหัวฉีดและอัตราการป้อนให้น้อยลง
2. เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นเร็วมาก จึงควรเติมสารแอนตี้แคกกิง เพื่อป้องกันการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์และป้องกันการจับตัวเป็นก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- คำนึ่ง คำอุดม. 2553. *แต่งแคนตาลูป*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม. หน้า 8-21.
- ไทรท์ ศรีโยธา คมสันต์ อัทธพงษ์พิเชษฐ์ พิศาล ฝ่ายชานา และสมรรถ ชันทะมุล. 2551. *การศึกษากระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย*. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตแดนแก่น
- ชนกฤต จันท์คำ พรทิพย์ ถวิลประภา และสุทธิรัตน์ บุญหะจิตร. 2553. *การศึกษาการผลิตครีมเทียมผง*. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เบญจา ชูตินทราศรี. 2550. *เทคโนโลยีส่วนผสมอาหารสังเคราะห์ (Synthetic Food Ingredients Technology) (FY 463)*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง: กรุงเทพมหานคร. หน้า 256.
- พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ มณฑิรา นพรัตน์ ดวงพร ตั้งบำรุงพงษ์ และสุเทพ อภินันท์จารุพงศ์. 2545. *กระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและไม่โครเวฟสุญญากาศ*. หน้า 257-277.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธยา รัตนานพนธ์. 2556. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย. [ออนไลน์]. สืบค้นจากเว็บไซต์ <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0971/spray-drier> เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (วันที่สืบค้น 25 มกราคม 2556).
- ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2532. *กรรมวิธีแปรรูปอาหาร*. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วิไล รังสาดทอง. 2546. *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ. หน้า 89.
- ศุภมาศ กลิ่นขจร ชูติมา อัครเสถียร จิตติมา วรณแก้ว และ ภคินี อัครเวสสะพงศ์. 2553. *การวิจัยและพัฒนาการแปรรูปทุเรียนผง*, กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนา วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร
- สโรบล สโรชวิกลิต ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี และสั๊กกมล เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2554. *การทำแห้งน้ำสับประรดด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย*. กรุงเทพฯ: วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สุเมธ บุญเกิด. 2555. *วิจัยอุตสาหกรรมเภสัชและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ* [ออนไลน์]. จากเว็บไซต์: <http://www.gpo.or.th/rdi/htmls/spray.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 18/08/2555
- อุทัยวรรณ ฉัตรธง. 2554. การทำแห้ง [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2555 จาก http://www.kasetpibul.net/lms/claroline/backends/download.php?url=L1BpeWF3YW5fMV9EZWh5ZGFOaW9uLnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=FST341_002

- Chaisawadi, S., Plaibua, P., Deerasamee, O. and Keabunrung, S. 2009. *Spray dried processing of mangosteen powder*. King Mongkut's University of Technology Thonburi (Bangkuntien), 37, 1-5.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2010. *A new technique for spray drying orange juice concentrate*. Innovative food science and emerging technologies, 11, 342-351
- Mani, S., Jaya, S. and Das, H. 2002. *Sticky Issue on spray drying of fruit juices*. The society for engineering in agricultural, food and biological systems.
- Solval, K.M., Sundararajan, S., Alfaro, L. and Sathivel, S. 2012. *Development of cantaloupe (Cucumis melo) juice powders using spray drying technology*. LWT-Food Science and Technology, 46, 287-293.
- Yehia, I., Arif, E. M., El Lithy, A.M. and Atallah, M. M. 2010. *Physical and mechanical properties of cantaloupe applied to design seed-extraction machine*. Misr J. Agricultural Engineer, 27(2), 600 – 612





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ผลของผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผง

