

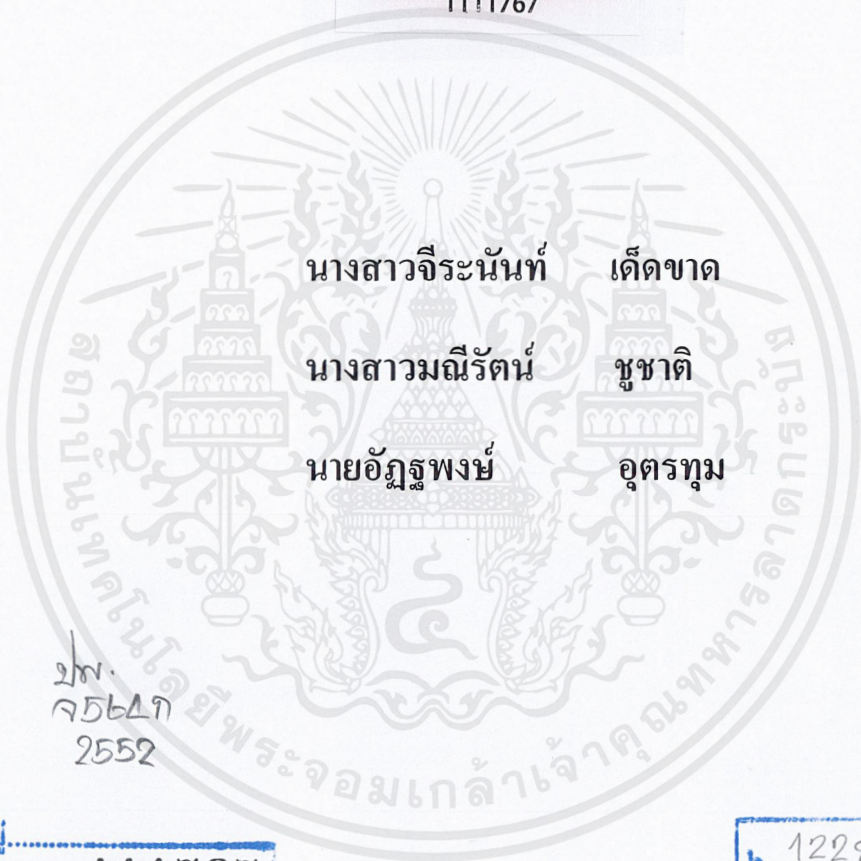
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาสถานะที่เหมาะสมของปัจจัยในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟ

Optimization of Process Parameters for Spray Drying of Coffee



T111767



นางสาวจีระนันท์ เต็ดขาด

นางสาวมณีรัตน์ ชูชาติ

นายอัฐพงษ์ อุตระทุม

รฟ.
จ564ก
2552

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...111767
วัน,เดือน,ปี 23 S.A. 2553

b...1228267A
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimization of Process Parameters for Spray Drying of Coffee

MISS. JEERANAN DEDKAD

MISS. MANEERAT CHUCHAT

MR. ATTHAPONG AUTTARATUM

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUTT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟ

Optimization of Process Parameters for Spray Drying of Coffee

ผู้จัดทำ

1. นางสาวจิระนันท์ เต็ดขาค รหัสนักศึกษา 49010137
2. นางสาวมณิรัตน์ ชูชาติ รหัสนักศึกษา 49010744
3. นายอัฐพงษ์ อุดรทุม รหัสนักศึกษา 49011744 174

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟ
โดย	นางสาวจิระนันท์ เตีคชาค นางสาวมณีรัตน์ ชูชาติ นายอัฐพงษ์ อุตอรทุม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ คือ เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำแห้งกาแฟแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อกาแฟผง การทำการศึกษจะใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินคือ 10%, 20% และ 30% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าคือ 200 °C, 220 °C และ 240 °C และอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์คือ 30 °C 40 °C และ 50 °C ผลิตภัณฑ์กาแฟที่ได้นำไปทำการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังนี้ คือ ความชื้น คุณสมบัติของการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility) ความสามารถในการไหล (Flowability) ความสามารถในการจม (Sinkability) ความสามารถในการละลาย (Solubility) ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และปริมาณผลผลิตที่ได้ (% Yield) และการจากวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆพบว่า ที่ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 10% อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น 30 °C อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 200 °C และ ที่ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 30% ที่อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น 30 °C อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 °C เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟ เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติการละลายที่ค่าสูง

คำสำคัญ: กาแฟ การทำแห้งแบบพ่นฝอย สภาวะที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Optimization of Process Parameters for Spray Drying of Coffee

By Miss. Jeeranan Dedkad
 Miss. Maneerat Chuchat
 Mr. Atthapong Auttaratum

Advisor Asst.Prof. Dr. Maradee Phongpipatpong

Report for Bachelor's Degree in Food Engineering
 Department of Food Engineering
 Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang



Abstract

This project is aimed at investigating the influences of processing parameters during spray drying of coffee solution. The parameters include the concentration of maltodextrin to coffee solution (10%, 20% and 30%), the inlet hot air temperature (200°C, 220°C and 240°C) and the coffee temperature (30°C, 40°C and 50°C). The coffee powder is collected and analyzed for moisture content, bulk density, recovery yield, hygroscopicity, dispersibility, solubility, sinkability and flowability. The study indicate the optimum condition for spray drying of coffee solution can be obtained when using 10% of maltodextrin ratio, 30°C of initial coffee temperature and 200°C of drying air temperature, and at the condition of 30% of maltodextrin, 30°C of initial coffee temperature and 220°C of hot air temperature, which yield highest value of recovery yield and instant powder characteristics

Keywords: Coffee, Spray Drying, Optimization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยความกรุณาและความอนุเคราะห์จากคณาจารย์ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ คำชี้แนะและแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานที่ดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้คำแนะนำในการทำโครงการและการดำเนินชีวิต ตลอดจนความเป็นห่วงเป็นใยที่อาจารย์มอบให้ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่คอยสอบถามความคืบหน้าของโครงการและให้คำแนะนำต่างๆเวลามีปัญหา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของคณะวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยเอื้อเพื่อให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆต่อคณะผู้ทำโครงการเป็นอย่างดี ตลอดจนเป็นธุระให้ในการดำเนินการเกี่ยวกับเอกสารต่างๆ

ขอขอบคุณบริษัทกรีนวันฟู้ด อินดัสเทรียล จำกัด ที่ให้การสนับสนุนเรื่องน้ำกาแฟสกัดที่ใช้ในการทำโครงการและให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านอุปกรณ์และข้อมูลในการทำโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาทุกคน สำหรับความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำต่างๆทั้งในด้านอุปกรณ์และข้อมูลในการทำโครงการ ตลอดจนช่วยตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาดจนทำให้ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งให้กำเนิดและคอยสนับสนุนการศึกษาของคณะผู้ทำโครงการตลอดมาเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้ทำโครงการขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวจิระนันท์ เต็ดชาด

นางสาวมณีรัตน์ ชูชาติ

นายอัฐพงษ์ อุดรทุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
ปกใน(ภาษาไทย)	I
ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอำนวยการ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	XII
สารบัญรูปภาพ	XIII
สัญลักษณ์และคำย่อ	XV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการ เหตุผล ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ประวัติกาแฟ	3
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	3
2.2.1 ลำต้นกาแฟ	3
2.2.2 ดอกกาแฟ	4
2.2.3 ผลกาแฟ	4
2.2.4 เมล็ดกาแฟ	4
2.3 สายพันธุ์กาแฟ	4
2.3.1 กาแฟพันธุ์อาราบิก้า	5
2.3.2 กาแฟพันธุ์โรบัสต้า	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4	กระบวนการแปรรูปกาแฟในอุตสาหกรรม	6
2.4.1	กระบวนการแปรรูปแบบแห้ง หรือแบบธรรมชาติ	6
2.4.2	กระบวนการแปรรูปแบบเปียก	7
2.5	หลักในการทำลายเมล็ดกาแฟ	9
2.5.1.	โดยการหมัก	9
2.5.2.	โดยการใช้สารเคมี	9
2.5.3.	โดยการใช้ออนไซม์	9
2.5.4.	โดยใช้ความร้อน	9
2.5.5.	โดยใช้วิธีขัดสี	9
2.6	การตากแห้งเมล็ดกาแฟ	10
2.7	การกะเทาะเปลือกเมล็ดกาแฟ	10
2.8	การคัดขนาดเมล็ดกาแฟ	11
2.8.1	ใช้ตะแกรงร่อน	11
2.8.2	ใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์หรือเครื่องที่ใช้แรงเหวี่ยง	11
2.9	สารประกอบในเมล็ดกาแฟ	13
2.9.1.	สารประกอบไนโตรเจน	13
2.9.2.	คาร์โบไฮเดรต	13
2.9.3.	ไขมัน	14
2.9.4.	กรดอินทรีย์	14
2.10	กระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟ	17
2.10.1	ปฏิกิริยาไพโรไลซิส	17
2.10.2	การเปลี่ยนแปลงของเมล็ดกาแฟในระหว่างการคั่ว	18
2.10.3	การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ	19
2.10.4	การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี	19
2.11	การสกัดกาแฟ	22
2.11.1	การสกัดแบบกะเพียงชั้นเดียว	22
2.11.2	การสกัดแบบอนุกรม	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.12 การทำแห้งน้ำกาแฟสกัด	24
2.12.1 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	24
2.12.2 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	25
2.12.3 การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง	25
2.13 การทำผงกาแฟให้รวมเป็นกลุ่มก้อน	26
2.14 การบรรจุกาแฟสำเร็จรูป	26
2.15 สารช่วยทำแห้ง	26
2.15.1 มอลโตเด็คซ์ตริน	27
2.15.2 โครงสร้างมอลโตเด็คซ์ตริน	28
2.16 ปฏิกริยาเมลลาร์ด	31
2.17 Glass Transition	36
2.17.1 คุณสมบัติของ Glass Transition	36
2.17.2 ทฤษฎีของ Glass Transition	40
บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง	
3.1 วัสดุที่ใช้ศึกษา	44
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	44
3.3 การเตรียมวัสดุ	44
3.4 การเตรียมอุปกรณ์	45
3.4.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ	45
3.4.2 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	45
3.5 วิธีการทดลอง	46
3.6 การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์	47
3.6.1 ความชื้น	47
3.6.2 ความหนาแน่นโดยรวม	48
3.6.3 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้	49
3.6.4 คุณสมบัติในการดูดกลับความชื้น	49
3.6.5 ความสามารถในการกระจาย	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
3.6.6 ความสามารถในการละลาย	50
3.6.7 ความสามารถในการจม	51
3.6.8 ความสามารถในการไหล	51
3.6.9 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส	52
3.7 การวางแผนการทดลองเบื้องต้น	52
3.8 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	53
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น	55
4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	56
4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาแฟผง	56
4.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาแฟที่สภาวะต่าง ๆ	57
- ความชื้น (% Moisture content)	58
- ความหนาแน่น (Bulk density)	60
- ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)	62
- คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)	64
- ความสามารถในการกระจาย (Dispersibility)	66
- ความสามารถในการละลาย (Solubility)	68
- ความสามารถในการจม (Sinkability)	70
- ความสามารถในการไหล (Flowability)	72
- การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส (Sensory Test)	74
4.5 การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบพ่นฝอย	75
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	77
5.2 ปัญหาที่พบ	78
5.3 ข้อเสนอแนะ	78

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. คุณสมบัติของน้ำกาแฟ

ภาคผนวก ข. กาแฟผง

ภาคผนวก ค. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ภาคผนวก ง. ANOVA Table

ภาคผนวก จ. รูปภาพเกี่ยวกับโครงการ

ภาคผนวก ง. มาตรฐานกาแฟผง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อดี และข้อเสียของการผลิตเมล็ดกาแฟด้วยกระบวนการแบบเปียก และแบบแห้ง	8
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง)	15
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง)	16
ตารางที่ 2.4 ระดับการคั่วเมล็ดกาแฟ	18
ตารางที่ 2.5 ชนิดและตัวอย่างของสารช่วยทำแห้ง	27
ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติพิเศษของมอเตอร์โตเดกซ์ตริน	30
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรที่จะศึกษา	53
ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box – Behnken designs)	54
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์หัตถุดิบเบื้องต้นของน้ำกาแฟที่สถานะต่าง ๆ	55
ตารางที่ 4.2 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง	56
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาแฟผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ สภาวะต่าง ๆ	57
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชำนาญ	74
ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส	75

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ	6
รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟดิบโดยกระบวนการแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้ง	12
รูปที่ 2.3 เมล็ดกาแฟดิบและเมล็ดกาแฟคั่ว	14
รูปที่ 2.4 (a) เครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดแบบกะ (b) เครื่องชะละลายน้ำตาลจากหัวบีท	23
รูปที่ 2.5 การต่อเบตเตอร์ระบบเชิงค้ำจำนวนสี่แท่ง	23
รูปที่ 2.6 ระบบเชิงค้ำ	24
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	25
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ตริน	28
รูปที่ 2.9 แสดงค่า Dextrose Equivalence (DE)	29
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะทางกายภาพของมอลโตเด็กซ์ตริน	30
รูปที่ 2.11 แสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยามอลลาร์ด	32
รูปที่ 2.12 อัตราการเกิดปฏิกิริยามอลลาร์ด	34
รูปที่ 2.13 นำเสนอ Schematic ของผลกระทบ glass transition	38
รูปที่ 2.14 ผลกระทบของ thermal history	39
รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนืด	43
รูปที่ 3.1 เครื่องวัด pH	45
รูปที่ 3.2 refractometer	45
รูปที่ 3.3 Water bath	45
รูปที่ 3.4 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	46
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทำแห้ง	47
รูปที่ 3.6 Vacuum oven	48
รูปที่ 3.7 Magnetic stirrer	51
รูปที่ 3.8 Box-Behnken Design สำหรับ 3 Factors	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่า %Moisture Content ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ	59
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่า Bulk density ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ	61
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่า % Yield ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ	63
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่า Hygroscopicity ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ	65
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่า Dispersibility ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ	67
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่า Solubility ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ	69
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่า Sinkability ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ	71
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่า Flowability ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ	73
รูปที่ 4.9 แสดงวิธีการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบฟุ้งของกาแฟ	76

สัญลักษณ์และคำย่อ

DE	= Dextrose Equivalent
den	= ความหนาแน่น (Bulk density , g/ml)
dp	= ความสามารถในการกระจาย (Dispersibility, ของที่ละลายได้/ของแข็งทั้งหมด)
fl	= ความสามารถในการไหล (Flowability, Angle)
hg	= การดูดซับความชื้น (Hygroscopicity, %)
M	= มอลโตเด็คซ์ทริน
mc	= ความชื้น (Moisture Content, %)
S _j	= ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ค้างบน sieve (%)
sk	= ความสามารถในการจม (Sinkability, s)
so	= ความสามารถในการละลาย (Solubility, s)
S _p	= ของแข็งทั้งหมดในผงตัวอย่าง (%)
SS _{CF}	= ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุบดที่ป้อน (g)
T _a	= อุณหภูมิลมร้อน (°C)
T _c	= อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ (°C)
T _g	= Gas transition temperature
W _{CP}	= อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้ง
w _i	= ปริมาณน้ำอิสระก่อนวัด (%wb)
yield	= ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Yield, %)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันการบริโภคกาแฟสำเร็จรูปมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทำให้กระบวนการผลิตกาแฟมีความสำคัญ โดยเริ่มตั้งแต่การคัดเลือก การเก็บเกี่ยวเมล็ดกาแฟ การคั่ว การบด การสกัด และการทำแห้ง ซึ่งแต่ละกระบวนการมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูป เนื่องจากกาแฟมีส่วนช่วยให้ผู้บริโภคมีความตื่นตัวเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งยังมีสาร Polyphenols ซึ่งมีสารต่อต้านการเกิดโรคพิษซึ่งเป็นสาเหตุที่พบมากในปัจจุบัน (Ferrazzano et al., 2009)

ในการศึกษาการวิจัยนี้ได้เน้นถึงกระบวนการทำแห้งกาแฟซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการผลิตกาแฟสำเร็จรูป โดยการทำแห้งน้ำกาแฟสกัดมีอยู่ 2 แบบที่เป็นที่นิยม ได้แก่ การทำแห้งด้วยวิธีแบบพ่นฝอย (spray drying) และการทำแห้งด้วยการระเหิด (freeze drying) แต่เนื่องจากการทำแห้งแบบระเหิดนั้นมีต้นทุนการผลิตที่สูงและยังไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทย จึงได้ทำการศึกษาวิจัย การทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย (Clarke and Vitzthum, 2001)

Spray dryer มีหลักการการทำแห้งคือทำให้น้ำเกิดการระเหยออกจากอนุภาคของสารละลายที่ต้องการอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้นๆ เนื่องจากอนุภาคของสารจะถูกฉีดพ่นให้กระจายเป็นละอองขนาดเล็ก ทำให้น้ำที่อยู่ในสารละลายระเหยเป็นไอออกมาทางช่องลมผลิตภัณฑ์แห้งจะถูกดูดไปตามท่อและแยกออกตามลมร้อน โดยระบบไซโคลน (cyclone) ตกลงในขวดหรือภาชนะ การอบแห้งวิธีนี้จะทำให้ได้ขนาดของผลิตภัณฑ์แห้งค่อนข้างสม่ำเสมอและอาหารสัมผัสกับความร้อนไม่นานทำให้สูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อยและสามารถผลิตต่อเนื่องได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งในการทำแห้งมีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น อัตราการป้อนของสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น อุณหภูมิที่ใช้ทำแห้ง รวมถึงการศึกษาการเติมสารที่ให้น้ำเชื่อมผสมในน้ำกาแฟสกัด ได้แก่ maltodextrin ซึ่งเป็นที่ผลิตได้จากการสลายแป้ง (starch) ด้วยเอนไซม์ (Enzymatic Hydrolysis of starch) โดยมีค่า Dextrose Equivalent (DE) น้อยกว่า 20 มีคุณสมบัติค่อนข้างที่จะไม่ดูดความชื้น โดยอยู่ในรูปของผงแห้งมากกว่าในรูปของสารละลาย ซึ่งมีความชื้นน้อยกว่า 5 % maltodextrin ทำหน้าที่ช่วยให้น้ำกาแฟสกัดที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น maltodextrin ที่มีค่า DE แตกต่างกันจะมีความคล้ายคลึงกันในเรื่องของสารประกอบโพลีเมอร์ แต่จะแตกต่างกันที่น้ำหนักโมเลกุล ทั้งนี้การเติมสาร maltodextrin ยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับค่า Glass Transition Temperature (Tg) ด้วย ยิ่งถ้าค่า Tg สูงก็จะส่งผลให้น้ำกาแฟสกัดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยไม่เหนียวง่าย เหมาะในการเก็บรักษา ปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อคุณสมบัติของกาเฟง (Sinkability, Soluble Solids, Dispersibility, Wet ability) ที่ดี

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาผลกระทบของ อุณหภูมิร้อน, ปริมาณ Maltodtrins ที่เติมลงในน้ำกาเฟสกัด และอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาเฟสกัดต่อการทำแห้งในการผลิตกาเฟงสำเร็จรูปด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

1.2.2 ศึกษาและพัฒนากาเฟงสำเร็จรูปให้มีคุณสมบัติที่ดีด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาผลกระทบและพัฒนการผลิตกาเฟงสำเร็จรูปโดยเน้นในขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ซึ่งจะทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ได้แก่

- อุณหภูมิร้อน โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 200, 220, 240 องศาเซลเซียส
- ปริมาณ Maltodextrins DE 10 ที่เติม โดยศึกษาที่ 10, 20, 30 % w/w ของน้ำกาเฟสกัด
- อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาเฟสกัด โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 องศาเซลเซียส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบผลกระทบของอุณหภูมิร้อน, ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ที่เติมลงในน้ำกาเฟสกัด และอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาเฟสกัด

1.4.2 เป็นการพัฒนาเทคนิคในการทำแห้งกาเฟสกัดด้วยวิธีการแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

1.4.3 ได้ผลิตภัณฑ์กาเฟงสำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติที่ดี เป็นที่ต้องการทางอุตสาหกรรมผลิตกาเฟงสำเร็จรูป

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ประวัติกาแฟ

กาแฟเป็นพืชพื้นเมืองของอาบิซีเนีย และอาราเบีย ซึ่งได้ค้นพบเมื่อศตวรรษที่ 5 ที่ประเทศอาราเบีย สมัยนั้นไม่มีใครให้ความสนใจเท่าใดนักจนกระทั่งล่วงเลยมาถึงศตวรรษที่ 9 มีคนเลี้ยงแพะชาวอาราเบียคนหนึ่งชื่อ คาลดี (Kaldi) นำแพะออกไปเลี้ยงตามปกติ แพะได้กินผล และใบกาแฟแล้วเกิดความกึกคะนองผิดปกติ จึงได้นำเรื่องไปเล่าให้พระมุสลิมองค์หนึ่งฟัง พระมุสลิมองค์นั้นจึงได้เก็บผลกาแฟมากระเทาะเปลือกเอาเมล็ดกาแฟไปคั่วแล้วต้มในน้ำร้อนดื่ม เห็นว่ามีความกระปรี้กระเปร่าดี จึงได้เล่าให้ผู้อื่นฟังต่อไป ชาวอาราเบียจึงได้เริ่มรู้จักดื่มกาแฟมากขึ้น จึงทำให้กาแฟแพร่หลายเพิ่มขึ้นจากประเทศอาราเบีย เข้าสู่ชนชาวอิตาลีใน คัทซ์ เยอรมัน ฝรั่งเศสและกระบวนการผลิตกาแฟก็ได้พัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ ในระยะต่อมาตามบันทึกของพระสารสาส์นพลขันธ์ (นายเจริญ ชาวอิตาลี) เมื่อปี พ.ศ. 2454 กล่าวว่าประเทศไทยปลูกกาแฟพันธุ์อาราเบียก้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2393 ส่วนพันธุ์โรบัสต่านั้น มีชาวไทยอิสลามผู้หนึ่งชื่อ นายตีหมุน เป็นผู้นำมาปลูกคนแรกที่อำเภอสบ้าย้อย จังหวัดสงขลา เมื่อปี พ.ศ. 2447 แล้วแพร่หลายไปตามจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทยในปัจจุบันประเทศที่มีชื่อเสียงทางการผลิตกาแฟมากที่สุดคือ ประเทศบราซิล ผลิตกาแฟได้ร้อยละ 72 ของผลผลิตกาแฟทั่วโลก ซึ่งถือว่าผลิตได้มากที่สุด ส่วนประเทศที่ซื้อกาแฟมากที่สุดคือสหรัฐอเมริกา และยุโรป ประมาณร้อยละ 85 ของผลผลิตที่ได้ทั่วโลก (สมศักดิ์, 2545)

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

กาแฟ (coffee) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea sp.* จัดเป็นไม้พุ่มขนาดกลาง สูงประมาณ 3-5 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกาแฟ โดยทั่วไปกาแฟมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ดังต่อไปนี้

2.2.1 ลำต้นกาแฟ

โดยธรรมชาติแล้วกาแฟมีลักษณะลำต้นตรง ในระยะแรกของการเจริญจะไม่แตกกิ่ง แต่ มีใบแตกออกเป็นข้อตรงข้ามกันเป็นคู่ ๆ เมื่อโตมากขึ้นจะมีการแตกกิ่งออกจากลำต้นในลักษณะที่แยกออกจากกัน และอยู่ตรงข้ามกัน กิ่งที่แตกออกมาใหม่จะมีใบแตกออกเป็นคู่ ๆ อยู่ตรง

ข้อเช่นเดียวกับลำต้น กิ่งจะขนานไปกับพื้นดินหรือห้อยต่ำลงดิน ซึ่งเป็นที่เกิดของดอกและต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลังวันวิสาขบูชาเพื่อการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากกิ่งแล้วยังมีการแตกหน่อออกจากตาของลำต้นอีกเป็นจำนวนมาก ทำให้หน่อที่เกิดขึ้นใหม่ไปเบียดกับลำต้นเดิม ถ้าหากปล่อยให้เจริญต่อไปเรื่อย ๆ โดยไม่มีการแต่งกิ่งจะทำให้กาแฟมีทรงพุ่มที่แน่นทึบเป็นที่สะสมของโรค ผลผลิตต่ำลง และต้นกาแฟจะตายในที่สุด

2.2.2 ดอกกาแฟ

ดอกกาแฟมีสีขาวบริสุทธิ์ กลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิ รูปลักษณ์คล้ายดาวมีก้านสั้น อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม จะเกิดตามข้อต้นกาแฟบ้างเป็นส่วนน้อย แต่ส่วนใหญ่ดอกกาแฟจะออกจากข้อของกาแฟโดยเริ่มจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นออกไปหาปลายกิ่ง กาแฟมีลักษณะพิเศษคือ ข้อของกิ่งจะสั้นสามารถที่จะเกิดดอก และติดได้มาก ดอกกาแฟเป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีทั้งเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน เกสรตัวเมียจะอยู่สองส่วน ส่วนเกสรตัวผู้จะมีเท่ากับกลีบดอกคือ ประมาณ 2-4 อัน กาแฟบางพันธุ์อาจมีการผสมข้ามพันธุ์กันได้หากปลูกอยู่ใกล้กัน เวลาออกดอกของกาแฟขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ถ้าในท้องถิ่นที่มีฝนตกเป็นฤดู ดอกจะออกหลังจากฝนตกประมาณ 1 เดือน แต่ถ้าหากอากาศชุ่มชื้นอยู่ตลอดทั้งปี หรือมีการชลประทานเพียงพอ กาแฟจะออกดอกตลอดทั้งปี