ตารางแสดงผลปริมาณความชื้น

| การทดลองครั้งที่ | อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | เวลา (ชั่วโมง) | ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) | | | ค่าเฉลี่ย |
|------------------|--------------------------------------|--|----------------|-------------------------|--------|--------|-----------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 160 | 10 | 6 | 6.4169 | 5.7441 | 6.6313 | 6.2641 |
| 2 | 160 | 10 | 6 | 6.3850 | 6.3216 | 6.2387 | 6.3151 |
| 3 | 160 | 10 | 6 | 7.7269 | 6.9987 | 7.3667 | 7.3641 |
| 4 | 170 | 10 | 6 | 5.5607 | 5.8914 | 6.0124 | 5.8215 |
| 5 | 170 | 10 | 6 | 6.7474 | 6.7394 | 6.6870 | 6.7246 |
| 6 | 170 | 10 | 6 | 5.7746 | 5.7856 | 5.4672 | 5.6758 |
| 7 | 180 | 10 | 6 | 6.0396 | 6.3021 | 5.9823 | 6.1080 |
| 8 | 180 | 10 | 6 | 6.0482 | 6.5431 | 6.2109 | 6.2674 |
| 9 | 180 | 10 | 6 | 5.0042 | 5.0409 | 5.0902 | 5.0451 |
| 10 | 160 | 15 | 6 | 5.9668 | 5.9888 | 5.9985 | 5.9847 |
| 11 | 160 | 15 | 6 | 5.6256 | 5.4897 | 5.5590 | 5.5581 |
| 12 | 160 | 15 | 6 | 4.7721 | 4.7845 | 4.7645 | 4.7737 |
| 13 | 170 | 15 | 6 | 4.3100 | 5.0245 | 4.8171 | 4.7172 |
| 14 | 170 | 15 | 6 | 5.9964 | 5.7824 | 5.8798 | 5.8862 |
| 15 | 170 | 15 | 6 | 4.9675 | 4.9801 | 5.0026 | 4.9834 |
| 16 | 180 | 15 | 6 | 5.2903 | 5.8609 | 5.4091 | 5.5201 |
| 17 | 180 | 15 | 6 | 5.8604 | 5.9825 | 6.0230 | 5.9553 |
| 18 | 180 | 15 | 6 | 6.0788 | 6.1201 | 6.1896 | 6.1295 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลปริมาณน้ำอิสระ

| การทดลองครั้งที่ | อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | ปริมาณมอเตอร์เดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | ปริมาณน้ำอิสระ |
|------------------|--|--|----------------|
| 1 | 160 | 10 | 0.251 |
| 2 | 160 | 10 | 0.258 |
| 3 | 160 | 10 | 0.234 |
| 4 | 170 | 10 | 0.244 |
| 5 | 170 | 10 | 0.257 |
| 6 | 170 | 10 | 0.263 |
| 7 | 180 | 10 | 0.262 |
| 8 | 180 | 10 | 0.239 |
| 9 | 180 | 10 | 0.199 |
| 10 | 160 | 15 | 0.310 |
| 11 | 160 | 15 | 0.208 |
| 12 | 160 | 15 | 0.197 |
| 13 | 170 | 15 | 0.248 |
| 14 | 170 | 15 | 0.225 |
| 15 | 170 | 15 | 0.189 |
| 16 | 180 | 15 | 0.228 |
| 17 | 180 | 15 | 0.240 |
| 18 | 180 | 15 | 0.244 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลคุณสมบัติการละลาย

| การทดลองครั้งที่ | อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | การละลาย (นาทีก) |
|------------------|--------------------------------------|--|---------------------|
| 1 | 160 | 10 | 2.12 |
| 2 | 160 | 10 | 2.08 |
| 3 | 160 | 10 | 1.54 |
| 4 | 170 | 10 | 1.51 |
| 5 | 170 | 10 | 1.44 |
| 6 | 170 | 10 | 2.01 |
| 7 | 180 | 10 | 2.11 |
| 8 | 180 | 10 | 2.13 |
| 9 | 180 | 10 | 2.01 |
| 10 | 160 | 15 | 1.54 |
| 11 | 160 | 15 | 2.02 |
| 12 | 160 | 15 | 2.12 |
| 13 | 170 | 15 | 2.15 |
| 14 | 170 | 15 | 1.57 |
| 15 | 170 | 15 | 2.03 |
| 16 | 180 | 15 | 2.01 |
| 17 | 180 | 15 | 1.55 |
| 18 | 180 | 15 | 2.15 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลความเป็นกรด - เบส