2.2.3 ผลกาแฟ

แม้ว่ากาแฟจะออกดอกจำนวนมากก็ตาม แต่การติดผลจะมีเพียงร้อยละ 16-26 เมื่อกลีบดอกร่วงแล้ว กาแฟจะติดเป็นผล มีลักษณะคล้ายลูกหว่า ซึ่งภายในจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งมีเมล็ดกาแฟ 1 เมล็ด ซึ่งมีลักษณะแบนยาวไปตามรูปของเปลือกหุ้ม ถ้าหากเมล็ดหนึ่งเมล็ดโคลิบไปเนื่องจากการผสมพันธุ์ไม่ดี เมล็ดที่เหลืออยู่จะมีรูปกลม ส่วนยาวจะมีรูปโค้งเป็นรูปกระบอกตัด เมื่อเมล็ดสุกจะมีสีน้ำตาลปนแดง

2.2.4 เมล็ดกาแฟ

มีสีเขียวอมเทา ความยาวประมาณ $\frac{1}{2}$ นิ้ว เป็นส่วนที่อยู่ในกะลาซึ่งห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ (silver skin) และมีเปลือกแข็ง (parchment) หุ้มอีกชั้นหนึ่ง ส่วนเนื้อกาแฟที่ห่อหุ้มกะลา เมื่อสุกเต็มที่จะมีรสหวานเล็กน้อย ลักษณะเป็นยางเหนียว ๆ (สมศักดิ์, 2545)

2.3 สายพันธุ์กาแฟ (coffee species)

ปัจจุบันทั่วโลกมีกาแฟอยู่มากกว่า 6,000 พันธุ์ แต่มีเพียง 2 พันธุ์เท่านั้นที่ได้รับความนิยมปลูกเป็นการค้าคือ พันธุ์อาราบิก้ากับพันธุ์โรบัสต้า

2.3.1 กาแฟพันธุ์อาราบิก้า (*Coffea arabica*) เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่สุดในโลกมีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมบริเวณประเทศเอธิโอเปีย เนื่องจากกาแฟพันธุ์นี้จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิประมาณ 15-24 องศาเซลเซียส เป็นพืชกิ่งเมืองหนาว กาแฟพันธุ์นี้จะมีคุณภาพดีที่สุด มีรสชาติหอมหวานชวนดื่ม และมีความเป็นกรดเล็กน้อย ปลูกกันมากบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,500-2,000 เมตร (Varnam และ Sutherland, 1994) ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวใช้เวลาประมาณ 6-8 เดือน โดยกาแฟพันธุ์อาราบิก้าจะมีปริมาณคาเฟอีนประมาณร้อยละ 0.5-1.4 (สมเจตต์, 2546)

2.3.2 กาแฟพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea canephora* var. *robusta*) เป็นพันธุ์ที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีมากเป็นกาแฟสายพันธุ์ดั้งเดิมแถบศูนย์สูตร มีรสชาติขมเข้ม มีความทนทานต่อโรคมากกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้า สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพอากาศอบอุ่นกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้าคือ ประมาณ 20-32 องศาเซลเซียส สามารถปลูกได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับความสูง 1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 9-11 เดือน กาแฟพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ที่ต้องการความชุ่มชื้นและมีฝนตกสม่ำเสมอสามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในที่ร่ม และกลางแจ้ง แต่จะชอบร่มเงามากกว่า สามารถทนทานต่อความชื้นในดินสูงหรือดินที่ระบายน้ำได้ไม่ดี กาแฟพันธุ์โรบัสต้าให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์อาราบิก้าเล็กน้อยแม้ว่าผลจะมีขนาดเล็กกว่ากาแฟพันธุ์อาราบิก้าก็ตาม แต่จะมีข้อเสีย คือ หลังจากให้ผลผลิตสูงในปีหนึ่งๆ แล้วกิ่งแขนงมักจะมีการแห้งตายเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลผลิตในปีต่อไปลดต่ำลง โดยกาแฟพันธุ์โรบัสต้าจะมีปริมาณคาเฟอีนประมาณร้อยละ 1.7-4.0 (สมเจตต์, 2546)



รูปที่ 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ

2.4 กระบวนการแปรรูปกาแฟในอุตสาหกรรม

กรรมวิธีการผลิตที่ดีจะส่งผลถึงคุณภาพของเมล็ดกาแฟที่ผลิตได้ การผลิตเมล็ดกาแฟสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้ง

2.4.1 กระบวนการแปรรูปแบบแห้ง หรือแบบธรรมชาติ (dry process หรือ natural process) เป็นกระบวนการแปรรูปที่มีมานาน ง่าย และนิยมใช้กับกาแฟโรบัสต้าแต่ในประเทศบราซิลจะใช้กับกาแฟอาราบิก้าด้วยเนื่องจากผลผลิตกาแฟในประเทศบราซิลมีปริมาณมาก จึงใช้ผลกาแฟสุก ผลกาแฟดิบ ผลที่สุกจนแห้งคาต้นมาผ่านกระบวนการแปรรูปแบบแห้ง ส่งผลให้กาแฟที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ราคาที่ขายในท้องตลาดจึงมีราคาต่ำ (Varnam และ Sutherland, 1994) นอกจากนี้ ความชื้นของเมล็ดกาแฟยังแตกต่างกันมากจากร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 65 เมื่อความชื้นต่างกันคุณภาพของกาแฟจะแตกต่างกัน ผลกาแฟสุกเต็มที่จากร่วงลงดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และเมื่อฝนตกทำให้ผลกาแฟเปียกอาจมีการเจริญของเชื้อราได้ (Clarke, 1986) ผลกาแฟสุกจะมีเมือก (mucilage) และจะค่อย ๆ สลายจากนั้นจะถูกดูดซึมเข้าสู่ภายในเมล็ด ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ดีขึ้น แต่ยากที่จะควบคุมจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ ความผันแปรของดินฟ้าอากาศทำให้กาแฟเสื่อมเสียคุณภาพ ถ้าหากมีการควบคุมความชื้นให้ได้เช่นเดียวกระบวนการแปรรูปแบบเปียกจะได้เมล็ดกาแฟที่มี

คุณภาพดีขึ้น (Varnam และ Sutherland, 1994) หลังจากเก็บผลกาแฟที่สุกเต็มที่แห้งคาต้นแต่เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นก็ยังสูงอยู่ จำเป็นต้องนำมาผึ่งแดดให้แห้ง (sun drying) ซึ่งจะใช้เวลาจนถึง 3 เท่าของแบบเปียกเนื่องจากความชื้นระเหยออกลำบาก ทำให้มีโอกาสติดเชื้อเนื่องจากจุลินทรีย์มีมากขึ้น การตากแห้งเป็นการลดความชื้นของเมล็ดกาแฟให้เหลือประมาณร้อยละ 12+1 ถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 15 เชื้อรา แบคทีเรีย สามารถเจริญ และทำลายคุณภาพเมล็ดกาแฟได้ ถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 20 จะเกิดการงอกของเมล็ดกาแฟก็จะมีการใช้สารอาหารในเมล็ด ถ้าหากความชื้นประมาณร้อยละ 8 เมล็ดกาแฟจะหดตัวลงมากคุณภาพก็จะด้อยลง ดังนั้นต้องพยายามควบคุมความชื้นให้ได้ประมาณร้อยละ 12

การตากแห้งมี 2 ระบบคือ การใช้แสงอาทิตย์ แต่ต้องใช้พื้นที่มากการควบคุมไม่ให้อากาศเปลี่ยนแปลงค่อนข้างยาก มีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ง่าย ต้องใช้แรงงานสูงเนื่องจากต้องเกลี่ยบ่อยครั้ง ใช้เวลาในการทำแห้งนาน อีกวิธีคือการใช้ตู้อบไฟฟ้า ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ใช้พื้นที่ในการตากแห้งน้อย ควบคุมอากาศเข้าออกได้ ใช้แรงงานต่ำ และใช้เวลาในการตากแห้งน้อย ซึ่งกระบวนการแปรรูปแบบแห้งนี้มีข้อดีตรงที่ขั้นตอนในการแปรรูปนั้นไม่ยุ่งยาก และใช้เวลารวดเร็วกว่ากระบวนการแปรรูปแบบเปียก แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพของกาแฟที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบแห้งจะได้กาแฟดิบที่มีคุณภาพต่ำกว่าการผ่านกระบวนการแปรรูปแบบเปียกเนื่องจากเมล็ดกาแฟจะมีความไวต่อการดูดกลืนได้ดีจึงดูดกลืนอับจากเปลือกในระหว่างการตากเพราะใช้เวลาในการทำแห้งนานกว่ากระบวนการแปรรูปแบบเปียก (Sivetz และ Foote, 1963)

2.4.2 กระบวนการแปรรูปแบบเปียก (wet process)

การเก็บผลกาแฟจะเก็บเฉพาะผลกาแฟที่สุกเท่านั้น ถ้ามีผลดิบ หรือผลที่สุกเกินไปติดมาจะทำให้คุณภาพด้อยลงเนื่องจากการสุกของผลกาแฟจะไม่เท่ากัน ดังนั้นการเก็บเมล็ดกาแฟต้องใช้ต้นทุนที่สูง การเก็บผลกาแฟแบบนี้จะได้กาแฟที่สะอาดซึ่งต่างจากแบบแห้ง ผลกาแฟที่เก็บมาจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 60-75 การเก็บมักเก็บในตอนเช้าถึงบ่าย และต้องนำมาแปรรูปภายในวันที่เก็บ หรือปล่อยทิ้งไว้ไม่เกิน 12-24 ชั่วโมง จึงเป็นกระบวนการที่ทำให้ได้เมล็ดกาแฟที่มีคุณภาพสูง (Varnam และ Sutherland, 1994) การปลอกเปลือกผลกาแฟที่เก็บมาแล้วควรปลอกในวันนั้น ถ้าไม่ทันไม่ควรเก็บเกิน 1 คืน เพราะจะเกิดการหมัก ทำให้เมล็ดกาแฟเสื่อมคุณภาพ การปลอกเปลือกจะให้ผลดีถ้าใช้เครื่องปลอกเปลือก หลังจากปลอกเปลือกแล้วจะเห็นว่ามียอกชั้นที่หุ้มเมล็ดไว้มีลักษณะเป็นเมือก มีความหนาราว 0.8 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยน้ำ และเอนไซม์ต่าง ๆ ร้อยละ 80 ของเอนไซม์ ได้แก่ protopectinase, pectinesterase และ pectinase และ อีกร้อยละ 20 เป็น insoluble mucilage ซึ่งใน insoluble mucilage ร้อยละ 80 เป็นน้ำตาล และอีกร้อยละ 20 เป็นสารประเภทเอกซาร์เป็นเป็นเอ็กซาร์ที่ส่งวนเวสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pectin, protopectin, pectinester (methyl pectin ester) และ pectin acid ส่วนของเมือกเป็นส่วนที่ เกิดขึ้นเมื่อเมล็ดค่อย ๆ สุกไม่สามารถนำมาล้างน้ำออกได้ เพราะว่าจะติดอยู่กับเมล็ดคาเฟ ถ้าหาก ปลอ่ยให้สุกคาตันจะมีเอนไซม์มาย่อย โพลีเมอร์เหล่านี้ให้ได้น้ำตาลกาแลคโตส ซึ่งจุลินทรีย์ สามารถใช้ได้ ถ้าทิ้งไว้จะทำให้คุณภาพของกาแฟลดลง (Sivetz และ Foote, 1963) จากนั้นจะผ่าน ขั้นตอนที่มีความสำคัญคือ ขั้นตอนในการหมักเพื่อนำเมือกที่ติดเมล็ดคาเฟออกซึ่งขั้นตอนดังกล่าว เป็นขั้นตอนที่สำคัญทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะ (specific flavour) ในกาแฟเนื่องจากการเจริญของ เชื้อจุลินทรีย์ทำให้น้ำหมักกาแฟมีสภาพเป็นกรด และเชื้อจุลินทรีย์ยังสร้างเอนไซม์เพคตินเนส ซึ่ง ช่วยในการกำจัดเมือก สายพันธุ์ของแบคทีเรียที่สร้างกรดคือ Enterococcus ซึ่งเป็นกลุ่มของ แบคทีเรียที่มีความสามารถในการสร้างกรดแลคติก ทำให้น้ำหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 6.8 เหลือ 4.3 จากค่าความเป็นกรดที่ลดลงส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เพคตินเนส แต่ก็มีผลดีในแง่ของการป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย แต่การหมักเมล็ด คาเฟเป็นเวลานานมีผลทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีในกาแฟ ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการหมัก 24-36 ชั่วโมง (Varnam และ Sutherland, 1994) การแปรรูปแบบเปียกทำให้เมล็ดคาเฟแห้งเร็ว ดังนั้นเมล็ดคาเฟที่ ผ่านการแปรรูปแบบเปียกจะมีกลิ่นหอม และเป็นที่ยอมรับมากกว่าเมล็ดคาเฟที่ผ่านการแปรรูปแบบ แห้ง (Sivetz และ Foote, 1963) กระบวนการแปรรูปทั้ง 2 วิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกันดังแสดงในตาราง ที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดี และข้อเสียของการผลิตเมล็ดคาเฟด้วยกระบวนการแบบเปียก และแบบแห้ง

วิธีการผลิต	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบแห้ง	<ol style="list-style-type: none"> 1. เป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนต่ำ 2. ผลกาแฟไม่จำเป็นต้องสุกสม่ำเสมอ 3. ไม่ต้องใช้ความรู้ความชำนาญ 4. เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีจำกัด 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เมล็ดคาเฟดิบที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่าวิธีแบบเปียก 2. ใช้เวลาในการตากนาน
แบบเปียก	<ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้เวลาและพื้นที่ในการตากน้อยกว่าวิธีแบบแห้ง 2. มีเมล็ดแตกหักน้อยกว่าในขั้นตอนการคั่ว 3. เมล็ดคาเฟมีคุณภาพดีกว่าวิธีแบบแห้ง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้นทุนสูง ต้องใช้ความรู้ไม่สามารถทำได้กับผลกาแฟดิบ 2. ต้องใช้น้ำปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักในการทำลายเมือก

2.5.1. โดยการหมัก (fermentation)

เมล็ดคาแฟที่ผ่านการปลอกเปลือกแล้ว เมื่อทิ้งไว้จะเกิดการหมักโดยเอนไซม์ที่มีอยู่ในตัวของเมือกเอง เมื่อเอนไซม์ย่อยแล้วเมือกจะแตกตัวให้สารที่มีโมเลกุลเล็ก ๆ ในระหว่างการหมัก เชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มของแบคทีเรีย จะสร้างกรดอินทรีย์ทำให้น้ำหมักมีสภาพเป็นกรดจึงส่งผลให้เกิดการเจริญของยีสต์ในช่วงท้ายของการหมัก (Varnam และ Sutherland, 1994) โดยยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส ได้เป็นแอลกอฮอล์จากนั้นแบคทีเรียจะเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดบิวทริก (butyric acid) หรือกรดที่มีคาร์บอนสายยาว การเกิดกรดพวกนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเป็นเหตุให้คุณภาพของกาแฟต่ำลง จึงมีการควบคุมไม่ให้กรดพวกนี้เกิดขึ้นโดยปกติจะหมักไว้ที่ 24-36 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้วขยี้เมือกออกให้หมด โดยสังเกตว่าเมล็ดคาแฟจะไม่ลื่น

2.5.2. โดยการใช้สารเคมี (chemical treatment)

วิธีนี้ใช้เวลาสั้น โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 3-5 หรืออาจใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นร้อยละ 6-8 ใช้เวลา 1-3 ชั่วโมง ทดสอบโดยการใช้มือจับเมล็ดคาแฟถ้ากำจัดเมือกออกหมดแล้วจะไม่ลื่น

2.5.3. โดยการใช้เอนไซม์ (enzyme treatment)

การใช้เอนไซม์เพกตินเอส (pectinase) ที่สกัดมาจากเชื้อรา จะมีขายตามท้องตลาดในรูปผง เพื่อที่จะได้กระจายตัวได้ดี วิธีการใช้เอนไซม์จะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเมือกทำให้ใช้เวลาในการย่อยสลายเร็วขึ้น

2.5.4. โดยการใช้ความร้อน (heat treatment)

จากการทดลองพบว่ากรดเพกตินิก (pectinic acid) เมื่อให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส สามารถทำให้สารเหล่านี้ละลายได้ หลักการ คือ แช่เมล็ดคาแฟในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20-30 นาที แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้จะมีผลทำให้คุณภาพของกาแฟด้อยลง

2.5.5. โดยการใช้วิธีขัดสี (physical treatment)

การกำจัดเมือกออกด้วยการขัดสี โดยอาศัยการขัดสีของตัวเมล็ดคาแฟเอง ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า aquapulper เป็นเครื่องที่กำจัดเนื้อ และเมือกออกโดยใช้น้ำเป็นตัวนำ เครื่องมือนี้มีลักษณะเป็นรูปกรวย จะมีการขัดสี และต้องปรับขนาดของช่องให้มีขนาดเหมาะสมกับขนาดเมล็ดคาแฟเพื่อป้องกันการแตกของเมล็ด ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ต้องใช้น้ำมาก และใช้พลังงานสูงจึงส่งผลให้มีต้นทุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สูงตามไปด้วย แต่มีข้อดี คือ ประหยัดเวลา และใช้กับกาแฟที่มีปริมาณมากเหมาะกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมหลังจากนำเมือกออกจากเมล็ดแล้ว จะผ่านเมล็ดกาแฟมาเข้าเครื่องล้าง วิธีการล้างนี้เป็นการขัดเมือกที่เหลืออยู่ออกให้หมด ทำให้เมล็ดกาแฟสะอาดมากขึ้น (Sivetz และ Foote, 1963)

2.6 การตากแห้งเมล็ดกาแฟ

กาแฟที่ผลิตแบบเปียกจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 55-60 อาจใช้การตากแห้งแบบตู้อบไฟฟ้า หรือผึ่งแดดเกลี่ยบนพื้น การตากแห้งใช้เวลาประมาณ 7 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ การตากจะตากกันในตอนเช้า และเก็บกองเป็นภูเขาในตอนบ่ายแล้วนำผ้าใบมาคลุมไว้เพื่อให้ความชื้นของเมล็ดกาแฟใกล้เคียงกัน เนื่องจากบางเมล็ดจะมีความชื้นต่ำเมื่อเก็บกองจะมีการถ่ายเทความชื้น ในวันต่อมาให้เกลี่ยตากใหม่ กระทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมล็ดกาแฟมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 จากนั้นนำเมล็ดกาแฟไปกะเทาะเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก ที่ความชื้นร้อยละ 12 จะทำการกะเทาะออกง่าย การกะเทาะจะใช้เครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายกับเครื่องสีข้าวแยกเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก เมล็ดภายในจะขัดสีกันเองจนไม่มีเปลือกติดอยู่ คัดเมล็ดที่เสียดอกและบรรจุลงกระสอบคุณภาพของกาแฟที่มีการย่อยเมือกออก (digested mucilage) คุณภาพจะดีกว่าเมล็ดกาแฟที่ล้างแบบธรรมดา (washed bean) และดีกว่ากาแฟที่ไม่เอาเมือกออก (mucilage bean) เนื่องจากกาแฟที่ไม่ได้นำเมือกออกเมื่อนำไปตาก เมือกจะเหนียวติดกับพื้น และเมือกทำให้กาแฟแห้งยาก โอกาสปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จึงมีมาก และความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เพียงพอที่จะทำให้ลายเอนไซม์ เอนไซม์จะทำการย่อยเมือกให้เป็น galacturonic acid จากนั้นยีสต์จะเข้าไปเปลี่ยนให้เป็นแอลกอฮอล์ และแบคทีเรียจะเปลี่ยนต่อเป็น กรดอะซิติก และกรดบิวทาริก ทำให้กาแฟมีกลิ่นที่ไม่ดี (Clarke, 1986)

2.7 การกะเทาะเปลือกเมล็ดกาแฟ

เป็นการนำส่วนของเปลือกนอก เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และส่วนของเยื่อออก แต่ในการแปรรูปแบบเปียกจะเป็นการนำส่วนของ เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และเยื่อออกเท่านั้น เพราะว่าเปลือกนอกได้นำออกไปก่อนที่จะมีการกำจัดเมือกแล้ว จึงใช้แรงขัดสีน้อยกว่าแบบแห้ง ส่วนการแปรรูปกาแฟแบบแห้งกาแฟจะแห้งทั้งเมล็ดจึงต้องนำส่วนของเปลือกนอก เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และส่วนของเยื่อออก เมล็ดกาแฟจะสีกันเอง จากนั้นใช้ลมเป่าเปลือกแข็งหุ้มเมล็ด และส่วนของเยื่อออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การคัดขนาดเมล็ดกาแฟ

สารกาแฟ (Green coffee) ที่ผ่านเครื่องสีเอากะลาออกแล้วจึงนำมาคัดขนาด เพื่อแบ่งเกรด โดยบรรจุในกระสอบป่านใหม่ และควรกลับด้านในของกระสอบป่านออกมาฝั่งลมก่อนนำไปใช้ เก็บในโรงเก็บที่มีอากาศถ่ายเท ได้สะดวก ไม่อับชื้น หรือมีกลิ่นเหม็น

2.8.1 ใช้ตะแกรงร่อน

ตะแกรงขนาดรู 5.5 มิลลิเมตร เพื่อแยกสารกาแฟที่สมบูรณ์ จากสารกาแฟที่แตกหักรวม ถึง สิ่งเจือปน เมล็ดกาแฟที่มีสีดำ (black bean) ซึ่งเกิดจากเชื้อราบางประเภท

2.8.2 ใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์หรือเครื่องที่ใช้แรงเหวี่ยง

เพื่อแยกสารกาแฟที่ดีออกจากสารกาแฟที่ไม่สมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

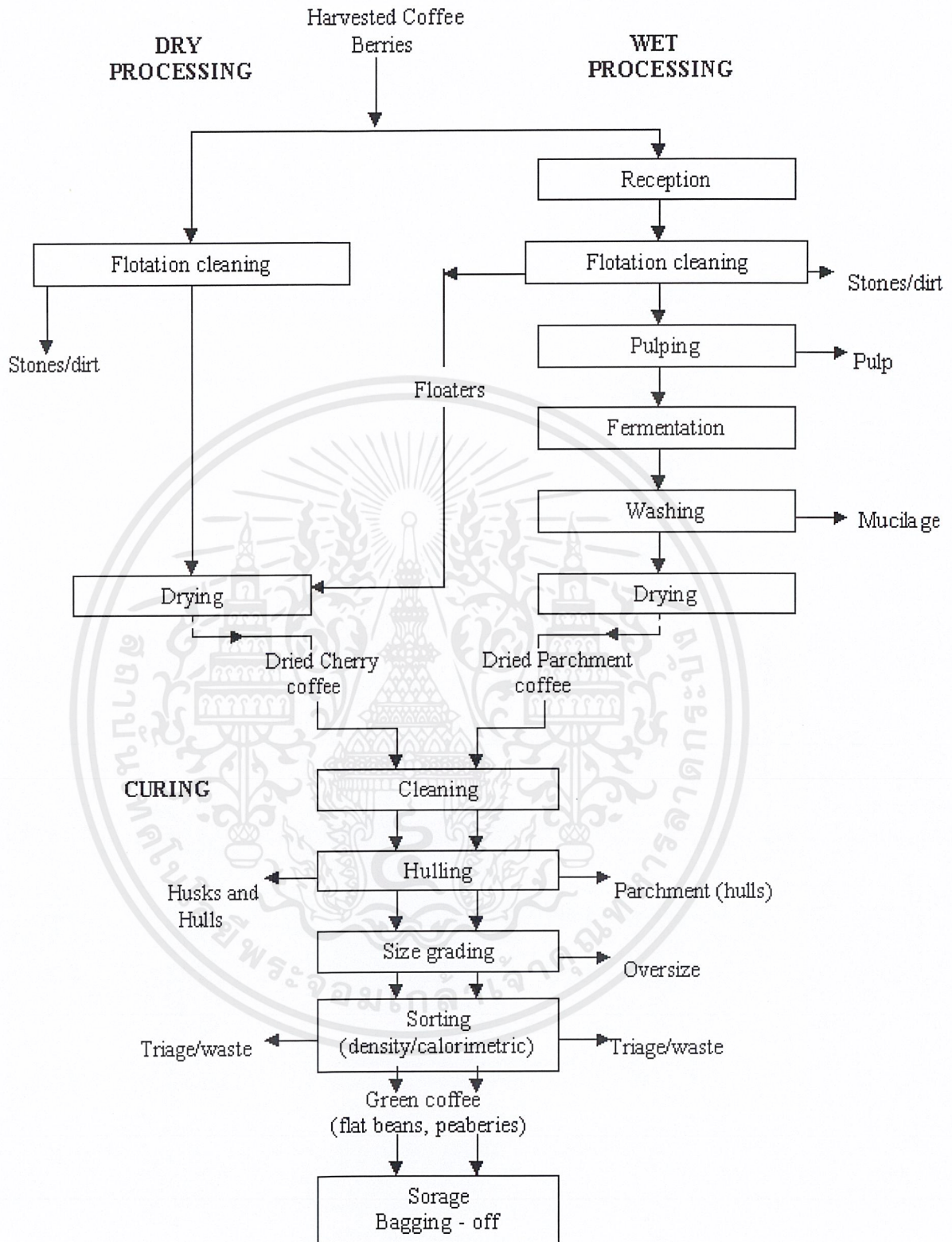


Fig. 2. Flow sheet illustrating the stages of wet and dry processing of coffee

รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟดิบ โดยกระบวนการแปรรูปแบบเปียก และแบบแห้ง

ที่มา : <http://www.fao.org/docrep/003/x6939e/X6939e01.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 สารประกอบในเมล็ดกาแฟ

2.9.1. สารประกอบไนโตรเจน

กาแฟอื่นจะให้รสขม (bitter) มีค่าค่าสุกการรับรูรส 15-75 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณกาแฟอื่นในเมล็ดกาแฟจะขึ้นกับสายพันธุ์ (Coffee Research Institute, 2001) ปริมาณกาแฟอื่นในกาแฟดิบของกาแฟอาราบิก้ามีร้อยละ 1.2 ในกาแฟโรบัสต้าร้อยละ 2.2 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วน trigonelline เมื่อแตกตัวจะให้ทั้งกลิ่นรส และสารอาหาร พบในกาแฟสายอาราบิก้าร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักแห้งส่วนในโรบัสต้ามีร้อยละ 0.7 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งให้รสขมอ่อน ๆ (ประมาณ ร้อยละ 25 ของกาแฟอื่น) ในเครื่องดื่มน้ำกาแฟ การแตกสลายของ trigonelline จะเป็นสัดส่วนกับระดับของการคั่ว จะทำให้ได้ ไพริดีน ซึ่งให้กลิ่นของการคั่ว (roasty) นอกจากนี้โปรตีน และกรดอะมิโนอิสระจะมีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสในกาแฟ เนื่องจากจะรวมตัวกับสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟเกิดเป็นสารที่ให้กลิ่นรส เช่น สารประกอบในกลุ่มของ ไพราซีน และไพริดีน โดยปริมาณโปรตีนขึ้นกับสายพันธุ์ของกาแฟ และจะพบโปรตีนอยู่ในส่วนของไซโตพลาส (cytoplasm) หรือจับอยู่กับโพลีแซคคาไรด์ที่ผนังเซลล์ (Varnam and Sutherland, 1994)

2.9.2. คาร์โบไฮเดรต

ในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่วพบคาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาลอิสระ และโพลีแซคคาไรด์ โดยน้ำตาลอิสระส่วนมากเป็นน้ำตาลซูโครส ปริมาณจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ระดับความแก่ของเมล็ด โดยในอาราบิก้าพบร้อยละ 6.0-8.3 ส่วนในโรบัสต้าพบร้อยละ 3.3-4.1 โดยน้ำหนักแห้ง นอกนั้นพบว่าเป็นน้ำตาลรีดิคัล เช่น arabinose, galactose, raffinose, rhamnose, ribose, fructose และ glucose ซึ่งน้ำตาลมีความสำคัญในการเกิดกลิ่นรส และการเกิดสี (pigmentation) ระหว่างกระบวนการคั่ว (Varnam and Sutherland, 1994) Oosterveld และคณะ (2003) รายงานว่าเมล็ดกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่ว ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 48-60 ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็น arabinogalactan และ galactomannans โดยกระบวนการคั่วจะมีผลต่อการสลายตัวของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ซึ่งมีผลต่อการลดมวลโมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ นอกจากนี้ระดับ branching ของ arabinogalactan และ galactomannans ลดลง จึงมีผลในการลดความสามารถในการละลายของโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งการแตกสลายของโพลีแซคคาไรด์จะทำให้เกิด oligosaccharide และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) ซึ่งขึ้นกับระดับของการคั่ว Redgwell และคณะ (2002) พบว่าเมล็ดกาแฟที่คั่วใน

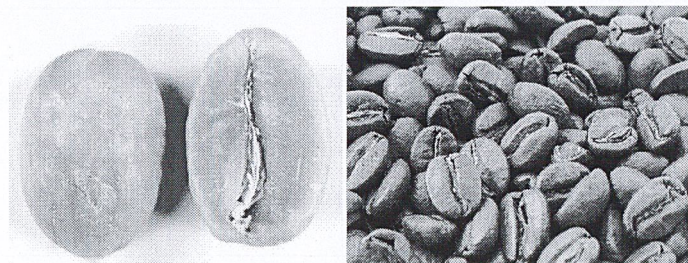
ระดับเข้ม (dark roast) จะเกิดการแตกสลายของโพลีแซคคาไรด์ถึงร้อยละ 40 ซึ่งมากกว่าการคั่วในระดับอ่อน (light roast) และระดับกลาง (medium roast)

2.9.3. ไขมัน

องค์ประกอบของไขมันในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่วประกอบด้วยน้ำมันกาแฟ (coffee oil) ซึ่งส่วนมากพบใน endosperm และ coffee wax ซึ่งพบที่ผิวชั้นนอกของเมล็ดกาแฟโดยพบในกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้งน้ำมัน ส่วนในโรบัสต้าพบร้อยละ 10 ของน้ำหนักแห้งน้ำมัน โดยประกอบด้วย triacylglycerols และไขมันอื่น ๆ (Varnam and Sutherland, 1994)

2.9.4. กรดอินทรีย์

กรดในเมล็ดกาแฟคั่วแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่ aliphatic, alicyclic, carboxylic และ phenolic acids (Coffee Research Institute, 2001) ซึ่งมีการพบเช่นเดียวกับในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านกระบวนการคั่ว มีรายงานว่ากาแฟสายพันธุ์อาราบิก้ามีกรดซิตริกร้อยละ 0.5 กรดมาลิกร้อยละ 0.46 กรดออกซาลิกร้อยละ 0.2 และ กรดทาร์ทาริกร้อยละ 0.4 โดยขณะทำการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟความชื้นจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากเอนไซม์จะย่อยสลายไขมันให้เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ (Varnam and Sutherland, 1994) ในกาแฟอาราบิก้าที่ผ่านการคั่วแบบกลางจะมีปริมาณกรดที่สำคัญดังต่อไปนี้ กรดซิตริก กรดมาลิก กรดแลคติก กรดไพรูวิก และกรดอะซิติก ร้อยละ 0.30, 0.22, 0.13, 0.07 และร้อยละ 0.27 ตามลำดับ ในกาแฟที่คั่วแบบอ่อนปริมาณกรดทั้งหมดจะมีร้อยละ 1.58 แต่เมื่อผ่านการคั่วแบบเข้มปริมาณกรดทั้งหมดจะเหลือเพียงร้อยละ 0.71 เท่านั้น (Clarke, 1986) โดยโมเลกุลของกรดที่อยู่ในรูปที่ไม่แตกตัว (undissociate acids) จะมีอิทธิพลในการควบคุมการเกิดกลิ่นรสที่ดีในกาแฟ (Clarke และ Macrae, 1985) องค์ประกอบของสารที่อยู่ในเมล็ดกาแฟดิบ และในกาแฟคั่วจะแตกต่างกัน ทั้งในด้านของชนิด และปริมาณ โดยสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดกาแฟดิบ จะเป็นสารตั้งต้นที่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบที่พบในกาแฟคั่ว ซึ่งแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 2.3 ตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เมล็ดกาแฟดิบและเมล็ดกาแฟคั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบ (โดยน้ำหนักแห้ง)

Classes and Components	Percent of Green Coffee	
	Soluble	Insoluble
1. Carbohydrates (60%)		
Reducing sugars	1.0	-
Sucrose	7.0	-
Pectins	2.0	-
Starch	-	10.0
Pentosans	-	5.0
Hemi-celluloses	-	15.0
Holo-celluloses	-	18.0
Lignin	-	2.0
2. Oil	-	13.0
3. Protein (N x 6.25)	9.0	4.0
4. Ash as oxide	2.0	2.0
5. Non-volatile acids		
Chlorogenic	6.8	-
Oxalic	0.2	-
Malic	0.3	-
Tartaric	0.4	-
6. Trigonelline	-	1.0
7. Caffeine** (Arabica 1.0 %, robusta 2.0%)	-	1.0
Total	29.0	71.0

ที่มา : Sivetz (1963)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟคั่ว (โดยน้ำหนักแห้ง)

Classes and Components	Percent of Green Coffee	
	Soluble	Insoluble
1. Carbohydrates (53%)		
Reducing sugars	1.0 – 2.0	-
Caramelized sugars	10.0 - 17.0	7.0 – 0.0
Hemi-celluloses (hydrolysable)	1.0	14.0
Fiber (not hydrolysable)	-	22.0
2. Oil	-	15.0
3. Proteins (N x 6.25) ; amino acids are soluble	1.0 – 2.0	11.0
4. Ash (oxide)	3.0	1.0
5. Acids , non-volatile		-
Chlorogenic	4.5	-
Caffeic	0.5	-
Quinic	0.5	-
Oxalic, Malic ,Citric, Tartaric	1.0	-
Volatile acids	0.35	-
6. Trigonelline	1.0	-
7.Caffeine (Arabica 1.0%, Robusta 2.0%)	1.2	-
8. Phenolics (estimate)	2.0	-
9. Volatiles		-
Carbon dioxide	Trace	2.0
Essence of aroma and flavor	0.04	-
Total	27.0 to 35.0	65.0 to 73.0

ที่มา : Sivetz (1963)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 กระบวนการคั่วเมล็ดกาแฟ (roasting process)

ในระหว่างการคั่วเมล็ดกาแฟจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีทำให้ได้กลิ่นและรสชาติของกาแฟที่กลมกลืนกัน โดยในขั้นตอนแรกของการคั่วเมล็ดกาแฟจะเริ่มดูดความร้อนและเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อน ๆ มีกลิ่นคล้ายกับกลิ่นของข้าวโพดคั่ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 205 องศาเซลเซียส เมล็ดกาแฟจะเริ่มพองตัวเป็นสองเท่า และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 5 และค่าสีออกตรอน (agtron number) อยู่ประมาณ 90-95 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 220 องศาเซลเซียส สีของเมล็ดกาแฟจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และค่าสีออกตรอนจะลดลงเหลือ 60-65 มีการสูญเสียน้ำหนักไปร้อยละ 13 โดยในขั้นตอนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่เรียกว่ากระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งมีส่วนสำคัญทำให้สารประกอบในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตเกิดการแตกตัว และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา เมื่อสิ้นสุดการคั่วต้องทำให้เมล็ดกาแฟเย็นตัวลง (Coffee Research Institute, 2001) ซึ่งระยะเวลาในการคั่วจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับระดับการคั่วว่าจะเป็นการคั่วแบบใด โดยทั่วไปการคั่วกาแฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือการคั่วแบบอ่อน (light roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 193-199 องศาเซลเซียส การคั่วแบบกลาง (medium roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 204 องศาเซลเซียส และการคั่วแบบเข้ม (heavy roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 218-221 องศาเซลเซียส (Clarke, 1985) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชอบของผู้บริโภค เนื่องจากระดับของการคั่วจะส่งผลต่อกลิ่นและรสชาติของกาแฟที่แตกต่างกันออกไป (ตารางที่ 4) และระดับการคั่วส่วนมากจะดูจากค่าสี

หลังจากการคั่วเสร็จโดยใช้เครื่อง Agtron roast analyzer (Coffee Research Institute, 2001) การควบคุมสภาวะในการคั่วมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเมล็ดกาแฟจึงมีการวัดและควบคุมตัวแปรต่างๆ เช่น การถ่ายเทความร้อน อัตราการสูญเสีย น้ำ อุณหภูมิในการคั่วและอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ ซึ่งช่วยในการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่จะมีผลต่อคุณภาพของกาแฟ (Schenker และคณะ, 2002)

2.10.1 ปฏิกิริยาไพโรไลซิส (pyrolysis)

เป็นปฏิกิริยาที่สารอินทรีย์เกิดการสลายตัวไปสู่องค์ประกอบที่มีขนาดเล็กลงในสภาวะที่มีความร้อนสูง ปราศจากออกซิเจน และมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น และอุณหภูมิที่ใช้ โดยทั่วไปอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 220 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่งผลให้เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลเข้ม พองตัว และเปราะ แตกง่าย มีน้ำมันออกมา และมีสารให้กลิ่นรสเกิดขึ้น (Janssen, 1997)

ตารางที่ 2.4 ระดับการคั่วเมล็ดกาแฟ

ระดับการคั่ว	คุณลักษณะ
แบบอ่อน	มีสีน้ำตาลคล้ายกับสีของอบเชย ความชื้นหนืดน้อย มีความเป็นกรดอ่อนๆ และการเกิดกลิ่นรสยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์
แบบอ่อน-กลาง	มีสีน้ำตาลอ่อน ๆ มีความเป็นกรด และความชื้นหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
แบบกลาง	มีสีน้ำตาล ความเป็นกรด และความชื้นหนืดเพิ่มขึ้น
แบบกลาง-เข้ม	มีสีน้ำตาลอ่อนเข้ม มีหยคน้ำมันเคลือบที่ผิวของเมล็ดกาแฟเล็กน้อย ความเป็นกรดเริ่มลดลง และความชื้นหนืดเพิ่มขึ้น
แบบเข้ม	มีสีน้ำตาลดำ และหยคน้ำมันเคลือบรอบเมล็ดกาแฟ กลิ่นกาแฟเริ่มหายไป แต่ความชื้นหนืดจะเพิ่มขึ้น
แบบเข้มมาก	กาแฟสีดำสนิท มีน้ำมันออกมาเคลือบผิวด้านนอกมาก กลิ่นกาแฟ และ ความชื้นหนืดค่อนข้างน้อย

ที่มา : Coffee Research Institute (2001)

2.10.2 การเปลี่ยนแปลงของเมล็ดกาแฟในระหว่างการคั่ว

การคั่วกาแฟเป็นขั้นตอนเกี่ยวกับการปรับปรุงกลิ่นรสของกาแฟ โดยการให้ความร้อนแก่เมล็ดกาแฟเพื่อไล่ความชื้น อีกทั้งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพ น้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในเมล็ดกาแฟจะกลายเป็นไออออกจากเมล็ดที่อุณหภูมิของเมล็ดกาแฟประมาณ 100 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของเมล็ดสูงขึ้นถึง 180 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัว เนื่องจากความร้อน หรือที่เรียกว่าไพโรไลซิส รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเมล็ด ซึ่งจะเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์บางส่วนในเมล็ดไปเป็นสารที่ให้กลิ่น และรส (aroma and flavour) เช่นเปลี่ยนโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไปเป็น อัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ ฯลฯ ปฏิกิริยาที่เกิดจากไพโรไลซิสบางชนิดเป็นแบบคายความร้อน (exothermic reaction) ทำให้เมล็ดกาแฟมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 200-210 องศาเซลเซียส กาแฟที่ผ่านการคั่วจะมีน้ำหนักน้อยกว่าเดิม น้ำหนักที่หายไปอยู่ในช่วงร้อยละ 12-20 ขึ้นอยู่กับระดับของการคั่ว โดยน้ำหนักที่หายไปเกิดจากเมล็ดกาแฟที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 10-12 ในช่วงที่น้ำหนักหายไปอย่างรวดเร็วเมล็ดกาแฟจะเริ่มเปลี่ยน เป็นสีน้ำตาล และสีของเมล็ดจะเข้มขึ้นเมื่อน้ำหนักหายไปมากขึ้น นอกจากนี้เมล็ดกาแฟจะเกิดการพองตัว และเพิ่มขนาดเป็นสองเท่าจากเดิม (สมหมาย, 2528)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3 การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ

กาแฟที่ผ่านการคั่วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ ทำให้รูปร่าง ขนาด และคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เปลี่ยนไป ได้แก่

1. น้ำหนักที่หายไปทั้งหมด (total weight loss)

โดยทั่วไปมีค่าประมาณร้อยละ 15-18 คัดจากกาแฟที่มีความชื้นร้อยละ 10-12 และเป็นน้ำหนักที่หายไปหลังจากเกิดไฟโรไลซิส ร้อยละ 4-6 องค์ประกอบที่หายไปมากที่สุดคือ กรดคลอโรเจนิค (chlorogenic acid) โดยกรดชนิดนี้เริ่มต้นจะมีปริมาณร้อยละ 7 และหลังการคั่วจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 4 เนื่องจากการสลายตัวไปเป็นสารประกอบในกลุ่มของ ฟีนอล (Ky และคณะ, 2001) ซึ่งจะมีผลต่อรสชาติของกาแฟมาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลจากไฟโรไลซิสก็สูญเสียไปบางส่วน ในขณะที่คาเฟอีนมีการสูญเสียไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2. การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของกาแฟเกิดเนื่องจากไฟโรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตกลายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของกาแฟลดลงจาก 5.5-4.9 โดยจะขึ้นกับระดับการคั่วกาแฟ กาแฟที่คั่วเข้มมาก ๆ ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้กรดสลายตัวของกรด และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ถูกขับออกไป

3. การเปลี่ยนแปลงสี และรสชาติ

สีของกาแฟที่เปลี่ยนแปลงหลังการคั่วเกิดขึ้นได้เพราะไฟโรไลซิสของคาร์บอน และโปรตีน แต่รสชาติเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก โปรตีน และกรดไขมันที่ถูกไฮโดรไลซ์ (Sivetz และ Foote, 1963)

2.10.4 การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี

ขั้นตอนของการคั่วกาแฟส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาที่สำคัญเช่น ปฏิกิริยามอลดาร์ด การเกิดคาราเมล Strecker degradation และ กระบวนการไฟโรไลซิส ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกาแฟอย่างมาก รวมทั้งการเกิดสารประกอบใหม่ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของกาแฟที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่

1. กรดที่ระเหยได้ (volatile acids)

ในกระบวนการคั่วกาแฟสิ่งที่น่าสนใจกันคือ ความสัมพันธ์ระหว่างกรดที่ระเหยได้กับ อุณหภูมิ สี และน้ำหนักที่หายไปของเมล็ดกาแฟ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดมีผลต่อรสชาติ

ของกาแฟมากกว่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีของกาแฟ หรืออุณหภูมิของเมล็ด โดยพบว่ากรดฟอรั เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิก (formic acid) และกรดอะซิติก (acetic acid) จะถูกขับออกมาในช่วงแรกของการคั่ว รวมทั้งกรดที่ไม่ระเหย (non volatile acids) ด้วย กรดที่ระเหยได้จะมีปริมาณสูงสุดก่อนการเกิดไฟโรไลซิส แต่เมื่อทำการคั่วไปนาน ๆ สีของเมล็ดกาแฟจะเข้มขึ้น ส่วนปริมาณกรดระเหยก็จะลดลง การคั่วที่พอเหมาะจะทำให้มีกรดระเหยอยู่ในระดับที่ทำให้กาแฟมีรสชาติดี แต่ถ้าเกิดไฟโรไลซิสมากเกินไป กรดระเหยจะถูกขับออกหมด (Sivetz และ Foote, 1963)

2. น้ำตาลซูโครส

มีประมาณร้อยละ 7 น้ำตาลซูโครสอาจเกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (caramelization) ได้ สารโพลีเมอร์ หรือสลายตัวได้เป็นสารประกอบคาร์บอนสายสั้น ๆ (short chain carbon) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาได้เป็นสารประกอบคาร์บอนที่ซับซ้อน หรืออาจทำปฏิกิริยากับโปรตีน เกิดสารประกอบที่ซับซ้อน และให้รสชาติที่ดี (ภาพที่ 2) เมื่อคั่งน้ำออกจากน้ำตาลซูโครส (dehydration) และทำการย่อย (hydrolyze) จะให้น้ำตาลรีดิคัลซิง แต่ถ้าทำโพลีเมอร์ไรซ์ (polymerize) จะทำให้เกิดสารที่มีสีน้ำตาล หรืออาจถูกย่อยให้สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหย น้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Sivetz และ Foote, 1963)

3. กรดที่ไม่ระเหย (non volatile acids)

กรดคาร์บอกซิลิก เป็นกรดที่ไม่ระเหยที่เกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตเมื่อได้รับความร้อน กรดนี้มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของกาแฟ แต่กรดฟีนอลิกมีอยู่ในปริมาณต่ำจึงไม่มีผลต่อค่าความเป็นด่าง แต่จะไปมีผลต่อกลิ่นรสของกาแฟมากกว่าเนื่องจากจะให้กลิ่นรสที่แรง และโดยทั่วไปกาแฟที่คั่วแบบกลางจะให้ค่าความเป็นกรดมากกว่ากาแฟที่คั่วแบบเข้ม จากการศึกษาพบว่ากรดอินทรีย์ที่มีความสำคัญในกาแฟ คือ กรดคลอโรเจนิก กรดอะซิติก และกรดซิตริก ซึ่งกรดคลอโรเจนิกจะพบในกาแฟดิบร้อยละ 7 แต่ส่วนใหญ่จะถูกทำลายไปในระหว่างที่คั่ว (Sivetz และ Foote, 1963)

4. สารประกอบระเหย (volatile compounds)

เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นในกาแฟ เกิดจากการสลายตัวโดยความร้อนของสารประกอบอินทรีย์บางตัว และถูกกักเก็บไว้ในเซลล์ของเมล็ด สารประกอบระเหยนี้แม้จะมีปริมาณน้อย (ร้อยละ 0.04 ของน้ำหนักกาแฟคั่ว) แต่ก็มีผลต่อรสชาติของกาแฟเป็นอย่างมาก สารที่ระเหยนี้จะเป็นสารในกลุ่มของ อัลดีไฮด์ และคีโตน ที่เกิดจากการแตกตัวของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตเมื่อได้รับความร้อน (Sivetz และ Foote, 1963)

5. โปรตีน

มีอยู่ประมาณร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก สารประกอบที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนจะมีผลต่อรสชาติของกาแฟมาก โปรตีนที่ถูกเปลี่ยนแปลงจะมีความสามารถในการละลายน้ำลดลง โปรตีนสามารถถูกไฮโดรไลซ์ต่อไปได้ เปปไทด์ กรดอะมิโน เอมีน ไคซัลไฟด์ ซึ่งถูกกักอยู่ในเมล็ดกาแฟ และละลายออกมาเมื่อทำการสกัด การไฮโดรไลซ์โปรตีนนอกจากจะให้สารที่ให้กลิ่นรสแล้วยังทำให้เกิดสารที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่น เกิดกลิ่น และรสได้เช่นกัน (Sivetz และ Foote, 1963)

6. คาเฟอีน (caffeine)

คาเฟอีนจะไม่สลายตัวในระหว่างการคั่ว แต่อาจมีบางส่วนที่ระเหิดไปบ้าง และเมื่อลดอุณหภูมิลง การระเหิดจะน้อยลง กาแฟที่สกัดคาเฟอีนออกจึงไม่มีผลทำให้กลิ่นของกาแฟเปลี่ยนไป (Sivetz และ Foote, 1963)

7. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

โดยปกติเมล็ดกาแฟจะไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ แต่จะเกิดขึ้นระหว่างการคั่ว โดยมากเกิดจากการสลายตัวของกรดคาร์บอกซิลิกในกระบวนการไพโรไลซิส และให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาประมาณร้อยละ 1-2 กาแฟคั่วที่ยังไม่ได้บดจะมีความสามารถในการเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่ากาแฟที่บดแล้ว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในเมล็ดจะช่วยป้องกันการแพร่เข้าของอากาศ และความชื้น เป็นการยับยั้งการเกิดกลิ่นเหม็นหืนจึงทำให้เก็บรักษาได้นาน (Sivetz และ Foote, 1963)

8. น้ำมัน

เมล็ดกาแฟจะมีน้ำมันอยู่ประมาณร้อยละ 12 และในจำนวนนี้ร้อยละ 95 จะไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่ทำการคั่ว แต่น้ำมันที่มีกรดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบ เช่น กลีเซอไรด์ (glyceride) จะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) และ กลีเซอริน (glycerine) เกิดเป็นกลิ่นกาแฟเวลาชงกาแฟจึงมีน้ำมันลอยอยู่ที่ผิว โดยขณะที่ให้ความร้อนจะทำให้โปรตีนที่ปนอยู่กับน้ำมันเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม น้ำมันที่ถูกกักไว้จะถูกปล่อยออกมา และเกิดการรวมตัวเป็นหยด และในขณะที่คั่วผิวของเมล็ดกาแฟจะอ่อนตัวลง ทำให้น้ำมันผ่านออกมา ผิวของเมล็ดกาแฟจึงถูกเคลือบด้วยน้ำมัน (Sivetz และ Foote, 1963)

2.11 การสกัดกาแฟ

การสกัดของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกาแฟ การสกัดของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกาแฟ จะใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย การสกัดจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งสารละลายมีความเข้มข้นประมาณ 15 - 25 % w/w

การสกัดนิยมทำที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 100°C จะทำให้ปริมาณของแข็งที่สกัดได้ แห้งยาก การสกัดของแข็งที่ละลายได้มี 3 วิธีด้วยกัน คือ