| การทดลองครั้งที่ | อุณหภูมิของน้ำเข้า (องศาเซลเซียส) | ปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | ความเป็นกรด-เบส | | | |
|------------------|--------------------------------------|--|-----------------|------|------|-----------|
| | | | 1 | 2 | 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 1 | 160 | 10 | 5.71 | 5.70 | 5.71 | 5.71 |
| 2 | 160 | 10 | 5.79 | 5.80 | 5.80 | 5.80 |
| 3 | 160 | 10 | 5.84 | 5.85 | 5.85 | 5.85 |
| 4 | 170 | 10 | 5.68 | 5.68 | 5.68 | 5.68 |
| 5 | 170 | 10 | 5.71 | 5.70 | 5.71 | 5.71 |
| 6 | 170 | 10 | 5.63 | 5.64 | 5.64 | 5.64 |
| 7 | 180 | 10 | 5.70 | 5.71 | 5.70 | 5.70 |
| 8 | 180 | 10 | 5.68 | 5.69 | 5.68 | 5.68 |
| 9 | 180 | 10 | 5.66 | 5.66 | 5.67 | 5.66 |
| 10 | 160 | 15 | 5.61 | 5.62 | 5.62 | 5.62 |
| 11 | 160 | 15 | 5.77 | 5.78 | 5.77 | 5.77 |
| 12 | 160 | 15 | 5.69 | 5.70 | 5.69 | 5.69 |
| 13 | 170 | 15 | 5.54 | 5.54 | 5.55 | 5.54 |
| 14 | 170 | 15 | 5.58 | 5.59 | 5.59 | 5.59 |
| 15 | 170 | 15 | 5.54 | 5.53 | 5.53 | 5.53 |
| 16 | 180 | 15 | 5.49 | 5.49 | 5.50 | 5.49 |
| 17 | 180 | 15 | 5.57 | 5.56 | 5.57 | 5.57 |
| 18 | 180 | 15 | 5.60 | 5.60 | 5.60 | 5.60 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลค่าสี

| การทดลองครั้งที่ | อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส) | ปริมาณลมออกโตเดกซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | ค่าสีของสารละลายแคนตาลูป | | | ค่าสีของแคนตาลูปผง | | | การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม |
|------------------|--|--|--------------------------|---------|---------|--------------------|-------|-------|---------------------------|
| | | | L_0^* | a_0^* | b_0^* | L^* | a^* | b^* | |
| 1 | 160 | 10 | 1.11 | 4.70 | 2.55 | 1.42 | 4.40 | 2.18 | 0.57 |
| 2 | 160 | 10 | 1.11 | 4.70 | 2.55 | 1.90 | 5.84 | 3.24 | 1.55 |
| 3 | 160 | 10 | 1.11 | 4.70 | 2.55 | 2.75 | 6.72 | 4.44 | 3.22 |
| 4 | 170 | 10 | 1.11 | 4.70 | 2.55 | 1.83 | 3.71 | 2.89 | 1.27 |
| 5 | 170 | 10 | 1.11 | 4.70 | 2.55 | 1.90 | 3.86 | 2.99 | 1.23 |
| 6 | 170 | 10 | 1.11 | 4.70 | 2.55 | 1.49 | 4.95 | 2.32 | 0.51 |
| 7 | 180 | 10 | 1.11 | 4.70 | 2.55 | 1.42 | 4.09 | 2.21 | 0.76 |
| 8 | 180 | 10 | 1.11 | 4.70 | 2.55 | 1.42 | 3.12 | 2.21 | 1.64 |
| 9 | 180 | 10 | 1.11 | 4.70 | 2.55 | 1.42 | 3.10 | 2.22 | 1.66 |
| 10 | 160 | 15 | 1.29 | 7.05 | 1.72 | 1.90 | 3.81 | 3.03 | 3.55 |
| 11 | 160 | 15 | 1.29 | 7.05 | 1.72 | 1.81 | 4.01 | 3.01 | 3.34 |
| 12 | 160 | 15 | 1.29 | 7.05 | 1.72 | 1.81 | 5.52 | 3.09 | 2.12 |
| 13 | 170 | 15 | 1.29 | 7.05 | 1.72 | 0.97 | 2.31 | 1.67 | 4.75 |
| 14 | 170 | 15 | 1.29 | 7.05 | 1.72 | 0.72 | 1.82 | 1.24 | 5.28 |
| 15 | 170 | 15 | 1.29 | 7.05 | 1.72 | 0.48 | 0.86 | 0.59 | 6.34 |
| 16 | 180 | 15 | 1.29 | 7.05 | 1.72 | 0.48 | 0.62 | 0.66 | 6.57 |
| 17 | 180 | 15 | 1.29 | 7.05 | 1.72 | 0.97 | 3.03 | 1.49 | 4.04 |
| 18 | 180 | 15 | 1.29 | 7.05 | 1.72 | 0.97 | 0.85 | 1.38 | 6.22 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

| การทดลองครั้งที่ | อุณหภูมิร้อนเข้า (องศาเซลเซียส) | ปริมาณอลโตเดกซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) | ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารละลาย (กรัม) | ปริมาณของแข็งทั้งหมดในผงแคตตาลูป (กรัม) | ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (ร้อยละ) |
|------------------|------------------------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| 1 | 160 | 10 | 211.2 | 72.96 | 34.55 |
| 2 | 160 | 10 | 211.2 | 58.12 | 27.52 |
| 3 | 160 | 10 | 211.2 | 60.80 | 28.79 |
| 4 | 170 | 10 | 211.2 | 53.24 | 25.21 |
| 5 | 170 | 10 | 211.2 | 54.01 | 25.57 |
| 6 | 170 | 10 | 211.2 | 69.74 | 33.02 |
| 7 | 180 | 10 | 211.2 | 67.80 | 32.10 |
| 8 | 180 | 10 | 211.2 | 56.54 | 26.77 |
| 9 | 180 | 10 | 211.2 | 59.30 | 28.08 |
| 10 | 160 | 15 | 241.5 | 75.48 | 31.25 |
| 11 | 160 | 15 | 241.5 | 93.09 | 38.55 |
| 12 | 160 | 15 | 241.5 | 93.86 | 38.87 |
| 13 | 170 | 15 | 241.5 | 106.00 | 43.89 |
| 14 | 170 | 15 | 241.5 | 124.50 | 51.55 |
| 15 | 170 | 15 | 241.5 | 131.45 | 54.43 |
| 16 | 180 | 15 | 241.5 | 87.30 | 36.15 |
| 17 | 180 | 15 | 241.5 | 67.94 | 28.13 |
| 18 | 180 | 15 | 241.5 | 50.18 | 20.78 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัสดุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง

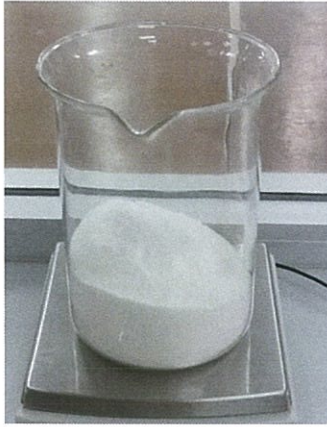


รูปที่ ข.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ ข.2 เครื่องระเหยความดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 มอลโตเดกซ์ตริน (DE-10)