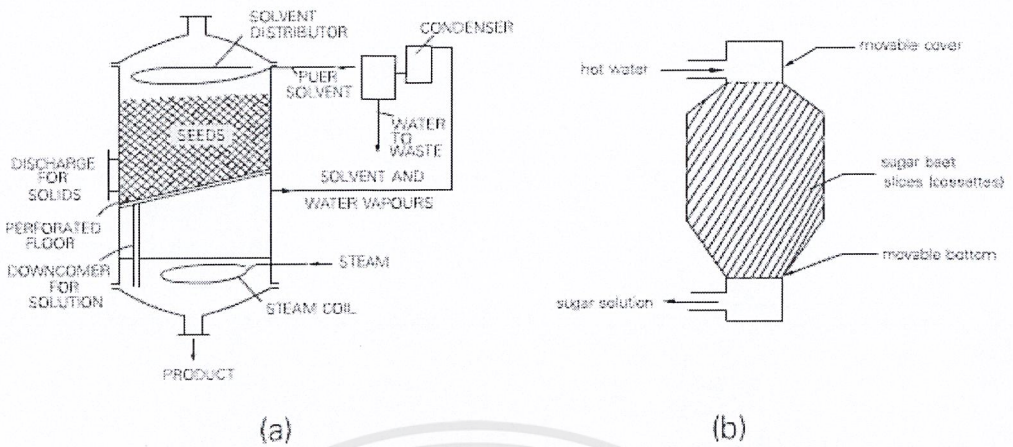
Percolation batteries เป็นวิธีการที่ใช้กันทั่วไป โดยนำกาแฟที่คั่วบรรจุในภาชนะ จากนั้นจะผ่านน้ำร้อนเข้าไปสกัด ของแข็ง ที่ละลายน้ำในกาแฟ น้ำกาแฟจะถูกปล่อยออกไป แล้วภาชนะอันใหม่จะเข้ามาแทนที่ภาชนะเดิม อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดอยู่ที่ 175 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นประมาณ 15-25% น.น./น.น. เข้าสู่กระบวนการทำแห้งต่อไป

ระบบการไหลสวนทาง กาแฟจะถูกผ่านเข้าสู่ภาชนะควบคุมอุณหภูมิรูปทรงกลมอย่างต่อเนื่อง และจะถูกขุ่นขึ้นด้านบน ด้วยสกรูเกลียวที่มีรอบการหมุน 10-22 รอบต่อชั่วโมง น้ำร้อนจะเข้ามาทางด้านบนเพื่อสกัดของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกาแฟ จากนั้นน้ำกาแฟที่ได้จะปล่อยออกทางด้านล่าง การทำงานของระบบต้องใช้ความดัน และอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

Slurry Extraction กาแฟและน้ำจะถูกกวนเข้าด้วยกันในแท็งก์ และจะแยกออกจากกันโดยการหมุนเหวี่ยง ซึ่งเครื่องจักรสำหรับกระบวนการนี้มีราคาค่อนข้างแพงมาก

2.11.1 การสกัดแบบกะเพียงขั้นเดียว

ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (a) ซึ่งเป็นเครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดแบบกะในกระบวนการนี้ของแข็งจะสัมผัสกับตัวทำละลายที่ไม่มีตัวถูกละลายอยู่ จนถึง สมดุล โดยการบีบตัวทำละลายผ่านชั้นของของแข็งแล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ หรือในรูปที่ 2.4 (b) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลจากหัวบีท ส่วนที่ปิดด้านบนสามารถเลื่อนออกเพื่อใส่หัวบีทที่เลื่อนเป็นชั้นบางเข้าไปในถังแล้วปล่อยน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 71°C ถึง 77°C ไหลเข้าไปในชั้นของของแข็งเพื่อชะละลายน้ำตาลออกมา ของแข็งอาจแช่อยู่ในตัวทำละลายที่มีการกวนหรือไม่ก็ได้ หลังจากสมดุล เฟสของตัวทำละลายที่มีตัวถูกละลายอยู่จะถูกระบาย ออกไปจากของแข็ง จากนั้นตัวทำละลายและน้ำที่สกัดได้จะถูกทำให้เดือดอย่างต่อเนื่องโดยได้รับความร้อนจากขดลวดไอน้ำ ตัวอย่างการสกัดอื่น ๆ เช่น การสกัดกาแฟหรือชา และการกำจัดคาเฟอีนด้วยน้ำ ของเมล็ดกาแฟดิบ (ผศ.ปัทมธร ภัทรสถาพรกุล, 2552)

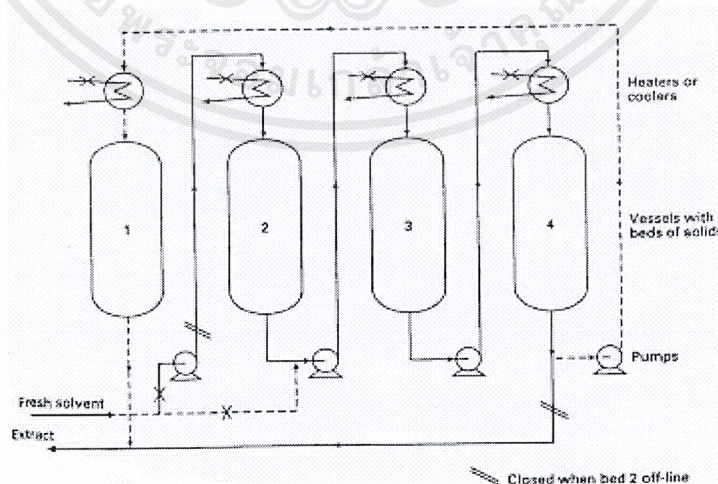


รูป 2.4 (a) เครื่องสกัดน้ำมันจากเมล็ดแบบกะ (b) เครื่องชะละลายน้ำตาลจากหัวบีท

ที่มา : <http://203.158.184.2/elearning/AgriProEn2/unit1302.htm>

2.11.2 การสกัดแบบอนุกรม

แท็งก์ที่บรรจุของแข็งต่อกันแบบอนุกรมของ แท็งก์ที่บรรจุในแต่ละแท็งก์คงตัว จนเกิดการสกัดอย่างสมบูรณ์ การต่อแท็งก์แบบอนุกรมที่ใช้ความดันช่วยในการดำเนินการ โดยใช้กระแสดำทำละลายที่ไหลแบบสวนทางกัน การต่อแบบนี้เรียกว่า แบตเตอรีการแพร์ การออกแบบระบบท่ออาจออกแบบให้มีการไหลของตัวทำละลายแบบสวนทางกัน โดยกำหนดให้ตัวทำละลายใหม่ (fresh solvent) เข้าที่แท็งก์ใดก็ได้โดยใช้ปั๊มช่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.5

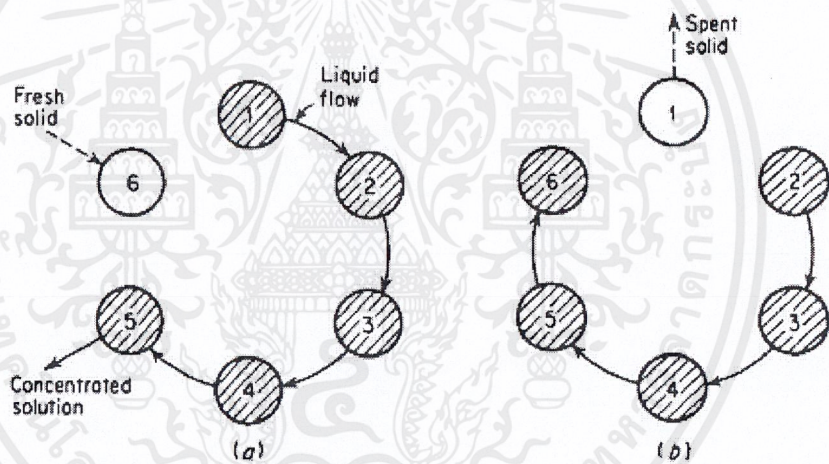


รูป 2.5 การต่อแบตเตอรีระบบเชิงค้ำจำนวนสี่แท็งก์

ที่มา : sci.chandra.ac.th/show/8.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการแบบนี้เรียกว่า กระบวนการแซ็งค์ (shanks process) ระบบนี้เหมาะกับการชะละลายที่อนุภาคของแข็งมีขนาดใหญ่ เทคนิคนี้ใช้สำหรับการกำจัดแทนนินจากเนื้อไม้ หรือเปลือกไม้ น้ำตาลจากบีบน้ำตาล และระบบน้ำ-สารละลายจากกาแฟ ชา และเครื่องเทศ จากรูปที่ 2.5 แท็งก์ที่หนึ่งไม่มีการเชื่อมตรง เป็นแท็งก์ว่าง และเป็นที่ยับของแข็งใหม่เข้าไป ตัวทำละลายถูกป้อนเข้าเกิดการซึมผ่านของแข็งลงมาในแท็งก์ที่สอง แท็งก์ที่สาม และแท็งก์ที่สี่ ตัวทำละลายออกจากระบบการสกัดสุดท้ายที่แท็งก์ที่สี่ ในระบบนี้การสกัดของแข็งในแท็งก์ที่สอง จะเกิดอย่างสมบูรณ์ก่อนหลังจากนั้น แท็งก์ที่สองไม่เชื่อมตรง เพื่อให้เป็นแท็งก์ว่าง และบรรจุของแข็งใหม่เข้าไป ในขณะที่แท็งก์ที่หนึ่งถูกเชื่อมตรง ตัวทำละลายใหม่ถูกป้อนเข้าสู่แท็งก์ที่สามก่อน ตามด้วยแท็งก์ที่สี่ และแท็งก์ที่หนึ่งตามลำดับ ระบบแซ็งค์เป็นระบบการไหลแบบสวนทางกัน โดยมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ระบบแซ็งค์

ที่มา : sci.chandra.ac.th/show/8.pdf

2.12 การทำแห้งน้ำกาแฟสกัด

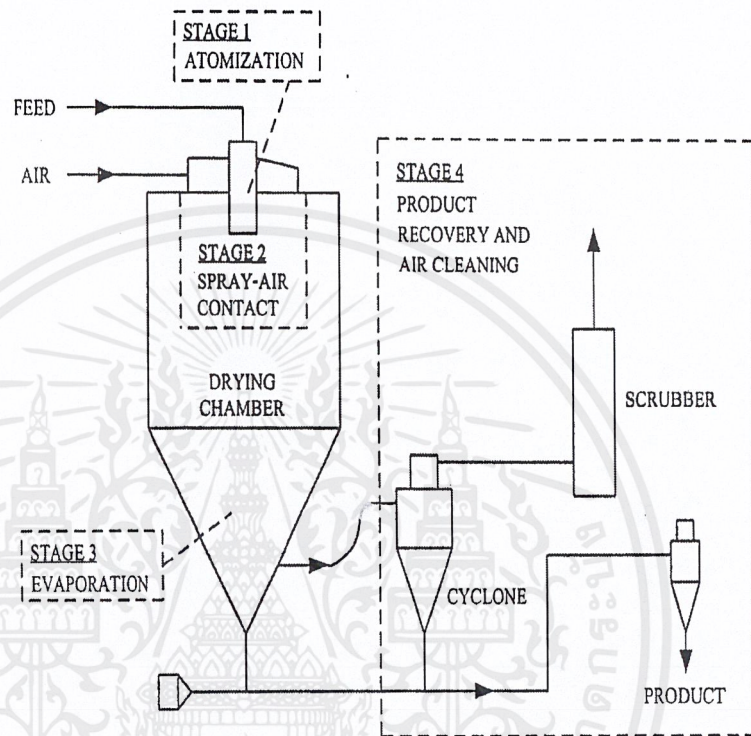
การทำแห้ง น้ำกาแฟที่ได้สามารถทำให้แห้งโดยใช้ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย, เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง หรือเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

2.12.1 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

เป็นการทำให้น้ำกาแฟ เกิดเป็นละอองเล็กขนาดหยดน้ำ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 100-200 ไมโครเมตร) ในกระแสมรؤونที่ไหลในทิศทางเดียวกัน (150-300 องศาเซลเซียส) ในถังทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดใหญ่ กาแฟแห้งที่ได้จะถูกแยกออกไปโดยการใส่ Centrifugal atomizer ส่วนของเหลวจะถูกส่งไปยังภาชนะหมุน เพื่อสร้างขนาดของหยดสารละลายใหม่ในการสเปรย์ ผลกาแฟที่แห้งแล้วจะนำออกโดยการใส่สายพานลำเลียงแบบสกรูเกลียว หรือ ระบบนิวเมติก ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

2.12.2 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการทำแห้งโดยการทำให้ของแข็งกลายเป็น ไอ โดยไม่ละลาย หรือเรียกว่า การระเหิด โดยน้ำกาแฟจะถูกทำให้แข็งอย่างช้าๆ ในอุปกรณ์แช่แข็งทั่วไป จากนั้นจึงทำการระเหิดภายใต้ความดัน 610 PA และร้อน โดยไอที่เกิดขึ้นจะถูกดูดกลับไปควบแน่นในคอยล์เย็น การทำแห้งขั้นสุดท้ายจะรวมถึงการทำแห้งแบบระเหยด้วย กาแฟจำเป็นที่จะต้องอยู่ในสภาพที่คล้ายโฟมเพื่อป้องกันการเกิดผลึกคล้ายแก้วของวัตถุดิบที่แช่แข็ง

2.12.3 การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง

การทำแห้งแบบนี้ไม่เป็นที่นิยมมาก ในขณะนี้ เนื่องจากการทำแห้งจะทำให้มีน้ำกาแฟ ต้องสัมผัสกับลูกกลิ้งรูปทรงกระบอกที่ร้อนจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 การทำผงกาแฟให้เป็นก้อน (Agglomeration)

วิธีการนี้เป็นวิธีการทำให้คุณสมบัติการละลายของกาแฟสำเร็จรูปดีขึ้น โดยขบวนการนี้ทำให้ผงมาจับตัวกันเป็นก้อนมากขึ้น มีรูพรุน น้ำหนักมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อการกระจายตัวของวัตถุดีขึ้น หลักในการทำการรวมตัวเป็นก้อน

การทำให้เปียก ในขั้นตอนนี้อุณหภูมิจะถูกทำให้ผิวนอกเปียกอย่างสม่ำเสมอ โดยการใช้ตัวทำ Equilibration อุณหภูมิที่เปียกขึ้นจะถูกเก็บในเครื่องมือที่ทำให้เกิดความชื้นเกิดการสมดุลแล้วละลายที่เหมาะสม เช่น น้ำ อาจอยู่ในรูปของไอน้ำหรืออยู่ในรูปละอองน้ำเล็ก ๆ ก็ได้ หลังจากนั้นอุณหภูมิจะถูกทำให้รวมกันเป็นก้อนเม็ดเล็ก ๆ การทำแห้งก้อน เม็ดเล็ก ๆ ที่ได้จะผ่านไปยังเครื่องทำแห้งเพื่อลดความชื้นลงให้เหลือในระดับที่ต้อง การได้การทำให้เย็นลงเป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่ง Agglomerated Material ที่ได้จะถูกทำให้เย็น แล้วนำมาแยกขนาดตามความต้องการ แล้วบรรจุเก็บพวกที่มีขนาดเล็กจะถูกนำกลับไปทำใหม่อีกครั้งหนึ่ง (นนท์ และคณะ, 2551)

2.14 การบรรจุกาแฟสำเร็จรูป

กาแฟจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องปิดผนึก ด้วยกระดาษเคลือบ แวกซ์หรือกระดาษที่หุ้มด้วยพอลิเอทิลีนนิยมติดแน่นพร้อมทั้งใช้ระบบสุญญากาศเข้าช่วยความชื้นต่ำ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการบรรจุด้วย ถ้าบรรจุด้วยอากาศปกติ ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนร้อยละ 20 กาแฟผงจะเกิดเพื่อป้องกันการเข้าของออกซิเจน ในการเก็บรักษากาแฟสำเร็จรูป ความชื้นของกาแฟมีความสำคัญมาก ถ้าหากกาแฟมีความชื้นสูงจะเสื่อม คุณภาพเร็วกว่ากาแฟที่มีการเสื่อมเสียเร็ว เพราะออกซิเจนมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจนของกาแฟด้วย (นนท์ และคณะ, 2551)

2.15 สารช่วยทำแห้ง

สารช่วยทำแห้ง เป็นสารที่ถูกใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อลดการเหนียวติดบนผนัง chamber และมีการไหลของอนุภาคผงได้อย่างอิสระมากขึ้น สามารถแบ่งตามลักษณะหน้าที่ออกเป็น 4 ประเภท คือ สารช่วยดูดซับ สารเพิ่มความยืดหยุ่น สารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มปริมาณ ดังตารางที่ 2.5 ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทำแห้ง ที่เติมเพิ่มลงไปในการป้อนก่อนเข้าสู่เครื่องอบแห้ง ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมอาหารจะใช้ มอลโตเดกซ์ตริน

ตารางที่ 2.5 ชนิดและตัวอย่างของสารช่วยทำแห้ง

ชนิดสารช่วยทำแห้ง	ตัวอย่าง
สารช่วยดูดซับ	aerosil, avicel, PH102
สารเพิ่มความยืดหยุ่น	polyethylene glycol 400 (PEG400)
สารเพิ่มความคงตัว	polyvinylpyrrolidone (PVP K30), polyvinyl alcohol (PVA), arabic gum, pectin
สารเพิ่มปริมาณ	lactose, maltodextrin, Magnesium stearate

สารช่วยทำแห้งที่ใช้ในอาหาร จะมีอยู่หลายชนิด ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างบางชนิดเท่านั้น ได้แก่ มอลโตเดกซ์ตริน สารละลายน้ำตาลกลูโคส แมกนีเซียมสเตียเรต และไฮโดรคอลลอยด์

2.15.1 มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin)

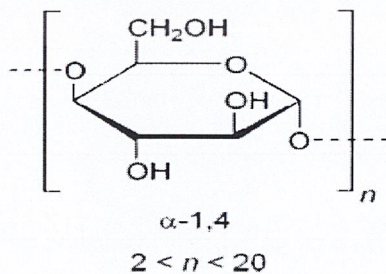
แป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต Maltodextrin ที่มีค่าสมมูลเด็กซ์โตรสต่ำ คือ 5 10 15 และ 20 ได้โดยการใช้เอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์ Termamyl และ Ban (Novo Nordisk, Denmark) โดยเอนไซม์ทั้งสองจะมีกิจกรรมสูงเมื่อทำงานในภาวะที่มีความเป็นกรดค้างอยู่ในช่วงที่เป็นกลางหรือกรดเล็กน้อย (5.0 ถึง 7.0) แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ทั้งสองจะแตกต่างกัน คือที่อุณหภูมิ 95 และ 75 องศาเซลเซียส สำหรับ Termamyl และ Ban ตามลำดับ เมื่อทำการย่อยแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยใช้เอนไซม์ทั้งสองพบว่า สามารถผลิต Maltodextrin ที่มีค่าสมมูลเด็กซ์โตรสตามต้องการได้ โดยใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยต่างกัน ผลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเอนไซม์ทั้งสองมีค่า DE ใกล้เคียงกัน แต่จะมีองค์ประกอบของน้ำตาลแตกต่างกันเล็กน้อย โดย Maltodextrin ที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์ Termamyl จะมีการกระจายตัวของขนาดโมเลกุลของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในช่วงที่แคบกว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้โดยใช้เอนไซม์ Ban เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่มีค่า DE เท่ากัน นอกจากนี้ Maltodextrin ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์ Ban จะมีสัดส่วนของโมเลกุลที่มีขนาดเล็กสูงกว่าที่เตรียมได้โดยใช้เอนไซม์ Termamyl ด้วย อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่มีค่า DE 5 ถึง 15 จากเอนไซม์ทั้งสองมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส (DP = 1) ต่ำกว่าร้อยละ 1 ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการของ Maltodextrin และเมื่อเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของน้ำตาลของ Maltodextrin ที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง กับผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่ง พบว่า Maltodextrin ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์ Ban และที่ได้จากแป้งข้าวโพด จะคล้ายคลึงกันและมีสัดส่วนของโมเลกุลที่มีขนาดเล็กสูงกว่าที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เอนไซม์ Termamyl และ Maltodextrin ที่เตรียมจากแป้งมันฝรั่งจะมีโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ในสัดส่วนที่มากกว่า จากลักษณะน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของ Maltodextrin ต่างกัน มีผลทำให้สมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ได้แตกต่างกัน ที่สำคัญได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความหนืด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบ โดย Maltodextrin ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เอนไซม์ Ban จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมากกว่าตัวอย่างที่ได้จากเอนไซม์ Termamyl ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดเล็กในสัดส่วนที่มากกว่า อย่างไรก็ตามสมบัติส่วนใหญ่ของ Maltodextrin ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เอนไซม์ Termamyl และ Ban จะใกล้เคียงกัน และคล้ายคลึงกับตัวอย่างทางการค้าที่เตรียมได้จากแป้งข้าวโพดมากกว่าแป้งมันฝรั่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนืดของสารละลาย Maltodextrin ซึ่งมีลักษณะเป็นของไหลแบบ Newtonian โดยที่ Maltodextrin ที่เตรียมได้จากแป้งมันฝรั่งจะมีค่า Consistency coefficient (K) สูงกว่าผลิตภัณฑ์ Maltodextrin ที่มีค่า DE เท่ากันที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพด (บริษัทกรีนวัลฟู้ด)

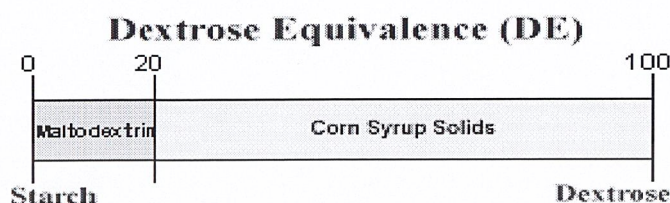
2.15.2 โครงสร้างมอลโตเด็กซ์ตริน

Maltodextrin เป็นโพลีแซคคาไรด์ ถูกใช้เพื่อเป็น Food Additive ได้จากการไฮโดรไลซิสแป้ง ประกอบด้วย D-glucose (dextrin) หนึ่งหน่วยต่อกันเป็นลักษณะโซ่ยาวดังรูปที่ 2.7 โดยความยาวสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ หน่วยของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันแบบพันธะ $\alpha(1 \rightarrow 4)$ Maltodextrin มีส่วนประกอบที่เป็นต้นแบบที่เกิดการรวมกันของสายโซ่ที่เปลี่ยนกลูโคสจากสามไปยังสิบเก้าหน่วยความยาว



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ตริน

Maltodextrin ถูกแบ่งประเภทโดย ค่า DE (dextrose equivalent) และมีค่า DE ถึง 20 หรือสูงกว่า โดยส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 5 ถึง 20 ถ้าสูงกว่า 20 ทาง European Union's CN จะเรียกว่า กลูโคสไซรัป (วิกกีพีเดีย) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงค่า Dextrose Equivalence (DE)

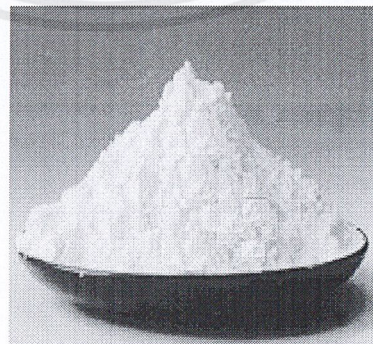
บนพื้นฐานจากการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างจากแป้ง ในอาหารต่าง ๆ โดยปฏิกิริยา hydrolysis ของแป้งใช้เพื่อเป็นกระบวนการของแป้ง Dextrose Equivalence (DE) บอกระดับปริมาณที่วัดของระดับการ hydrolysis แป้งโพลีเมอร์ ซึ่งเป็นการวัดปริมาณของพลังงานที่ลดลงเมื่อเทียบกับ dextrose standard ที่ 100 ระดับของผลกระทบที่เกิดการ hydrolysis เป็นคุณสมบัติในการทำงานของ maltodextrin (MD) และ corn syrup solids (CSS) ที่ค่า DE สูง ๆ จะดีมีการเพิ่มขึ้นของการ hydrolysis และมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่อคุณสมบัติในการทำงาน ซึ่งความสามารถในการละลายนี้ขึ้นกับค่า DE และชนิดของอาหารที่จะนำมาใช้ นอกจากนี้มอลโตเด็คซ์ตรินยังมีสมบัติให้ลักษณะความเป็นเนื้อ (Body) แก่ผลิตภัณฑ์ ลักษณะทางกายภาพจะเป็นผงสีขาว ร้อน และมีความหวานเล็กน้อย ดังรูปที่ 8 โดยอยู่ในรูปของผงแห้งมากกว่าในรูปของสารละลาย ซึ่งมีความชื้นน้อยกว่า 5 % นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ คือ ช่วยในการเก็บรักษากลิ่นได้ เมื่อนำสารนี้ไปละลายน้ำอาจได้สารละลายใสหรือขุ่นขึ้นกับชนิดที่นำมาใช้ และสามารถละลายในอาหารที่เป็นของเหลวเช่น ซุป น้ำผลไม้ ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติพิเศษของมอลโตเดกซ์ตริน

SPECIFICATIONS OF MALTODEXTRIN

Sl.No	Parameters	Unit	Standard Specifications
1	Description	-	White to slightly cream powder
2	Reconstitution	-	Limpid to slightly opalescent without sediment – up to 40% in hot water
3	Enzymatic activity	-	Absent – alpha amylase
4	Moisture	%	5 max
5	PH	-	4-7
6	Dry substance	%	95
7	Dextrose equivalent	%	12-22
8	Ash	%	0.5 max
9	Starch	%	Negative – iodine test
10	Bulk density	g/cc	0.3 – 0.5
11	Microbial limits		
a	Total bacterial count	CFU/g	10,000
b	Salmonella	CFU/g	Nil
c	E.coli	CFU/g	Nil
12	Solubility	%	98 min

Note: Standard DE value is DE 8-10 . DE 10- 15 . DE 15 -20 .