รูปที่ ข.4 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง



รูปที่ ข.5 รีแฟรคโตมิเตอร์



รูปที่ ข.6 ตู้อบลมร้อน



รูปที่ ข.7 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์

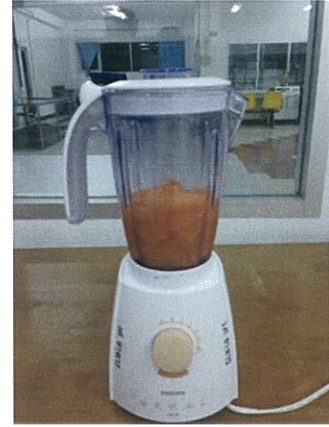


รูปที่ ข.8 เครื่องความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



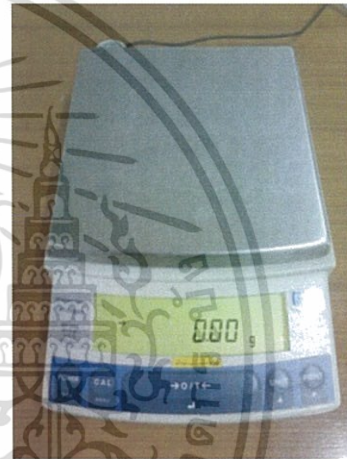
รูปที่ ข.9 เครื่องวัดความเป็นกรด - เบส



รูปที่ ข.10 เครื่องปั่นน้ำผลไม้



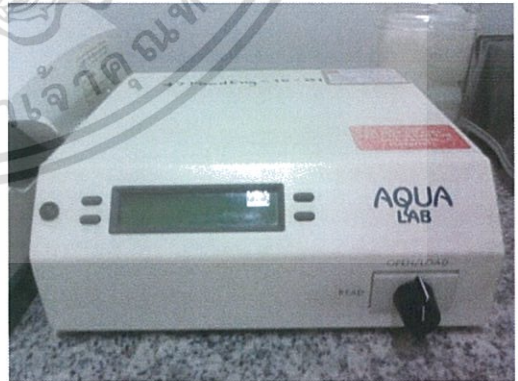
รูปที่ ข.11 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง



รูปที่ ข.12 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง



รูปที่ ข.13 เครื่องกวนสารละลาย



รูปที่ ข.14 เครื่องวัดค่า a_w โดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.15 เครื่องวัดสี



รูปที่ ข.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.17 ตัวอย่างสารละลายวัตถุดิบน้ำตาลกลูโคสก่อนผ่านกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ ข.18 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แคนตาลูปผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. การคำนวณหาอัตราการไหล

การคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ

โดย ความเร็วลมขาออก 7.25 เมตรต่อวินาที
พื้นที่ช่องลมขาออก 70 ตารางเซนติเมตร

จาก $Q(\text{Flow rate}) = VA$

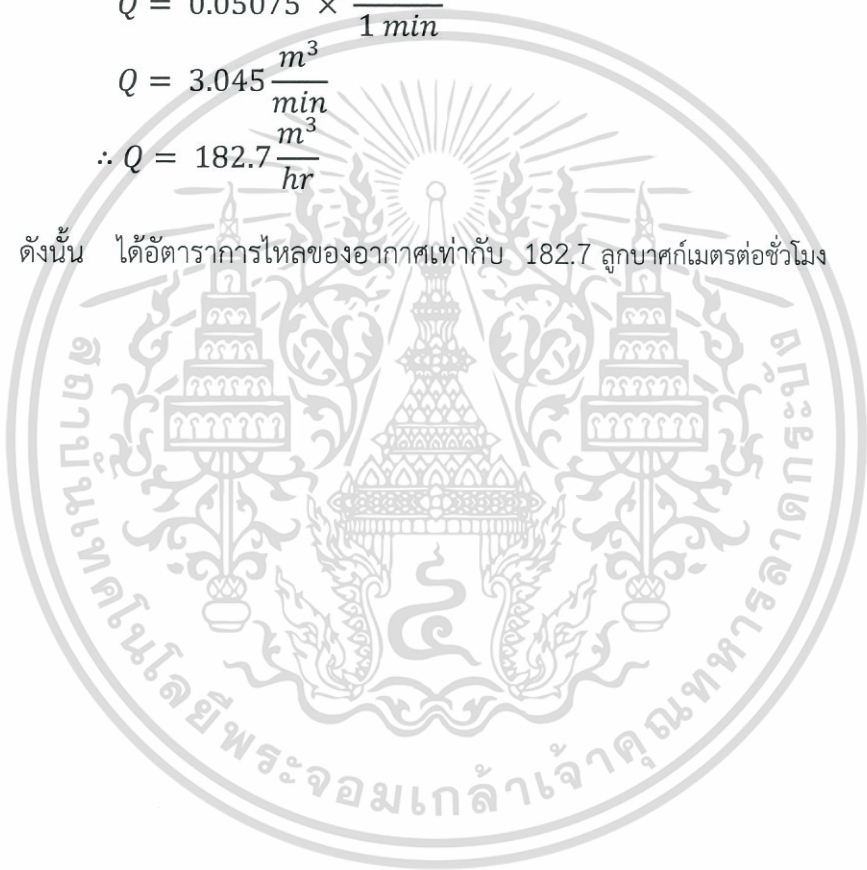
$$Q = 7.25 \frac{m}{s} \times 70 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times \frac{1 m^2}{100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}}$$

$$Q = 0.05075 \times \frac{60 \text{ sec}}{1 \text{ min}}$$

$$Q = 3.045 \frac{m^3}{min}$$

$$\therefore Q = 182.7 \frac{m^3}{hr}$$

ดังนั้น ได้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 182.7 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



ภาคผนวก ง. ตาราง ANOVA

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: moisture

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | 3.851 ^a | 5 | .770 | 2.317 | .108 |
| Intercept | 613.667 | 1 | 613.667 | 1845.955 | .000 |
| md | 2.054 | 1 | 2.054 | 6.178 | .029 |
| temp | .496 | 2 | .248 | .746 | .495 |
| md * temp | 1.301 | 2 | .650 | 1.956 | .184 |
| Error | 3.989 | 12 | .332 | | |
| Total | 621.507 | 18 | | | |
| Corrected Total | 7.840 | 17 | | | |

a. R Squared = .491 (Adjusted R Squared = .279)

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: aw

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|----------|------|
| Corrected Model | .002 ^a | 5 | .000 | .408 | .834 |
| Intercept | 1.025 | 1 | 1.025 | 1008.669 | .000 |
| temp | .000 | 2 | 9.267E-005 | .091 | .913 |
| md | .001 | 1 | .001 | .761 | .400 |
| temp * md | .001 | 2 | .001 | .549 | .592 |
| Error | .012 | 12 | .001 | | |
| Total | 1.040 | 18 | | | |
| Corrected Total | .014 | 17 | | | |

a. R Squared = .145 (Adjusted R Squared = -.211)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการละลาย

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: time

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | .284 ^a | 5 | .057 | .690 | .640 |
| Intercept | 64.563 | 1 | 64.563 | 784.003 | .000 |
| temp | .131 | 2 | .066 | .795 | .474 |
| md | .002 | 1 | .002 | .024 | .879 |
| temp * md | .151 | 2 | .076 | .918 | .426 |
| Error | .988 | 12 | .082 | | |
| Total | 65.835 | 18 | | | |
| Corrected Total | 1.272 | 17 | | | |

a. R Squared = .223 (Adjusted R Squared = -.100)