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะทางกายภาพของมอลโตเดกซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 ปฏิกิริยาเมลลาร์ด

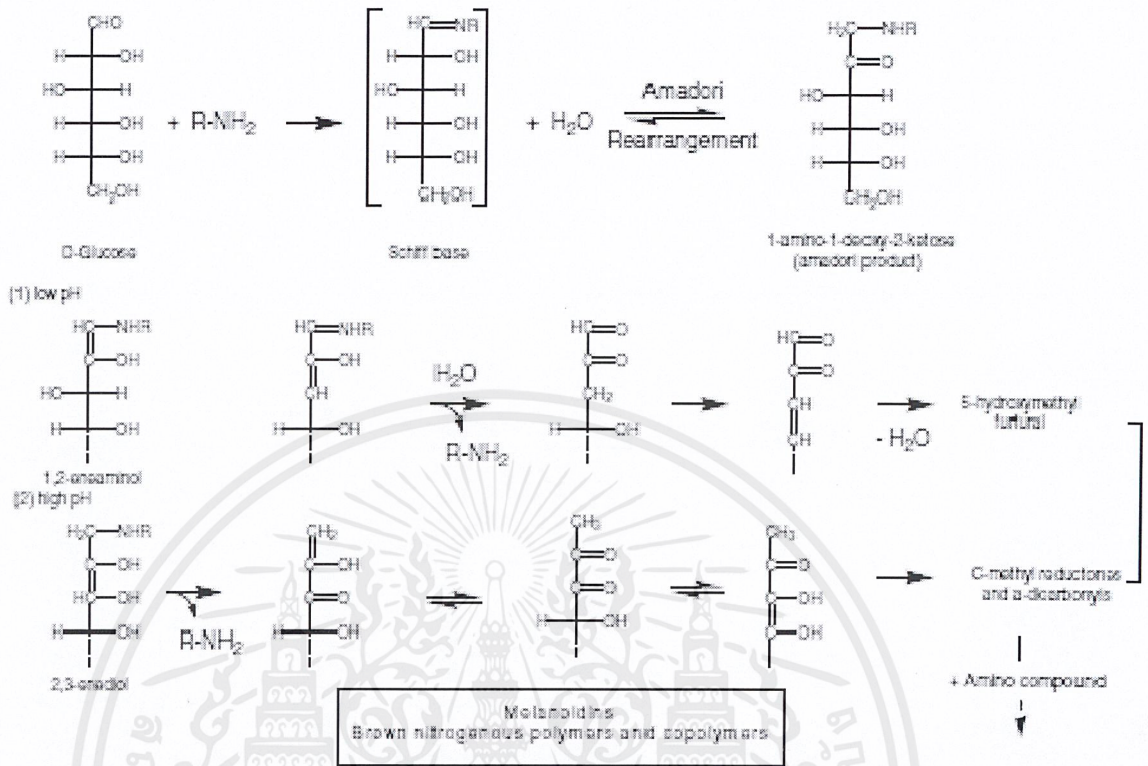
ปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นปรากฏการณ์ทางเคมีที่ทำให้เกิด nonenzymatic browning ซึ่งต่างจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ ดังรูปที่ 2.11

ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด มีดังนี้

1. น้ำรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดส จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน
2. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมินเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมิน (imines หรือ Schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (aldoseamine) หรือ คีโตสเอมีน (ketoseamine) เรียกว่า Amadori products เช่น 1-อะมิโน – 1-ดีออกซี – คีโตส ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ เมื่อมี pH 5 หรือ ต่ำกว่า (รูปที่ 10.3)
3. เกิดปฏิกิริยา enolization ของ Amadori products ได้เป็นไดคีโตสเอมีน หรือโคอะมิโนซูการ์ เช่น 3-ดีออกซีเฮกโซซูลอส
4. เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซซออนุพันธ์ฟูแรน คือ 5-ไฮดรอกซีเมทิล – 2-ฟอรัลดีไฮด์ (5-hydroxymethyl-2-furaldehyde หรือ HMF)
5. อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดพอลิเมอร์ได้อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า เมลานอยดิน (melanoidins) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยา โมลต่อ โมล (mole per mole reaction) ดังแสดงในรูปที่ 10.3 ดังนั้น ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด จึงมีทั้งพอลิเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายในน้ำ ถ้าพบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซิง กรดอะมิโน โปรตีน หรือ สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ อยู่รวมกันและได้รับความร้อน เช่น การเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ขนมอบ ปฏิกิริยายังมีความสำคัญต่อการทำคาราเมล ทอฟฟี่ และซ็อกโกแลตนม เป็นต้น

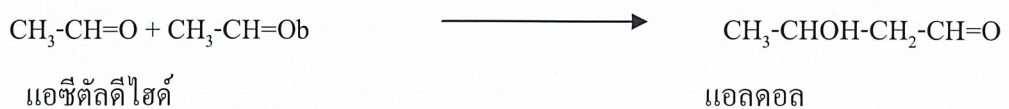
ข้อเสียของปฏิกิริยาเมลลาร์ด คือทำให้กรดอะมิโนไลซีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นทั้งที่อยู่ในรูปอิสระและที่เป็นองค์ในโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลง ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบนี้จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย นอกจากนี้หากเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูงและได้รับความร้อนสูงด้วย โปรตีนที่แตกตัวที่เกิดขึ้นจะเป็นสาร heterocyclic amine ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของน้ำตาลฟรักโท จะเกิดปฏิกิริยาไดแอนไฮไดรด์ (dianhydrides) และเกิดสีน้ำตาลในภายหลังเช่นเดียวกัน สารอินเทอร์มีเดียตของปฏิกิริยา คือ ไดออกซีแอลโดซูโลส (deoxyaldosulose) ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็น 5-ไฮดรอกซีเมทิล-2-เฟอรัลดีไฮด์ ปฏิกิริยาเริ่มต้นจะเป็น sugar enaliation หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสารอินเทอร์มีเดียต คือ ไดออกซีแอลโดซูโลส ก่อนที่จะเปลี่ยนต่อเป็นกรดแซ็กคารินิก (saccharinic acid)แทนที่จะเป็นเฟอรัลดีไฮด์ และเมื่อได้รับความร้อนต่อไปอีกจะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันได้สารสีน้ำตาล ซึ่งทั้งสองกรณีที่เกิดขึ้นโมเลกุลของน้ำตาลจะสลายตัวและสูญเสียน้ำเพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบคีโตน เฟอร์เรน แอซีทัล (acetals) กรดอินทรีย์และเอสเทอร์ ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้เกิดกลิ่น และเมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะกลายเป็นสารสีน้ำตาล กลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เป็น แอลดอลคอนเดนเซชัน (aldol condensation) ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลมีได้มากมาย โดยใช้ pathway ต่างๆ สารที่เกิดขึ้นเช่น รีดักโตน (reductones) คือออกซีเฮกโซโซน(deoxyhexosones) และเพอร์ลิตไฮด์ เช่น กลิ่นของผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการคั่วหรืออบ สารให้กลิ่นที่เกิดขึ้นจะเป็นไพราซีน (pyrazines) และอิมิดาโซล (imidazoles) ดังนั้น สารที่ให้และรสชาติซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของสารประกอบคาร์บอนิลกับเอมีน จึงค่อนข้างจะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของเอมีนที่จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลด้วย

สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหาร ถ้ามีแอมโมเนียอิสระจะทำให้ปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลก่อน ส่วนหมู่เอมีนอาจได้มาจากกรดอะมิโน เปปไทด์ โปรตีน และวิตามินบี 1 หรือไทอะมิน หากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง จะทำให้ได้สารสีน้ำตาลเข้มและจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาคาร์บอกรีชันของกรดอะมิโนด้วย ซึ่งเรียกว่า strecker degradation โดยกรดอะมิโนจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบ ไดรคาร์บอนิล

Strecker aldehydes ที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนคาร์บอนน้อยกว่ากรดอะมิโน 1 อะตอม สารที่เกิดขึ้นจะมีบทบาทต่อกลิ่นและรสชาติของอาหารเท่ากับสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบอื่นๆ เช่น เป็นสารให้กลิ่นในขนมปัง ถั่วลิสง และโกโก้ เป็นต้น

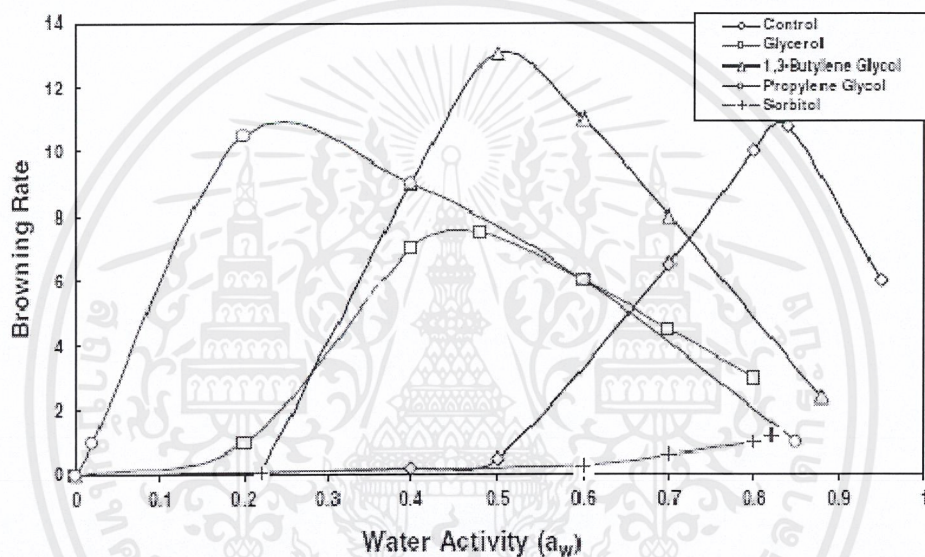
สารประกอบคาร์บอนิลและเอมีนที่มีความคงตัวต่ำและสลายได้ง่าย จึงเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ที่อุณหภูมิห้อง เช่น ระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงสูงจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้อย่างรวดเร็ว น้ำตาลเพนโทสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลเฮกโซส และน้ำตาลเฮกโซสจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าน้ำตาลรีดิวซิงที่เป็นไดแซ็กคาไรด์ น้ำตาลอนรีดิวซิง เช่นน้ำตาลซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาได้ภายหลังถูกไฮโดรไลซ์ เป็นน้ำตาลรีดิวซิงแล้ว สำหรับน้ำตาลรีดิวซิงแต่ละชนิด น้ำตาลฟรักโทสเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด ส่วนน้ำตาลแอลโดเฮกโซสแต่ละชนิดการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด น้ำตาลแมนโนส > กาเล็คโทส > กลูโคส

ชนิดของกรดอะมิโนก็มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ด กรดอะมิโนชนิดแอลฟา (α -amino acids) เช่น ไกลซีนจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วที่สุด เมื่อกรดอะมิโนมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาช้าลง สำหรับกรดอะมิโนชนิดโอเมก้า (ω -amino acids) จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้เร็วขึ้นเมื่อความยาวในสายโมเลกุลเพิ่มขึ้น เช่น ออร์นิตินเกิดได้รวดเร็วกว่าไลซีน สำหรับกรดอะมิโนที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีน หมู่เอมีโนในโมเลกุลของไลซีนจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่สุด กรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นด่าง เช่น ไลซีน และกรดอะมิโนที่เป็นอนุพันธ์เอไมด์ เช่น แอลพาราจินและกลูตามีนจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรดอะมิโนที่มีสมบัติเป็นกรดและเป็นกลาง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

อัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นภาวะที่สารมีความเข้มข้นสูง และอุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุด เนื่องจากเกิด autocatalytic อัตราเร็วของปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10°C ถ้าในอาหารมีน้ำตาลฟรักโทสจะทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 5-10 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10°C และเพิ่มเร็วขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำตาลมากขึ้น ความเข้มข้นของสีน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะแปรผันตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูป 2.12



รูปที่ 2.12 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด

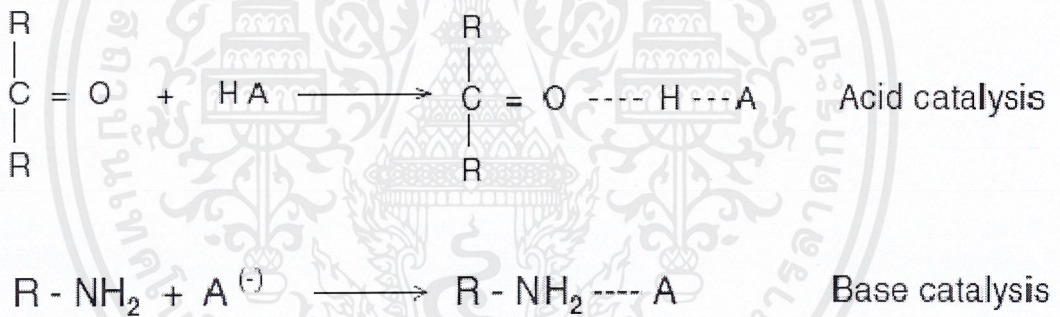
(food cem) น้ำหรือ a_w ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด เช่นในภาวะแห้งน้ำตาลกลูโคสกับกรดอะมิโนในไกลซีน จะคงตัวและไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดถึงแม้จะมีอุณหภูมิสูงถึง 50°C ก็ตาม แต่เมื่อมีน้ำเพียงเล็กน้อยปฏิกิริยาเมลลาร์ดก็จะเกิดขึ้นทันที ดังนั้นที่อุณหภูมิต่ำการเกิดปฏิกิริยานี้จึงขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนรูปของน้ำตาลเป็นรูป reactive aldehyde แต่ที่อุณหภูมิสูง การสูญเสีย น้ำออกจากโมเลกุลของน้ำตาลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เพราะทำให้มีน้ำเกิดขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะช้าลงอีกครั้งเมื่อมีปริมาณน้ำมากจนทำให้สับสเตรตเจือจางลง ซึ่งปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับปฏิกิริยาสีน้ำตาล คือ ปริมาณ 30 %

น้ำมีสมบัติในการเป็นตัวควบคุม liquid phase viscosity, dissolution, concentration และ dilution ของตัวทำปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาอยู่ในรูป exponential curve ค่า a_w ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งหลังจากนั้น เมื่อ a_w มีค่าเข้าใกล้ 1 จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดลดลง เพราะทำให้เกิดการเจือจางของ aqueous phase

น้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลต่ำหรือมีจำนวนคาร์บอนอะตอมน้อยกว่า จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากกว่าน้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลสูงหรือจำนวนคาร์บอนอะตอมมากกว่า เนื่องจากความเครียดระหว่างโมเลกุล (steric hindrance) ต่างกัน น้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลต่ำหรือมีจำนวนคาร์บอนอะตอมน้อยกว่า จะมีความเครียดระหว่างมวลโมเลกุลน้อยกว่าจึงเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่า ส่วนน้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลสูงหรือมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมากกว่า เช่น aldohexoses และ monosaccharides จะเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่า disaccharides และ oligosaccharides และโดยทั่วไป aldoses จะเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่า ketoses เพราะ ketoses มีโครงสร้างของ carbonyl group ที่เครียดมากกว่า

สภาพการเป็นกรดจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากเพิ่ม polarity ที่ carbonyl group ในทางตรงกันข้าม สภาวะเบสจะเพิ่ม polarity ที่ amino group ดังแสดงในรูป



จากรายงานของ Fry and Stegink ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียปริมาณ amino acid จากปฏิกิริยาที่เกิดใน parenteral alimentary solution พบว่าเวลา อุณหภูมิ และ electrolytes มีผลต่อปฏิกิริยา

Labuza พบว่าการทำปฏิกิริยาของโปรตีนและน้ำตาลเป็นแบบ first order reaction การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะแปรผันไปตามเวลา แต่การเกิด browning จะเป็น zero order reaction สีที่เข้มขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ผ่านไป

Fry and Stegink พบว่า การเติม electrolytes จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมากกว่าสารที่ไม่เติม electrolytes

Fry and Stegink ได้ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของกรดอะมิโน จำนวน 14 ชนิด ใน parenteral nutrition solution ได้แบ่งกลุ่มของกรดอะมิโนตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็น 3 กลุ่ม คือ

1.กลุ่มที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมาก ได้แก่ tryptophan nutrition และ aliphatic hydroxyside chain amino acid (serine, threonine)

2.กลุ่มที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดปานกลาง ได้แก่ hydrophobic side chain amino acid (valin, isoleucine, leucine)และ secondary amine (proline)

3.กลุ่มที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดน้อย ได้แก่ lysine, arginine, alanine, phenylalanine, histinine, methionine, glycine

ออกซิเจนไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากออกซิเจนจะช่วยออกซิไดส์สารอื่นให้เป็นรูปที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้จึงเกิดขึ้นได้ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนแร่ธาตุที่มีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด ได้แก่ ไอออนทองแดง เหล็ก และสังกะสี

2.17 Glass Transition

2.17.1 คุณสมบัติของ Glass Transition

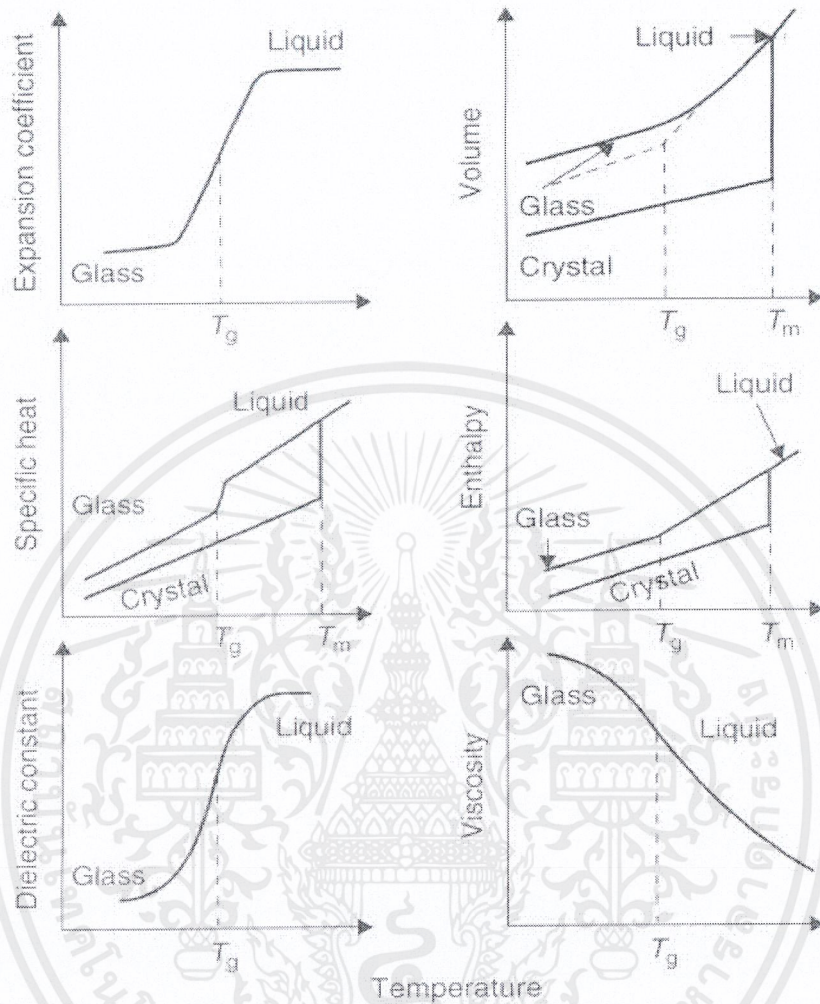
Glass Transition เป็นการเปลี่ยนจากสถานะทางกายภาพของวัสดุ ออสัญฐาน (amorphous) ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การเปลี่ยนรูปจากของแข็งที่เป็น nonequilibrium ไปเป็นสถานะของเหลวหนืด (rubbery, leathery และ syrup เป็นต้น) จะเกิดขึ้นระหว่างการทำให้เย็นลง ขณะที่น้ำถูกทำให้เย็นจัดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งที่ตำแหน่งสูงจนเปลี่ยนเป็นแก้วถึง nonequilibrium สถานะ glassy ของแข็ง, Glass Transition มีการสังเกตพบบ่อย ๆ ว่า ที่อุณหภูมิประมาณ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ภายใต้อุณหภูมิหลอมละลายที่สมดุล (T_m) ของสสาร crystalline ใด ๆ อย่างไร การเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีความหมายระหว่างความแตกต่างของย่านอุณหภูมิที่สังเกต T_g และ T_m ค่าอัตราส่วน T_m/T_g เป็นตัวแปรที่มีประโยชน์มากสำหรับใช้อธิบายลักษณะของวัสดุที่เป็น noncrystalline

Glass Transition มีผลกระทบที่สำคัญต่อ relaxation time ของความแตกต่างที่หลากหลาย ในคุณสมบัติวัสดุ การเปลี่ยนแปลงความจุความร้อน ΔC_p หรือความจุความร้อนจำเพาะ Δc_p และที่มีความสัมพันธ์กับการผ่อนคลายอื่น ๆ ส่วนใหญ่ กับ Glass Transition ที่เกิดขึ้น บนย่านอุณหภูมิ ในความกว้างของการเปลี่ยนส่วนมากจะมีความแตกต่าง เมื่อส่วนประกอบอาหารต่างชนิดกัน ในตัวอย่างนี้ ย่านอุณหภูมิที่ใช้งาน คือ $10\text{-}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ไปเป็นน้ำตาลอสัญฐานมวลโมเลกุลต่ำมาก เนื่องจากว่า ความกว้างของการเปลี่ยนในโปรตีนและโพลีเมอร์คาร์โบไฮเดรต เป็นแป้ง และ gluten อาจจะขยายออกไปถึงจำนวน 10 เท่า (ระดับความแตกต่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

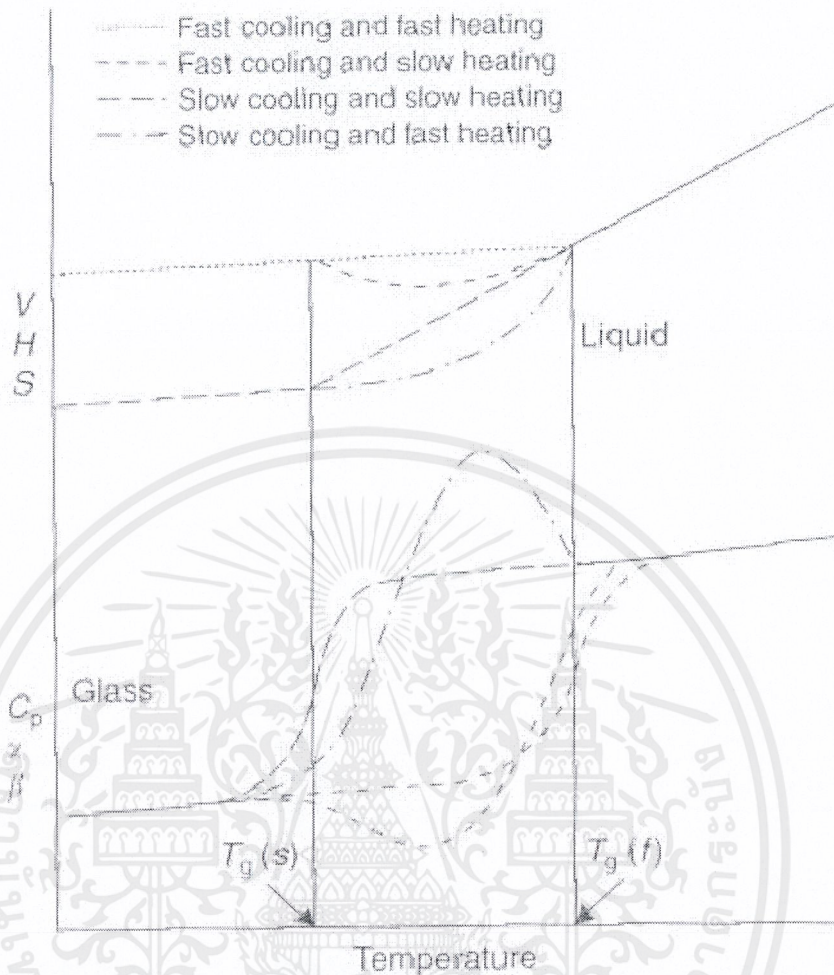
การหาค่าที่แม่นยำที่สุดของ Glass Transition ของวัสดุ polymeric คือได้มาโดยการทำให้เย็นลงของสิ่งที่หลอมละลายที่อัตราเร็วจำเพาะ และการที่จะหาค่าการเปลี่ยนอุณหภูมิ ที่มีการใช้ ความจุความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การขยายออกหรือการวัดการบีบอัด ดังรูปที่ 3.4 ถึงอย่างไรก็ตาม ไม่ใช่ความเป็นไปได้เสมอสำหรับวัสดุอาหารซึ่งก็สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มากมาย โดย น้ำและในบางเหตุการณ์ทำให้การแยกออกเป็น ส่วน ๆ ภายใต้อุณหภูมิหลอมละลาย ยิ่งกว่านั้น การทำให้เย็นลงแบบแตกต่างกันและอัตราความร้อนที่ให้แตกต่าง ค่า T_g จะเปลี่ยนแปลงสำหรับทุก ๆ ระบุรูปร่างอสัญฐาน รวมถึงอาหาร ที่แสดงดังรูปที่ 3.5 และการเปลี่ยนอุณหภูมิที่อยู่ภายในย่าน อุณหภูมิบางที่ถูกทำไปใช้เป็นเกณฑ์ที่แตกต่างกัน ทำให้เงื่อนไขมีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน การทำให้เกิด T_g โดย Thermal history ซึ่งเป็นสิ่งที่ขาดการสนใจบ่อย ๆ แต่ hysteresis ใน Glass Transition สามารถถูกใช้ในการเพิ่มข้อมูลใน Thermal history ของวัสดุ Glasses สามารถที่จะถูกหลอมให้อ่อนตัวแล้วเย็นลงเมื่อได้รับ Glassy solids ที่ชนิดแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะให้การดูดซับความร้อนที่แตกต่างกันและการผ่อนคลาย enthalpy ซึ่งดูดซับความร้อนรอบ ๆ Glass Transition และการผ่อนคลายในคุณสมบัติเทอร์โมไดนามิกส์อื่น ๆ ถึงอย่างไรข้อมูลเล็กน้อยที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เกี่ยวกับผลกระทบของความร้อนและ moisture history บน สภาพแวดล้อมและการผ่อนคลายของ ส่วนประกอบอสัญฐาน Glass transition temperature เดียว ๆ ให้อุณหภูมิอ้างอิงสำหรับย่าน อุณหภูมิ Glass Transition แต่เวลาการผ่อนคลายที่อุณหภูมินั้น บางทีอาจจะขึ้นอยู่กับความแปรปรวนบนวิธีการและเกณฑ์การหาค่าของมัน

ผลกระทบที่สำคัญที่สุดของ Glass Transition ในคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอาหารคือการเพิ่มขึ้นในการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเหนือกว่า Glass transition ในสภาวะ rubbery สิ่งนี้อาจจะมีผลกระทบต่ออัตราเร็วของความแตกต่างทางกายภาพที่แตกต่างกันและการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เสื่อมโทรมทางเคมี ดังนั้นอาหารที่มีรูปร่างอสัญฐานต่าง ๆ ต้องดำเนินการและเก็บรักษาในสภาวะ Glassy ของตัวมันเอง เพื่อให้คงคุณภาพและหลีกเลี่ยงความเสื่อมคุณภาพเร็ว



รูปที่ 2.13 การนำเสนอ Schematic ของผลกระทบ glass transition บนค่าคงที่ dielectric, ความร้อนจำเพาะ, ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวความร้อน, ความหนืด, เอนทาลปี, และปริมาตร เมื่อ glass อัสัญฐาน ถูกให้ความร้อนจนเกินขอบเขต glass transition temperature ของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ผลกระทบของ thermal history บน β ค่าสัมประสิทธิ์การบีบอัดความร้อน, α ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวความร้อน, C_p ความร้อนจำเพาะ, S เอนโทรปี, H เอนทาลปี และ V ปริมาตร บนค่าเหล่านี้ที่ขอบเขต glass transition temperature และการสังเกตผลกระทบ thermal hysteresis ที่เป็นไปได้ขณะที่ glass ถูกให้ความร้อนจนเกิน glass transition temperature ของมัน ทำให้เกิดอัตราการทำให้เย็นลงและร้อนขึ้น เหมือน ๆ กัน โดยไม่ทำการสังเกต hysteresis แต่ค่า T_g ถูกใช้ในการหาค่าอัตราที่ช้าหรือเร็ว บางทีกลายเป็นความแตกต่างเล็กน้อย ๆ การทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วเป็น glass กับปริมาตรเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานระหว่างความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จน สูงกว่าขอบเขต T_g การทำให้เย็นดังลงอย่างช้า ๆ ทำให้เกิดการก่อรูปร่างของ glass สภาพพลังงานต่ำและต้องการพลังงานมากเป็นพิเศษ ขณะที่ความร้อนสูงกว่าขอบเขต T_g การสังเกตขนาด endotherm ในเส้นโค้ง DSC มีการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ การอ่อนตัวลงเพิ่มขึ้น หรือเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

aging ภายใต้ glass transition temperature (Adapter from Weitz A and Wunderlich B. J Polym Sci Polym Phys 12, 2473-2491, 1974. With permission)

2.17.2 ทฤษฎีของ Glass Transition

ทฤษฎี free – volume

กฎพื้นฐานของทฤษฎีนี้ คือ ช่องว่างหรือโพรง ที่ทำให้มีการเคลื่อนที่ของมวลโมเลกุลได้ง่าย ในสภาพความจุที่ยอมรับให้มวลโมเลกุลเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งอื่น ๆ ระหว่างช่องว่าง ทฤษฎี free – volume ซึ่งถูกใช้เป็นครั้งแรกในการบรรยายที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการเปลี่ยนรูปร่าง second – order ใน polymers (Shen and Eisenberg, 1967; Tant and Wilke, 1981; Sperling, 1992) การบรรยายนี้เป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์ของวัสดุอาหารอสัญฐาน

ทฤษฎี free – volume ยอมรับว่า glass transition temperature ที่สามารถเข้าใจได้ว่าเป็นอุณหภูมิ ที่ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวความร้อนของวัสดุ ถูกปรับเปลี่ยน ยิ่งถ้าเป็นจริงกว่านั้น free volume (ปริมาตรอิสระ) ของวัสดุอสัญฐานเป็นค่าคงที่ที่ glass transition (Sperling, 1992) ทฤษฎีนี้ได้ถูกใช้ประโยชน์จากตัวแปรพารามิเตอร์เดี่ยว ๆ ปริมาตรอิสระ V_f ในการเพิ่มเติมอุณหภูมิ และความดัน ไปยังการบรรยายสภาวะอสัญฐานที่เป็น nonequilibrium ซึ่งสามารถให้คำจำกัดความที่ยอมรับในสมการ 1 ปริมาตรที่ยุ่งยาก V_0 ประกอบด้วยปริมาตรภายในแรงแวนเดอร์วาลส์ และ ปริมาตรที่เกี่ยวข้องกับการสั่นมวลโมเลกุล

$$V_f = V - V_0 \quad (1)$$

โดยที่ V คือ ปริมาตร macroscopic (ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า) ของวัสดุ และ V_0 คือปริมาตรยุ่งยากโดยโมเลกุล

ปริมาตรอิสระที่เป็นเศษส่วน (ส่วนย่อย) f คือ นิยาม โดยสมการที่ 2 และสามารถเป็นไปได้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับ glass transition temperature ที่เป็นที่ยอมรับในสมการที่ 2.1 ปริมาตรอิสระเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องถึงการขยายตัวความร้อนของวัสดุ

$$f = \frac{V}{V_f} \quad (2)$$

$$f = f_g + \alpha(T - T_g) \quad (2.1)$$

โดยที่ f_g คือ fractional ปริมาตรอิสระที่ T_g และ α_f เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายปริมาตรอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรอิสระ คือ การทำให้ได้สัดส่วนไปยังอินเวสชันน้ำหนักโมเลกุล และ plasticizers น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดังเช่น น้ำในวัสดุอาหารสัตว์ ปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้น (Slade and Levine, 1990, 1991; Sperling 1992) ทฤษฎี free – volume ได้มีการนำไปใช้ประสบความสำเร็จในการทำนายการเปลี่ยน เอนทัลปี หรือ การผ่อนคลาย (relaxations) เอนทัลปี ที่ T_g เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงใน thermal history

Free Volume and Molecular Mobility (ปริมาตรอิสระ และการเคลื่อนโมเลกุล)

Williams et al. (1955) ได้ค้นพบจำนวนหลักฐาน วัสดุรูปร่าง glass เกือบจะเปลี่ยนแปลงเป็นสากลในช่วงเวลาการผ่อนคลาย (relaxation time) ใน glass transition เหล่านั้น การค้นพบนี้ทำให้รู้จักมากขึ้น หากว่าการทดลอง Williams – Landel-Ferry (WLF) ดังสมการที่ 2.2 ซึ่งช่วงเวลาการผ่อนคลายมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเชิงกล ไปถึงการอ้างอิงที่สูงกว่าอุณหภูมิ Glass transition temperature จากการศึกษาต่อมา สมการ WLF ได้รับมาจากเทอร์โมไดนามิกส์ (Shen and Eisenberg, 1967; Ferry, 1980; Tant and Wilkes, 1981) และยิ่งไปกว่านั้นยังได้รับจากทฤษฎี free – volume (Bauwens, 1986; Sperling, 1992)

Williams et al. (1955) ความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของช่วงเวลาการผ่อนคลาย A_t , ที่การสังเกตอุณหภูมิ θ , ไปยังช่วงเวลาการผ่อนคลายที่อุณหภูมิอ้างอิง θ_0 ดังสมการที่ 2.2

$$A_t = \frac{\theta}{\theta_0} \quad (2.2)$$

A_t แสดงถึง ความสัมพันธ์ไปยังจำนวนของปริมาณที่ขึ้นอยู่กับเวลา ที่ Glass transition และ อุณหภูมิอื่น ๆ (Sperling, 1992) ความสัมพันธ์ปริมาณที่ถูกใช้มากที่สุดไปยังการเปลี่ยนแปลง free – volume มากกว่า Glass transition คือความหนืด η , Williams et al. (1955) ได้แนะนำสมการ 2.3 ที่สามารถนำมาใช้ได้กับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงเวลาการผ่อนคลาย ตัวอย่างเช่น ความหนืดเหนือ Glass transition

$$A_t = \frac{-C_1(T-T_0)}{C_2 + (T-T_0)} \quad (2.3)$$

โดยที่ C_1 และ C_2 คือค่าคงที่ , T คืออุณหภูมิจากการสังเกตและ T_0 คืออุณหภูมิอ้างอิง

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับเวลาของจำนวนวัสดุรูปร่าง glass อนินทรีย์และอินทรีย์ที่แสดงนั้น เมื่อ Glass transition temperature, T_g ได้ถูกนำไปเป็นอุณหภูมิอ้างอิง C_1 และ C_2 นั้นเป็นค่าที่นิยมใช้ อยู่ที่ -17.44 และ 51.6 ตามลำดับ (Williams et al, 1955) ค่านี้ได้ถูกนำมาใช้บ่อย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ๆ ถึงรูปแบบช่วงเวลาการผ่อนคลายมากกว่า Glass transition temperature การใช้ค่าที่นิยามนี้ยังไม่แนะนำโดย (Williams et al, 1955) และอาจไม่แนะนำให้นำมาใช้ในระบอบอาหาร (Peleg, 1992)

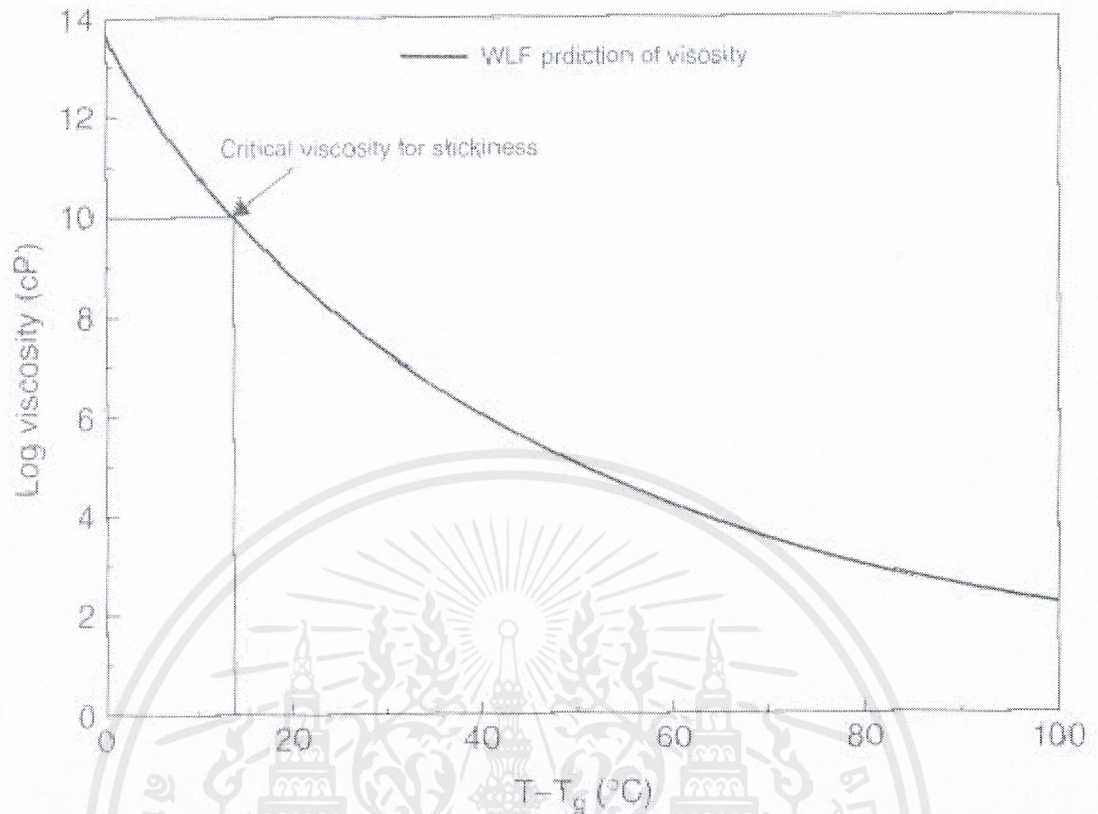
ทฤษฎี free – volume มีความสัมพันธ์คงที่ของสมการ WLF ไปยังเศษส่วนปริมาตรอิสระและการขยายตัวความร้อน ดังนั้น ตามทฤษฎีจากสมการ WLF สามารถนำมาเขียนในรูปแบบของสมการ 2.3

$$\ln A_T = \frac{-(B/f_0)(T - T_0)}{f_0/\alpha_f + (T - T_0)} \quad (2.4)$$

โดยที่ B เป็นค่าคงที่, f_0 เป็นเศษส่วนอิสระที่ T_0 และ α_f เป็นค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของปริมาตรอิสระ

ตั้งสมการที่ 2.4 เมื่อ glass transition temperature ถูกใช้เป็นอุณหภูมิอ้างอิงกับค่าคงที่สากลใน WLF ปริมาตรอิสระที่ glass transition ของหลาย ๆ polymer คือ 2.5 % (Sperling, 1992)

สมการ WLF สามารถเขียนให้อาศัยอุณหภูมิของความหนืดที่สูงกว่า T_g (Soesanto and Williams, 1981 ; Angell et al., 1982) การทำให้ความเหนียวลดลงที่สูงกว่า T_g ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ค่าคงที่ที่นิยามใช้ WLF ถูกนำมาใช้เป็นแบบจำลองเวลาไปยังการตกผลึกของน้ำตาลอสัญฐาน ที่สูงกว่า T_g ของมัน โดย Roos and Karel (1990, 1991a) การนำสมการ WLF ไปใช้โดยทำการประมาณย่านอุณหภูมิจาก T_g ถึง $T_g + 100^\circ\text{C}$ ภายใต้อุณหภูมิ T_g และสูงกว่า $T_g + 100^\circ\text{C}$ ประเภท Arrhenius ที่ถูกนำไปใช้โดยอาศัยอุณหภูมิลบ ๆ การเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงมากของคุณสมบัติเชิงกลเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงถึง $T_g + 50^\circ\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 อาศัยคุณสมบัติของความหนืดวัสดุตั้งฐานที่สูงกว่า glass transition temperature นั้น ขณะที่ใช้การทำนายของ Williams-Landel-Ferry สมการที่ 2.3 (Williams et al, 1955) สมการนี้จะถูกนำมาใช้ประจำในช่วงอุณหภูมิของ T_g ถึง $T_g + 100$ °C (Downton et al., 1982) การรายงานความหนืดภายใต้ 10^{10} cP นำไปสู่การเกิดความเหนียวของวัสดุที่ระเหยน้ำ ความหนืดของวัสดุตั้งฐานที่ถูกให้ความร้อนจนสูงกว่า glass transition temperature ของมัน ถึง 10^{10} cP ในบริเวณใกล้เคียงจุดสุดท้ายของการเปลี่ยนสภาพ

บทที่ 3

อุปกรณ์และการทดลอง

ในการศึกษาการหาสถานะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

3.1 วัสดุที่ใช้ศึกษา

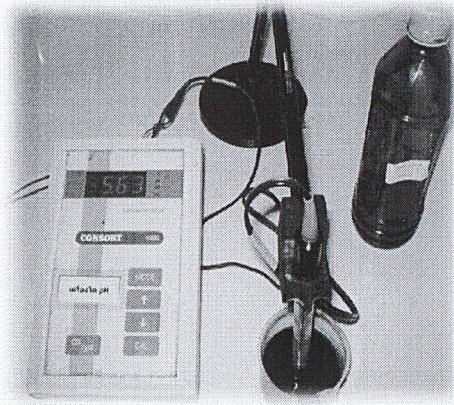
1. น้ำกาแฟพันธุ์ โรบัสต้า ที่ผ่านการสกัดแล้วที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 18 Brix โดยได้รับการอนุเคราะห์จาก บริษัท กรีนวันฟู้ด จำนวนทั้งสิ้น 40 ลิตร
2. มอลโตเด็คซ์ตริน (Maltodextrin) DE 10 ได้รับการอนุเคราะห์จาก บริษัท กรีนวันฟู้ด จำนวนทั้งสิ้น 8 กิโลกรัม

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

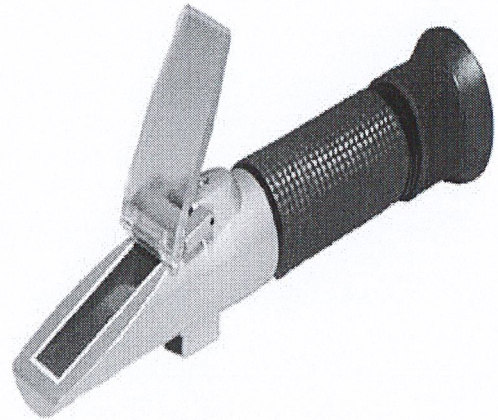
1. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) JCM รุ่น minilab SDE-10
2. ปั่นลม
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
4. รีแฟกโตมิเตอร์ (Refractometer)
5. เครื่องวัดอุณหภูมิ
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก
7. เครื่อง ซีล (Seal)
8. ตู้แช่แข็ง
9. เต้าแก๊ส
10. หม้อและทัพพีสแตนเลส
11. ถังฟอยล์

3.3 การเตรียมวัสดุศึกษา

กาแฟที่ผ่านการสกัดเรียบร้อยแล้วนำมาเก็บรักษาในตู้แช่เย็น ที่อุณหภูมิ 5 °C ก่อนนำมาทำการทดลองจะมีการตรวจวัด ค่า pH และความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำกาแฟ



รูปที่ 3.1 เครื่องวัด pH



รูปที่ 3.2 refractometer

3.4 การเตรียมอุปกรณ์

3.4.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

เตรียมอ่างควบคุมอุณหภูมิ เพื่อนำกาแฟที่สกัดจากโรงงาน มาผสมกับมอลโตเด็กซ์ทริน ก่อนนำไปทำแห้ง ตั้งค่าอุณหภูมิของอ่างน้ำ ให้ได้ค่าอุณหภูมิตามต้องการ คือ 30 °C, 40 °C และ 50 °C ตามลำดับ



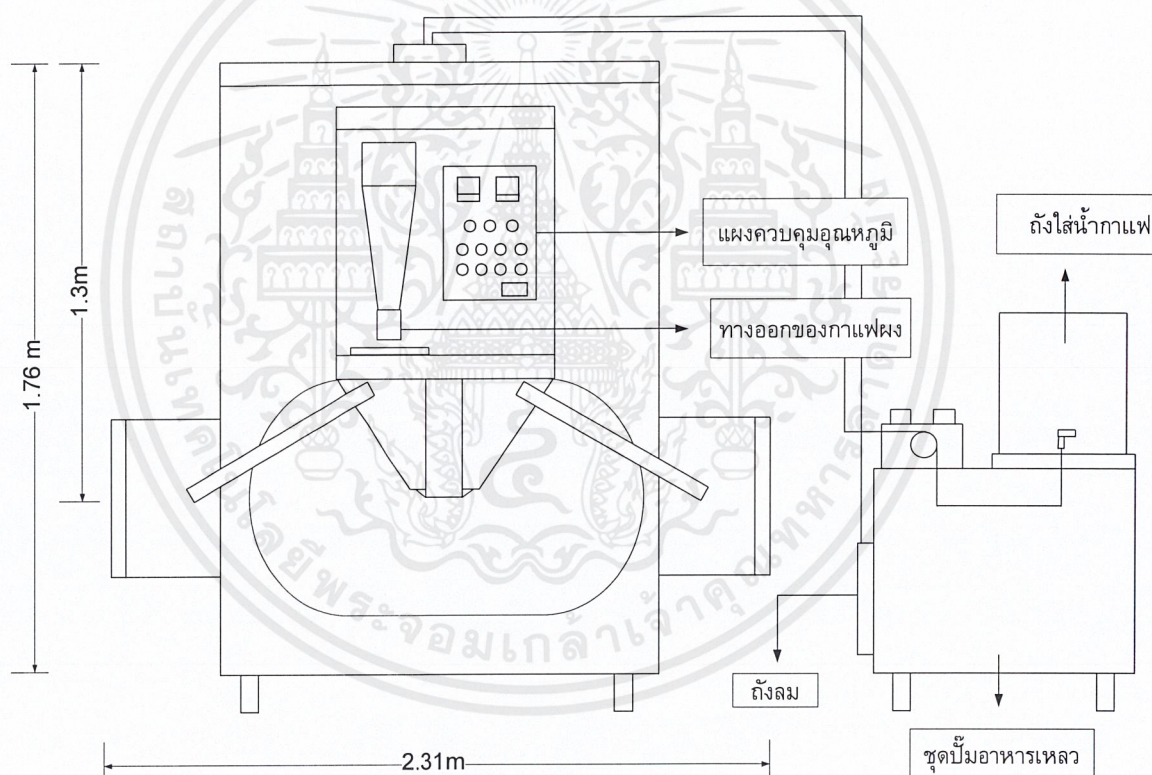
รูปที่ 3.3 Water bath

3.4.2 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบไปด้วยภาชนะทำแห้ง (Drying chamber) จะมีลักษณะเป็นกระบอกสูงและเป็นส่วนที่จะมีการถ่ายเทความร้อนกับละอองของสารละลาย หัวฉีด (Atomizer, Nozzle) ทำหน้าที่ฉีดสารละลายให้เป็นละอองฝอย โดยการทดลองนี้จะเลือกใช้หัวฉีดแบบ Two fluid nozzle ที่อัตราการป้อน 10 ลิตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เตรียมน้ำกาแฟที่มีความเข้มข้น 18 Brix
2. ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทำแห้งให้เรียบร้อย ก่อนเปิดเมนสวิตช์
3. ปรับอัตราการไหลและอุณหภูมิลมร้อน รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่
4. เริ่มทำการเปิดปั๊มป้อนอาหารเหลว เริ่มต้น ให้ทดลองป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่อง โดยค่อยๆเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจนกระทั่งได้ค่าอัตราการไหลตามต้องการ ใช้หัวฉีดที่ความดันลมที่ 0.35 MPa
5. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องทำแห้งมีค่าคงที่ จากนั้นจึงเริ่มป้อนน้ำกาแฟที่เตรียมไว้เข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
6. ในขณะที่ทำแห้ง สังเกตการณ์ทำงานของปั๊มลมที่ส่งไปกระแทกผนังของห้องทำแห้งเป็นระยะ อย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการสะสมผลิตภัณฑ์ผงที่บริเวณผนังห้องทำแห้ง