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบส

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ph

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|------------|------|
| Corrected Model | .122 ^a | 5 | .024 | 8.810 | .001 |
| Intercept | 576.075 | 1 | 576.075 | 208638.811 | .000 |
| temp | .062 | 2 | .031 | 11.169 | .002 |
| md | .059 | 1 | .059 | 21.346 | .001 |
| temp * md | .001 | 2 | .001 | .183 | .835 |
| Error | .033 | 12 | .003 | | |
| Total | 576.230 | 18 | | | |
| Corrected Total | .155 | 17 | | | |

a. R Squared = .786 (Adjusted R Squared = .697)

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสว่าง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: L

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 4.512 ^a | 5 | .902 | 8.402 | .001 |
| Intercept | 36.580 | 1 | 36.580 | 340.541 | .000 |
| temp | 2.347 | 2 | 1.174 | 10.926 | .002 |
| md | 1.644 | 1 | 1.644 | 15.306 | .002 |
| temp * md | .521 | 2 | .261 | 2.425 | .130 |
| Error | 1.289 | 12 | .107 | | |
| Total | 42.381 | 18 | | | |
| Corrected Total | 5.801 | 17 | | | |

a. R Squared = .778 (Adjusted R Squared = .685)

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าที่แสดงความเป็นสีแดง หรือเขียว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: a

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 40.083 ^a | 5 | 8.017 | 9.013 | .001 |
| Intercept | 217.848 | 1 | 217.848 | 244.912 | .000 |
| temp | 22.823 | 2 | 11.412 | 12.829 | .001 |
| md | 15.980 | 1 | 15.980 | 17.965 | .001 |
| temp * md | 1.280 | 2 | .640 | .720 | .507 |
| Error | 10.674 | 12 | .889 | | |
| Total | 268.605 | 18 | | | |
| Corrected Total | 50.757 | 17 | | | |

a. R Squared = .790 (Adjusted R Squared = .702)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าที่แสดงความเป็นสถิติหรือเงิน

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: b

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 12.787 ^a | 5 | 2.557 | 8.034 | .002 |
| Intercept | 92.752 | 1 | 92.752 | 291.399 | .000 |
| temp | 7.404 | 2 | 3.702 | 11.631 | .002 |
| md | 4.052 | 1 | 4.052 | 12.729 | .004 |
| temp * md | 1.331 | 2 | .665 | 2.090 | .166 |
| Error | 3.820 | 12 | .318 | | |
| Total | 109.359 | 18 | | | |
| Corrected Total | 16.606 | 17 | | | |

a. R Squared = .770 (Adjusted R Squared = .674)

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวม

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: deltaE

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 63.080 ^a | 5 | 12.616 | 14.087 | .000 |
| Intercept | 165.741 | 1 | 165.741 | 185.071 | .000 |
| temp | 3.908 | 2 | 1.954 | 2.182 | .155 |
| md | 49.336 | 1 | 49.336 | 55.089 | .000 |
| temp * md | 9.836 | 2 | 4.918 | 5.492 | .020 |
| Error | 10.747 | 12 | .896 | | |
| Total | 239.568 | 18 | | | |
| Corrected Total | 73.827 | 17 | | | |

a. R Squared = .854 (Adjusted R Squared = .794)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: yield

| Source | Type III Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-----------------|-------------------------|----|-------------|---------|------|
| Corrected Model | 1099.049 ^a | 5 | 219.810 | 8.879 | .001 |
| Intercept | 20348.841 | 1 | 20348.841 | 821.970 | .000 |
| temp | 318.047 | 2 | 159.023 | 6.424 | .013 |
| md | 373.464 | 1 | 373.464 | 15.086 | .002 |
| temp * md | 407.538 | 2 | 203.769 | 8.231 | .006 |
| Error | 297.074 | 12 | 24.756 | | |
| Total | 21744.965 | 18 | | | |
| Corrected Total | 1396.124 | 17 | | | |

a. R Squared = .787 (Adjusted R Squared = .699)