รูปที่ 3.4 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

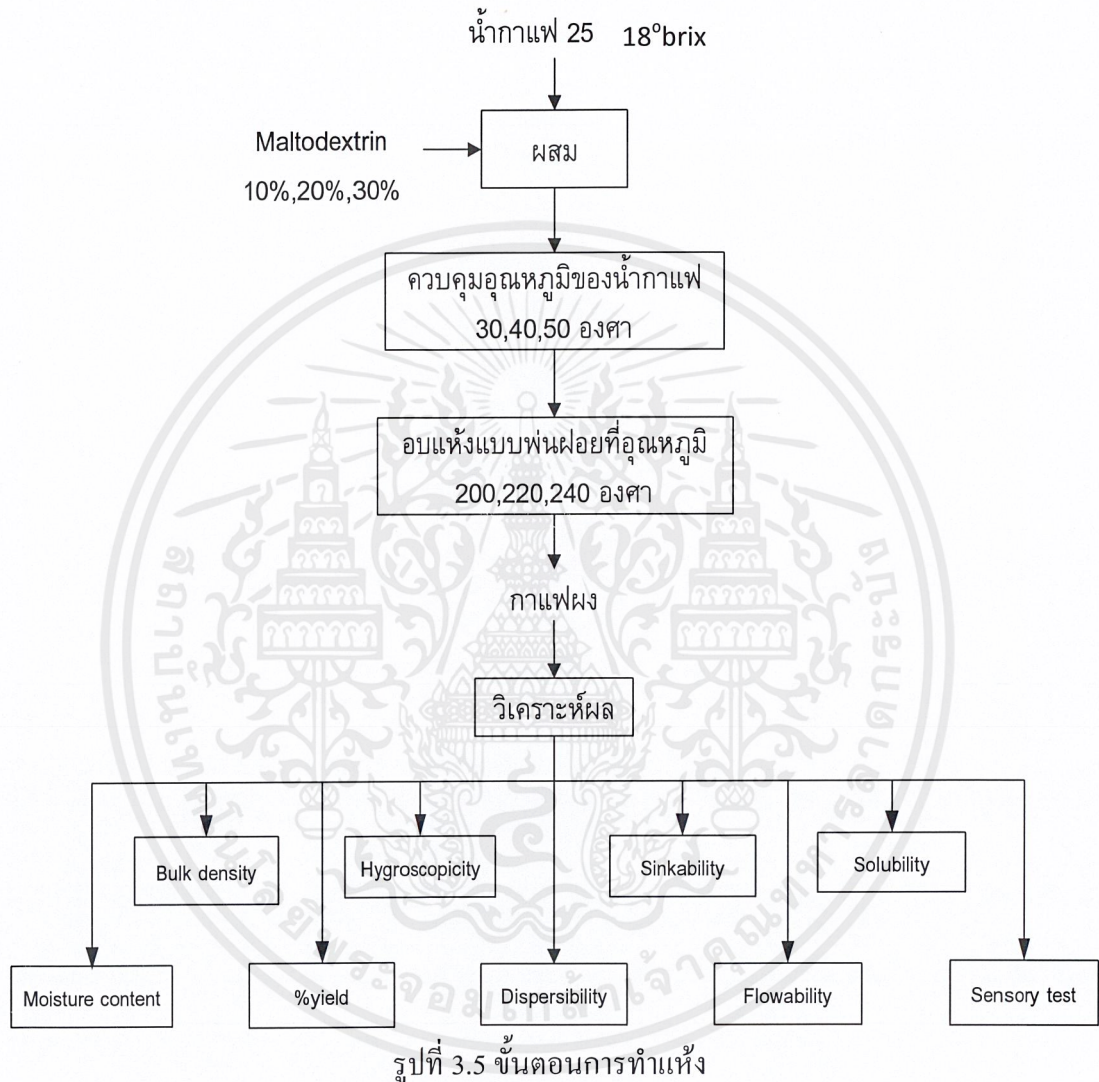
3.5 วิธีการทดลอง

ในการทำการทดลองมีตัวแปรต้นที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ อัตราส่วนปริมาณ มอลโตเด็คทินต่อปริมาณน้ำกาแฟ และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง

1. เตรียมน้ำกาแฟที่มีความเข้มข้น 18 Brix
2. ผสมมอลโตเด็คทินตามตารางแผนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปิดอ่างควบคุมอุณหภูมิ ปรับค่าอุณหภูมิตามตารางแผนการทดลอง
4. เปิดเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ปรับค่าอุณหภูมิตามตารางแผนการทดลอง
5. เมื่ออุณหภูมิของน้ำกาแฟและอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนน้ำกาแฟ
6. เก็บผลิตภัณฑ์แห้งทั้งหมดซึ่งน้ำหนักและบรรจุใส่ถุงพอยล์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผล



3.6 การวิเคราะห์คุณลักษณะของกาแฟผง

3.6.1 ความชื้น (Moisture content) (Anon, 1995)

เครื่องมือ

1. ถ้วยออลูมิเนียม
2. เดซิเคเตอร์ (Desiccator) หรือ โถดูดความชื้น
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. ตู้อบสูญญากาศ (Vacuum oven)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Vacuum oven

การวิเคราะห์

นำผงตัวอย่าง 3 กรัม ไปชั่งน้ำหนักหลังจากนั้นนำไปอบใน Vacuum oven ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักหลังอบ ทำซ้ำจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสมการ

$$\% \text{ moisture} = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_1 - m_0}$$

เมื่อ

m_0 = น้ำหนักถ้วยและฝา (g)

m_1 = น้ำหนักถ้วย ฝา และน้ำหนักก่อนอบ (g)

m_2 = น้ำหนักถ้วย ฝา และน้ำหนักหลังอบ (g)

3.6.2 ความหนาแน่นโดยรวม (bulk density)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ถ้วยหรือภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน

การวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยหรือภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน
2. ใส่ตัวอย่างให้เต็มภาชนะแล้วปิดออก
3. คำนวณค่าเพื่อหาความหนาแน่นจาก สมการ

$$\rho = \frac{m}{v}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (Density, g/ml)
 m = น้ำหนักตัวอย่าง (g)
 v = ปริมาตรภาชนะ (ml)

3.6.3 ปริมาณผลผลิตที่ได้ (%yield) (กมลสิทธิ์ และ อรรถพ, 2546)

การวิเคราะห์

เป็นเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาโดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น โดยนำตัวอย่างน้ำกาแฟมาหาความชื้นและนำมาคำนวณจากสมการ

$$\%yield = \frac{W_{CP}}{SS_{CF}} \times 100$$

เมื่อ W_{CP} = อัตราส่วนของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้ง
 SS_{CF} = ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน(g)

3.6.4 คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (hygroscopicity) (Jaya.s and Das.H, 2004)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง
2. ขวดโหล

การวิเคราะห์

นำกาแฟ 1 กรัม ใส่ในขวดโหลที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัว (NaCl) ที่จมน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำผงตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาคำนวณจากสมการ

$$\text{hygroscopicity} = \frac{(b/a)+W_i}{1+(b/a)}$$

เมื่อ b = น้ำหนักของผงที่เพิ่มขึ้น (g)
 a = น้ำหนักของผงก่อนนำไปวัด (g)
 w_i = ปริมาณน้ำอิสระก่อนวัด (%wb)

3.6.5 ความสามารถในการกระจายตัว (dispersibility) (Jaya.s and Das.H, 2004)

เครื่องมือ

1. ตะแกรงที่มีรูขนาด 200 μ
2. บีกเกอร์
3. แท่งคน
4. เครื่องชั่ง
5. Hot oven
6. นาฬิกาจับเวลา
7. เครื่องวัดอุณหภูมิ

การวิเคราะห์

ใช้ผงตัวอย่าง 15 กรัม เติลงในน้ำ 50 กรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C คนกลับไปกลับมา 15 วินาที เทพลงใน sieve ขนาด 200 μ แล้วนำมาคำนวณจากสมการ

$$\text{Dispersibility} = \frac{(w+a)S_p}{a \times S_j}$$

เมื่อ

w = น้ำหนักของน้ำ (g)

a = ผงที่ใช้ทั้งหมด (g)

S_p = เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดในผงตัวอย่าง (%)

S_j = เปอร์เซ็นต์ของแข็งทั้งหมดที่ค้างบน sieve (%)

3.6.6 ความสามารถในการละลาย (Solubility) (กมลกาญจน์, 2543)

เครื่องมือ

1. เครื่อง Magnetic stirrer
2. เครื่องชั่ง
3. บีกเกอร์

การวิเคราะห์

ชั่งน้ำหนักกาแฟผง 3 กรัม ใส่ลงในน้ำปริมาณ 150 ml ที่อุณหภูมิ 60 °C กวนผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic stirrer ที่ความเร็วคงที่ จับเวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างจนสมบูรณ์

$$\text{Solubility} = \text{เวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างจนสมบูรณ์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 Magnetic stirrer

3.6.7 ความสามารถในการจม (Sinkability) (D.H. BULLOCK,1975)

เครื่องมือ

1. กระบอกตวง
2. นาฬิกาจับเวลา
3. เทอร์โมมิเตอร์แบบเสียบ

การวิเคราะห์

เตรียมกาแฟ 2 กรัม ผสมกับน้ำตาลบด 6 กรัม จากนั้นเติมน้ำอุณหภูมิ 80°C ในกระบอกตวง 350 ml จากนั้นใส่ผงกาแฟที่ผสมกับน้ำตาลไว้ แล้วจับเวลาจนกระทั่งผงกาแฟจมถึงก้นกระบอกตวง

Sinkability = เวลาที่กาแฟจมถึงก้นกระบอกตวง

3.6.8 ความสามารถในการไหล (Flowability) (Food Property,2008)

เครื่องมือ

1. แผ่นสแตนเลส
2. ไม้ครึ่งวงกลม
3. เชือก

การวิเคราะห์

การหา Flowability โดยยึดหลักการไหลอย่างอิสระของผงกาแฟบนแผ่นสแตนเลส โดยนำกาแฟใส่บนตำแหน่งกำหนดไว้ จากนั้นอ่านค่าขอมุมที่ผงกาแฟเริ่มมีการไหลลงจากพื้นเอียงแล้วบันทึกผล

Flowability = ค่าขอมุมที่ผงกาแฟเริ่มมีการไหลลงจากพื้นเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.9 ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส (sensory test) (Luciane C.,2001)

ใช้ผู้ชำนาญจาก บริษัทกรีนวันฟู้ดส์ เป็นผู้ทดสอบแล้วเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุดมา 3 ตัวอย่าง เพื่อนำไปให้ผู้ชิมที่ชื่นชอบในการดื่มกาแฟซึ่งเป็นนักศึกษาของคณะวิศวกรรมศาสตร์เป็นผู้ประเมิน ซึ่งจะใช้แบบทดสอบแบบ Hedonic scaling test

เครื่องมือ

1. ใบประเมิน 9 - Point hedonic
2. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์

โดยกำหนดตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 กาแฟจากบริษัท กรีนวันฟู้ด

ตัวอย่างที่ 2 กาแฟที่มี มอลโตเด็กซ์ตริน 10%, อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ 30°C และ อุณหภูมิร้อนชาเข้า 220 °C

ตัวอย่างที่ 3 กาแฟที่มี มอลโตเด็กซ์ตริน 10%, อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ 40°C และ อุณหภูมิร้อนชาเข้า 200 °C

ตัวอย่างที่ 4 กาแฟที่มี มอลโตเด็กซ์ตริน 20%, อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ 40°C และ อุณหภูมิร้อนชาเข้า 220 °C

วิธีวิเคราะห์

1. ตั้งวัตถุประสงค์ในการทดสอบ
2. เตรียมตัวอย่างที่จะทดสอบ ตัวอย่างจะถูกนำเสนอพร้อมกัน และแต่ละตัวอย่างที่นำเสนอจะมีตัวอย่างควบคุม 1 ตัวอย่าง และตัวอย่างทดสอบ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างดังกล่าวจะถูกนำมาใส่หีบห่อซึ่งเป็นจำนวนเลข 3 ตัวก่อน
3. เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นแล้ว จะนำผลที่ได้มาเปลี่ยนเป็นคะแนน โดย 9 คือ ชอบมากที่สุด, 8 คือ ชอบมาก, 7 คือ ชอบปานกลาง, 6 คือ ชอบเล็กน้อย, 5 คือ เฉยๆ, 4 คือ ไม่ชอบเล็กน้อย, 3 คือ ไม่ชอบปานกลาง, 2 คือ ไม่ชอบมาก, 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด
4. วิเคราะห์คะแนนการยอมรับ เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการทำแห้ง

3.7 การวางแผนการทดลองเบื้องต้น

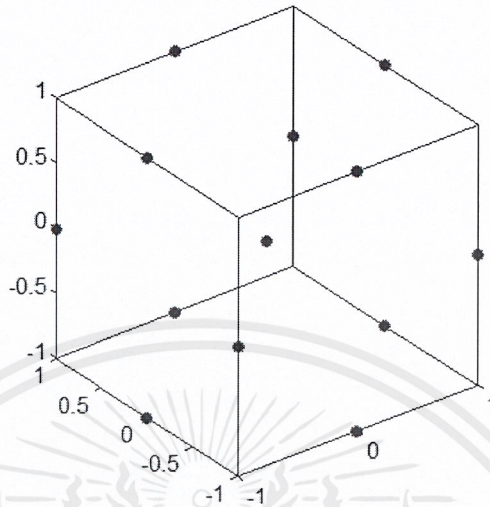
การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น โดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์- เบห์นเคน

(Box – Behnken designs)

เป็นการออกแบบรูปทรงลูกบาศก์จัตุรัสอิสระ จะเป็นการทำงานรวมกันที่มีเป้าหมายเป็น จุดกึ่งกลางของขอบเขตพื้นที่ว่างกระบวนการ และที่ศูนย์กลาง จำเป็นต้องมี ปัจจัยอย่างน้อย 3 ปัจจัย ซึ่งมีประโยชน์เมื่อผู้ทดลองหลีกเลี่ยงการทำงานร่วมกันของตัวแปรที่ห่างกัน คุณสมบัตินี้ทำให้

ข้อเสียลดลงสมรรถภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน

ไม่เป็น Sequential experiment หมายความว่า ถ้าทำ DOE แล้วพบ Curvature ต้องเริ่มต้นทำการ ออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์ - เบห์นเคน ใหม่



รูปที่ 3.8 Box-Behnken Design สำหรับ 3 Factors

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรที่จะศึกษา

ค่าตัวแปรอิสระ(Variable)	สัญลักษณ์	ระดับ		
		-1	0	1
ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (%)	X1	10	20	30
อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ (C°)	X2	30	40	50
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (C°)	X3	200	220	240

จากตารางที่ 3.1 เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 10%, 20%, และ 30% อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟที่ 30°C, 40°C และ 50°C และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 200°C, 220°C, 240°C

3.8 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) JCM รุ่น minilab SDE-10 ออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์เบห์นเคน (Box – Behnken designs) ประกอบด้วย 3 ตัวแปร แบ่งระดับตัวแปรเป็น 3 ระดับ ที่สภาวะต่างกัน ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 15 การทดลองดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์เบห์นเคน (Box – Behnken designs)

การทดลอง	ค่าระดับตัวแปร		
	ปริมาณ Maltodextrin (%), X_1	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ กาแฟสกัด ($^{\circ}\text{C}$), X_2	อุณหภูมิสมร่อนชาเข้า ($^{\circ}\text{C}$), X_3
1	10	40	240
2	20	40	220
3	20	30	240
4	10	50	220
5	30	40	240
6	10	40	200
7	30	50	220
8	20	30	200
9	20	50	240
10	10	30	220
11	20	50	200
12	30	40	200
13	30	30	220
14	20	40	220
15	20	40	220

หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นทั้ง 15 การทดลอง จะนำผลิตภัณฑ์กาแฟผงที่ได้ไปวิเคราะห์หา
คุณลักษณะของกาแฟผง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

ในขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำกาแฟสกัด มีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำกาแฟสกัด (Brix), ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินในน้ำกาแฟสกัด และค่า pH ที่ส่งผลกระทบต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาและพัฒนากาแฟสำเร็จรูปให้มีคุณสมบัติที่ดี ด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงได้ทำการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อกำหนดค่าสภาวะเริ่มต้นของน้ำกาแฟ ก่อนนำไปศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำกาแฟในขั้นตอนต่อไป แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์หัตถุคิบัติเบื้องต้นของน้ำกาแฟก่อนการทำแห้งที่สภาวะต่าง ๆ

No.	MD (%)	Tc (°C)	Ta (°C)	Concentration (° Brix)	pH	Total weight (g) Coffee soln.& Maltodextrin
1	20	30	200	18	5.51	2323.14
2	20	40	220	18	5.43	2341.32
3	30	50	220	18	5.5	2484.82
4	20	30	240	18	5.44	2311.86
5	10	40	240	18	5.79	2078.55
6	30	40	240	18	5.49	2505.48
7	30	30	220	18	5.44	2473.45
8	20	50	240	18	5.43	2295.28
9	20	50	200	18	5.51	2300.37
10	20	40	220	18	5.44	2328.58
11	30	40	200	18	5.45	2419.25
12	10	40	200	18	5.79	2144.40
13	10	50	220	18	5.79	2190.00
14	20	40	220	18	5.68	2331.42
15	10	30	220	18	5.79	2107.72

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าทั้ง 15 สภาวะการทดลองมีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำกาแฟ เท่ากันที่ 18 Brix ส่วนค่า pH จะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 - 6 โดยประมาณ ซึ่งค่า pH ไม่เท่ากันอาจขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเก็บอาจส่งผลต่อค่า pH ของน้ำกาแฟเล็กน้อย ถ้าเก็บไว้นานมีผลทำให้ค่า pH ลดลงเล็กน้อย

4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองการทำแห้งแบบพ่นฝอย เริ่มต้นโดยนำน้ำกาแฟที่ได้จากทางบริษัท กรีนวันฟู้ด มาเตรียมดังตารางที่ 4.1 เพื่อเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น สำหรับสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็น ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

No.	อุปกรณ์		ตัวแปรปรับแต่ง	ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิลมร้อน	ทางเข้า	200 - 240 °C	-
		ทางออก	-	90 °C
2	เครื่องดูดลม (blower)	ความเร็ว	-	2800 Hz
3	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	การปรับค่าการป้อน	-	10 (สเกลที่ปรับค่า)
4	หัวฉีดวัตถุดิบ	ชนิด	-	Two - fluid nozzle
		ทิศทางการทำแห้ง	-	Parallel
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	ใช้ 3 ชุด (1.5, 3, 3 kW)	ควบคุมอัตโนมัติ 1 ตัว
6	ปั๊มลม	ความดันที่ป้อนวัตถุดิบ	-	0.35 MPa

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาแฟผง

จากการดำเนินการทดลองการทำแห้งกาแฟด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามสภาวะดัง ตารางที่ 4.1 เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาแฟผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่าง ๆ

M	Tc	Ta	mc	den	yield	hg	dp	sk	fl	so
20	30	200	2.1262	0.1818	75.1340	1.5025	6.6763	4.28	27.33	48.73
20	40	220	2.0893	0.1673	78.2273	1.4980	5.7822	7.01	34.33	95.94
30	50	220	1.5062	0.1958	78.2281	1.2309	6.4031	3.63	25.67	114.17
20	30	240	2.1677	0.1575	63.3217	1.534	7.4225	4.77	30.33	42.10
10	40	240	2.5921	0.1535	68.2635	1.7179	7.8987	4.89	27.67	48.73
30	40	240	1.5753	0.1645	75.1659	1.2622	5.7621	2.71	28.67	68.53
30	30	220	1.6761	0.2878	65.0800	1.3096	8.8278	5.23	28.67	46.10
20	50	240	2.0670	0.1609	74.8912	1.5515	9.6062	9.73	33.67	67.37
20	50	200	2.1006	0.1962	68.4285	1.5012	5.9107	3.24	27.67	56.20
20	40	220	2.3743	0.1797	84.8950	1.6240	6.4346	7.71	30.33	98.81
30	40	200	1.8675	0.2485	68.4018	1.3964	8.0164	4.91	32.33	40.70
10	40	200	2.6866	0.1660	75.9070	1.7660	9.3986	8.29	26.33	39.23
10	50	220	2.7338	0.1668	58.3448	1.7831	9.9449	6.55	23.33	27.63
20	40	220	2.1718	0.1694	66.3992	1.5322	7.6558	7.94	31.67	81.04
10	30	220	2.5797	0.1525	74.6208	1.7130	7.5146	3.88	20.00	33.87

หมายเหตุ : Ma = Maltodextrin (%), Tc = Coffee temperature (°C), Ta = Air temperature (°C), mc = Moisture content (%), den = Bulk density (g/ml), yield = Yield (%), hg = Hygroscopicity (%), dp = Dispersibility, sk = Sinkability (s), fl = Flowability (Angle), so = Solubility (s)

4.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กาแฟผงที่สภาวะต่าง ๆ

เมื่อนำผลการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ มาวิเคราะห์ผล นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ศึกษา กับตัวแปรที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วย Moisture content, Dispersibility, Hygroscopicity, Solubility, % Yield, Sinkability, Bulk density และ Flowability โดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการ โพลีโนเมียลกำลังสอง ดังนี้

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น (% Moisture content)

ค่าความชื้นที่ได้จากผงกาแฟอยู่ในช่วง 1.51 – 2.73 % wb พบว่าปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่เติมในน้ำกาแฟเพิ่มขึ้นค่าความชื้นจะลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความชื้นกับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ (T_c), ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (M) และค่าคงที่อุณหภูมิร้อน (T_a) สามารถแสดงได้ดังนี้

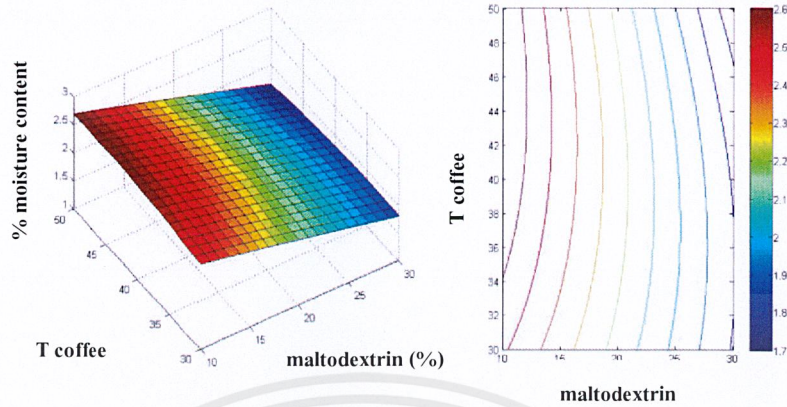
$$mc (\%) = -5.5931M - 2.9033T_c + 0.4455 T_a - 0.0297M^2 - 0.0446T_c^2 - 0.0039T_a^2 + 0.0735T_c + 0.0180T_aM + 0.0228 (T_a)(T_c) + 144.1223 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$R^2 = 0.9647, S.E = 0.1224, p < 0.005$$

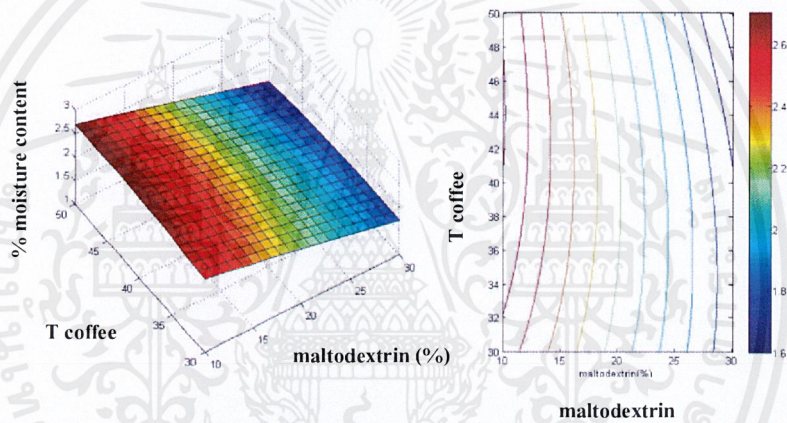
(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง)

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่ออุณหภูมิร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นลดลง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิร้อนขาเข้ามีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลง เนื่องจากอุณหภูมิร้อนขาเข้ามาก จะทำให้อัตราการระเหยน้ำมากขึ้น ทำให้ความชื้นต่ำลง เนื่องจากมอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารช่วยทำแห้ง ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินจะมีผลทำให้ค่าความชื้นลดลง

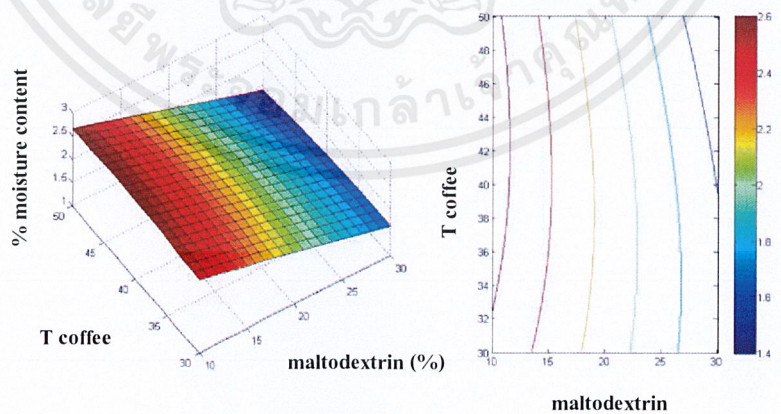
% Moisture content



Hot Air Temperature 200 °C (a)



Hot Air Temperature 220 °C (b)



Hot Air Temperature 240 °C (c)

รูปที่ 4.1 (a) (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์
 ทริน และค่า %Moisture content ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น (Bulk density)

ความหนาแน่นที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 0.15 – 0.29 g/ml พบว่าปริมาณมอลโตเดคซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ที่ค่าปริมาณมอลโตเดคซ์ตรินสูง ๆ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิ น้ำกาแฟเริ่มต้นค่าความหนาแน่นจะลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ (T_c), ปริมาณมอลโตเดคซ์ตริน (M) และค่าคงที่อุณหภูมิมร้อน (T_a) สามารถแสดงได้ดังนี้

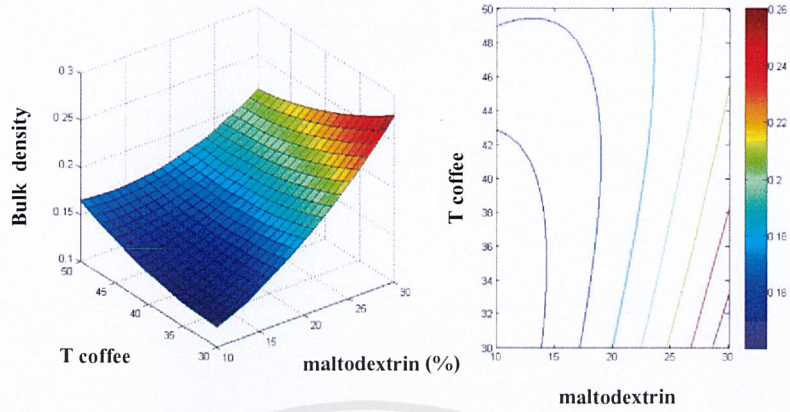
$$\text{den(g/ml)} = 0.02599M - 0.000235T_c + 0.00996 T_a + 0.000188M^2 + 0.000098 T_c^2 - 0.00002T_a^2 - 0.000266 MT_c - 0.000089 T_a M - 0.000014(T_a)(T_c) - 1.0886 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R^2 = 0.8982, S.E = 0.0201, p < 0.05$$

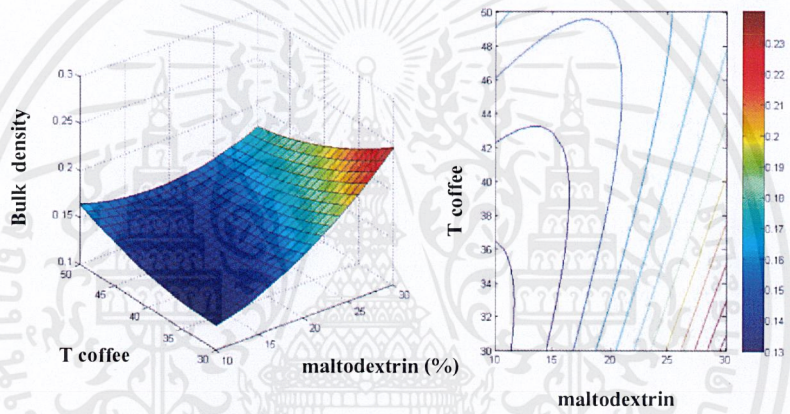
(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง)

จากรูปที่ 4.2 พบว่าผลของอุณหภูมิมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเดคซ์ตรินมีแนวโน้มในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นโดยรวมจะมีค่าลดลง ซึ่งอาจมีผลมาจากขนาดของอนุภาคและความพรุนสูงขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง ในทางกลับกันเมื่อปริมาณมอลโตเดคซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นโดยรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้นความหนาแน่นโดยรวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

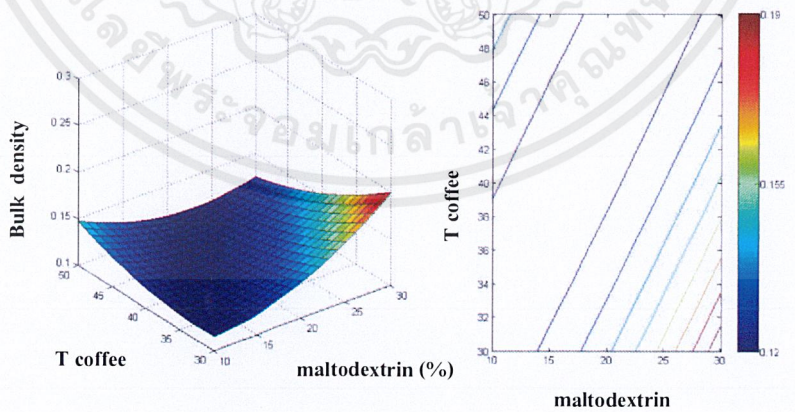
Bulk density



Hot Air Temperature 200 °C (a)



Hot Air Temperature 220 °C (b)



Hot Air Temperature 240 °C (c)

รูปที่ 4.2 (a) (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์

ทริน และค่า Bulk density ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)

ค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 58.34 – 84.89 % พบว่า ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับการเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นน้ำกาแฟ เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่า ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้กับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ (T_c), ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (M) และค่าคงที่อุณหภูมิร้อน (T_a) สามารถแสดงได้ดังนี้

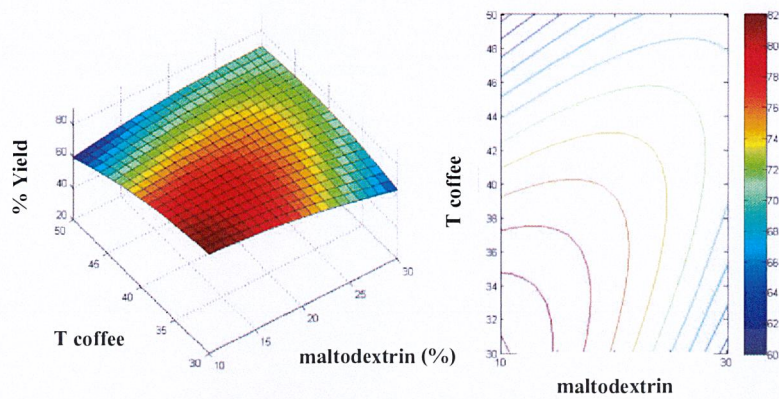
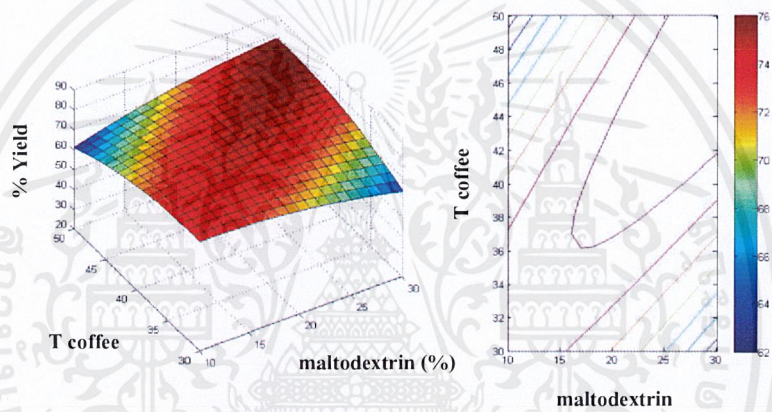
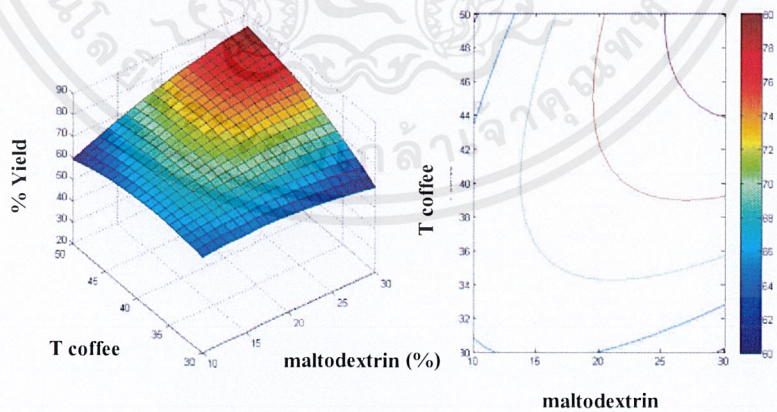
$$\text{yield (\%)} = -5.5931M - 2.9033T_c + 0.4456 T_a - 0.02974M^2 - 0.0446T_c^2 - 0.00399T_a^2 + 0.07356M T_c + 0.018010 T_a M + 0.0228 (T_a)(T_c) + 144.1224 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R^2 = 0.7016, S.E = 6.3394, p > 0.1$$

(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง)

จากรูป 4.3 (a) พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟเพิ่มขึ้นค่า % Yield จะลดลง สำหรับรูปที่ 4.3 (b) เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟเพิ่มขึ้น ค่า % Yield เพิ่มขึ้น แต่ที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินสูงและอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟต่ำ กับปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่ำและอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟสูง จะมีค่า % Yield ต่ำ สำหรับรูปที่ 4.3 (c) เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิร้อนจะมีค่า % Yield สูงขึ้น

ดังนั้น เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมร้อนในการทำแห้งขึ้นค่า % Yield จะเพิ่มขึ้นตามด้วย ดังจะเห็นได้ดังรูปที่ 4.3 (b) และ (c) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิร้อนและอุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้นสูง ผลิตภัณฑ์จะมีความหนืดต่ำ ส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำได้ดีและไม่เกิดการเหนียวติด และที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมากเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้จะมีค่ามากเช่นกัน เพราะมอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารช่วยเพิ่มเนื้อ แต่สำหรับรูปที่ 4.3 (a) กลับพบว่าที่อุณหภูมร้อนต่ำมีค่า % Yield ลดลง อาจมีสาเหตุของการสูญเสียเกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

% Yield**Hot Air Temperature 200 °C (a)****Hot Air Temperature 220 °C (b)****Hot Air Temperature 240 °C (c)**

รูปที่ 4.3 (a) (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์

ทริน และค่า % Yield ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิสมร่อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

ความสามารถในการดูดซับความชื้นที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 1.2309 – 1.7831 % พบว่าปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นจะลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นกับ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ (T_c), ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (M) และค่าคงที่อุณหภูมิความร้อน (T_a) สามารถแสดงได้ดังนี้

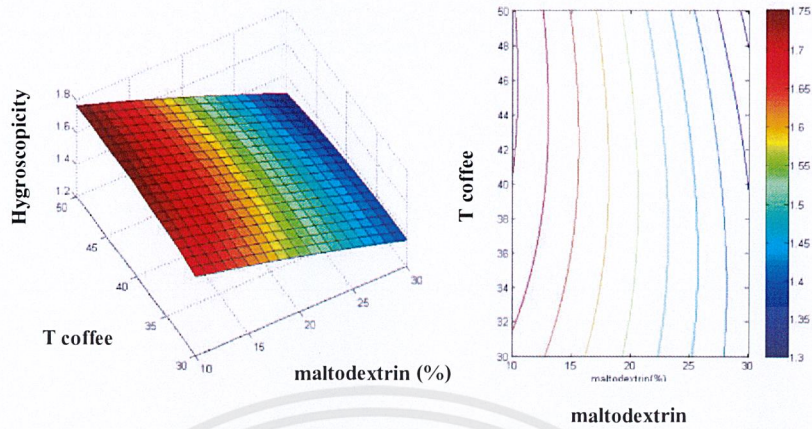
$$\text{Hg}(\%) = 0.0221M + 0.0246T_c + 0.002 T_a - 0.000144M^2 - 0.00028T_c^2 - 0.0000032T_a^2 - 0.000372MT_c - 0.00011 T_a M + 0.000024(T_a)(T_c) + 0.9054 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$R^2 = 0.9547, \text{ S.E} = 0.0623, p < 0.01$$

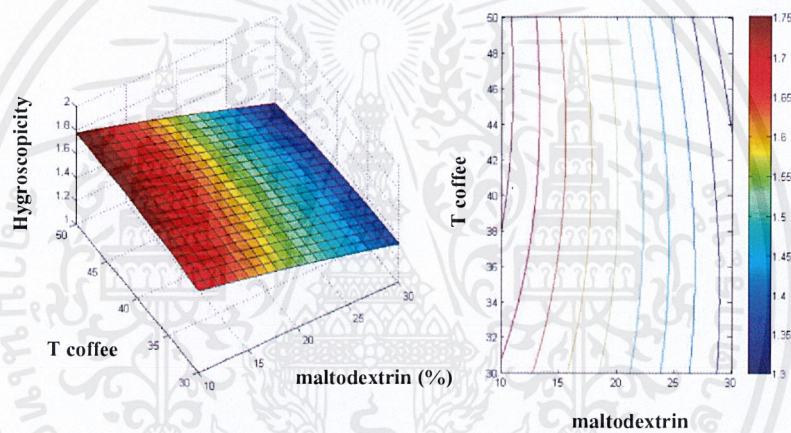
(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง)

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ความสามารถในการดูดซับความชื้นจะลดลงเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิความร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินจะทำให้มวลโมเลกุลของน้ำกาแฟเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่า T_a สูงขึ้น ทำให้อัตราการดูดกลับความชื้นต่ำ ส่วนที่อุณหภูมิร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นลดลง เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิร้อนสูงขึ้น ปริมาณความชื้นจะต่ำลงส่งผลให้อัตราการดูดกลับความชื้นต่ำเช่นกัน

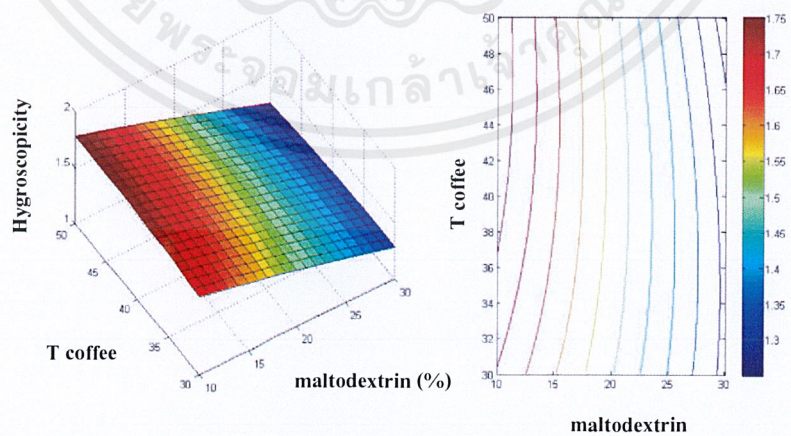
Hygroscopicity



Hot Air Temperature 200 °C (a)



Hot Air Temperature 220 °C (b)



Hot Air Temperature 240 °C (c)

รูปที่ 4.4 (a) (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์

ทริน และค่า Hygroscopicity ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิหม้อร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจาย (Dispersibility)

ความสามารถในการกระจายที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 5.76 – 9.94 เท่า พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่เติมในน้ำกาแฟเพิ่มขึ้นอุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้นและอุณหภูมิร้อนขาเข้าต่ำความสามารถในการกระจายตัวจะเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่ำ, อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้นและอุณหภูมิร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นความสามารถในการกระจายเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความสามารถในการกระจายกับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ (T_c), ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (M) และค่าคงที่อุณหภูมิร้อน (T_a) สามารถแสดงได้ดังนี้

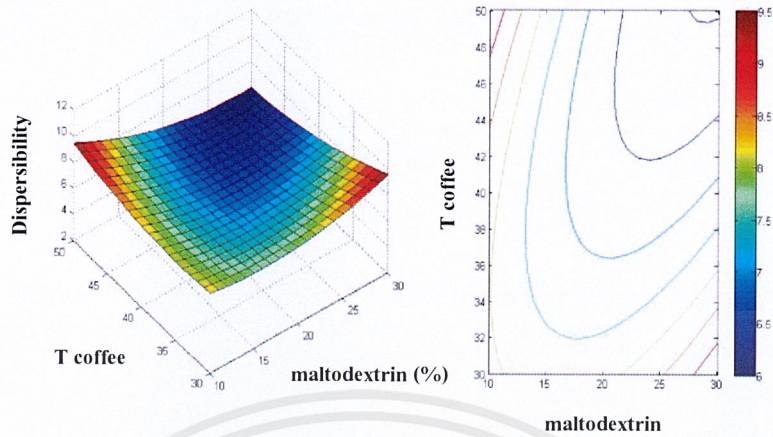
$$dp \text{ (เท่า)} = 0.2384 M - 1.0239T_c - 0.3311T_a + 0.0096M^2 + 0.0059T_c^2 + 0.00047T_a^2 - 0.01214M T_c - 0.000943 T_a M + 0.003687(T_a)(T_c) + 61.033375 \dots\dots\dots (5)$$

$$R^2 = 0.6152, S.E = 1.4604, p > 0.1$$

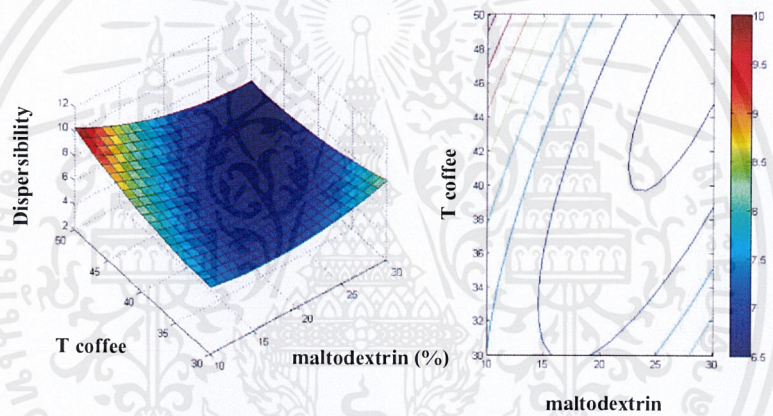
(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง)

จากรูปที่ 4.5(a) พบว่า ที่อุณหภูมิร้อนขาเข้า 200°C ความสามารถในการกระจายตัวจะมีค่ามากใน 2 ช่วงคือ ที่อุณหภูมิของน้ำกาแฟต่ำ ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินมาก เนื่องจากที่สภาวะนี้ น้ำกาแฟจะมีความหนืดมากเมื่อน้ำกาแฟถูกพ่นเป็นละอองฝอยจะมีขนาดใหญ่จึงจมง่ายและกระจายตัวได้ดี และที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินน้อย อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟสูงการกระจายตัวจะเกิดได้ดี เนื่องจากที่อุณหภูมิร้อนขาเข้าสูง ทำให้อุณหภูมิของผงกาแฟมีรูพรุนมากส่งผลให้เกิดการกระจายตัวในน้ำได้ดี ส่วนรูปที่ 4.5 (b) และ (c) พบว่าที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ค่าสูง ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินน้อย ความสามารถในการกระจายตัวในน้ำจะดีที่สุด

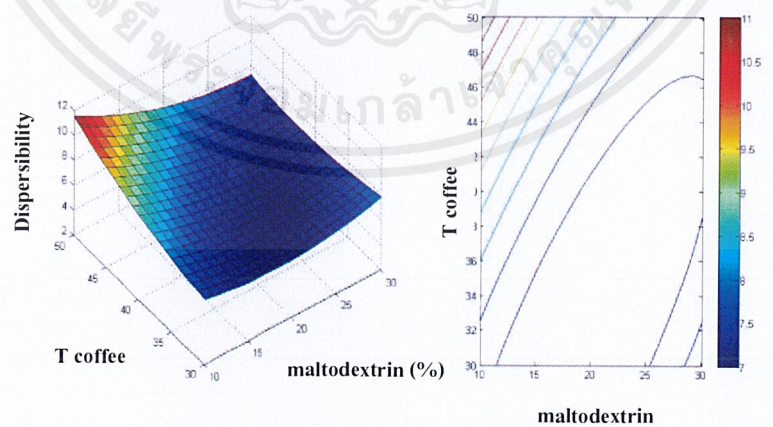
Dispersibility



Hot Air Temperature 200 °C (a)



Hot Air Temperature 220 °C (b)



Hot Air Temperature 240 °C (c)

รูปที่ 4.5 (a) (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์

ทริน และค่า Dispersibility ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ความสามารถในการละลายที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 27.63 – 114.17 วินาที พบว่าปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้นเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสามารถในการละลายลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความสามารถในการละลายกับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ (T_c), ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (M) และค่าคงที่อุณหภูมิสมรือน (T_a) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$so(s) = -2.8132M + 5.4456T_c + 23.3747 T_a - 0.2039M^2 - 0.1609T_c^2 - 0.0556T_a^2 + 0.185775MT_c + 0.022913T_aM + 0.022250(T_a)(T_c) - 2627.4988 \quad \dots\dots\dots (6)$$

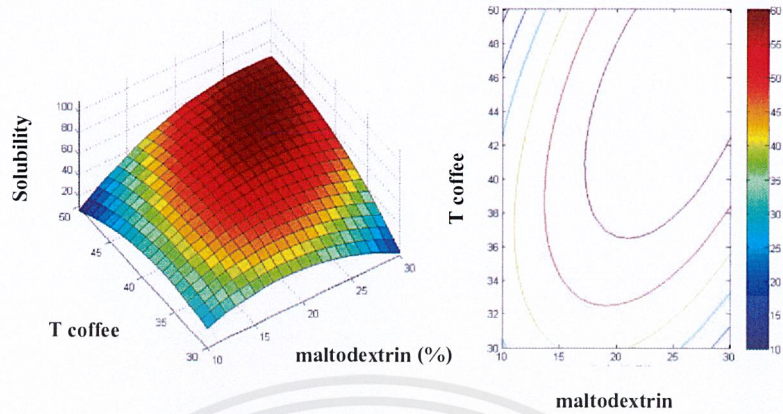
$$R^2 = 0.8779, S.E = 15.3164, p < 0.1$$

(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง)

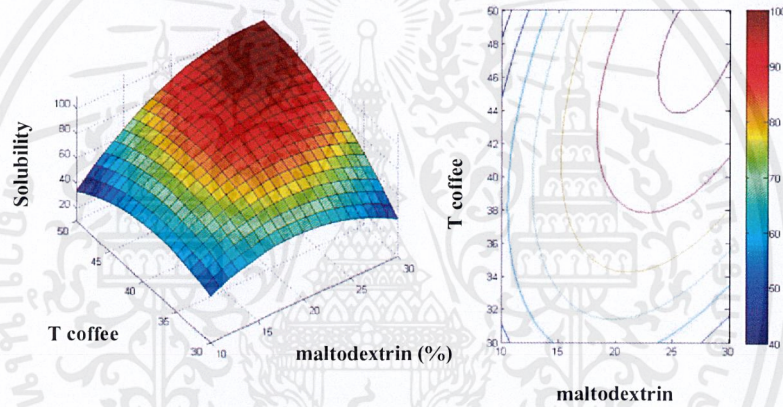
จากรูปที่ 4.6 (a) พบว่ามีค่าความสามารถในการละลายที่ดี เมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่ำ และค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟสูง ซึ่งเป็นสภาวะที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงนี้ กับช่วงที่มีปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน สูงและอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟต่ำ สำหรับรูปที่ 4.6 (b) และ (c) มีสภาวะเดียวกันกับรูป 4.6 (a)

ดังนั้นสภาวะที่มีการละลายดีที่สุดจะอยู่ที่การทำแห้งด้วยอุณหภูมิสมรือนที่ 200 °C ลงลงมาคือที่ อุณหภูมิ 240 °C และที่ละลายได้ช้าที่สุดคือ อุณหภูมิ 220 °C ซึ่งเมื่อเติมปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้น แล้วนำมาทำแห้งทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นน้อยลงใช้เวลาในการละลายมากขึ้น หรือที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่ำจะมีค่าการดูดซับความชื้นสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินต่ำดูดน้ำได้เร็วจึงส่งผลการละลายดีขึ้นกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินสูง

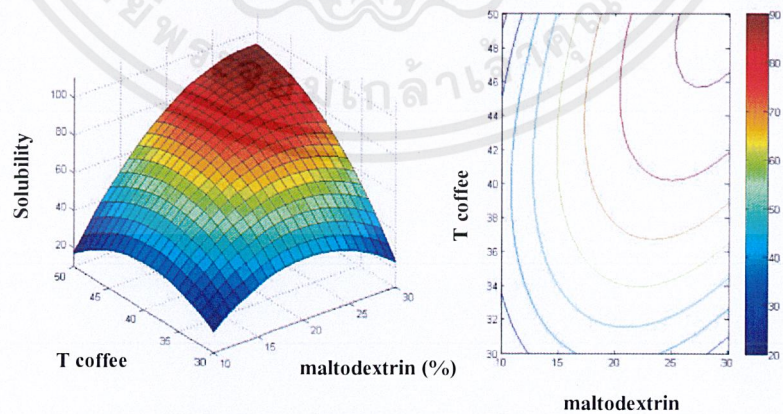
Solubility



Hot Air Temperature 200 °C (a)



Hot Air Temperature 220 °C (b)



Hot Air Temperature 240 °C (c)

รูปที่ 4.6 (a) (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์

ทริน และค่า Solubility ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการจม (Sinkability)

ความสามารถในการจมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 2.71 – 9.73 วินาที พบว่า ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นสูงสุดและอุณหภูมิมีน้ำกาแฟเริ่มต้นสูงสุดค่าความสามารถในการจมเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความสามารถในการจมกับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ (T_c), ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (M) และค่าคงที่อุณหภูมิมร้อน (T_a) สามารถแสดงได้ดังนี้

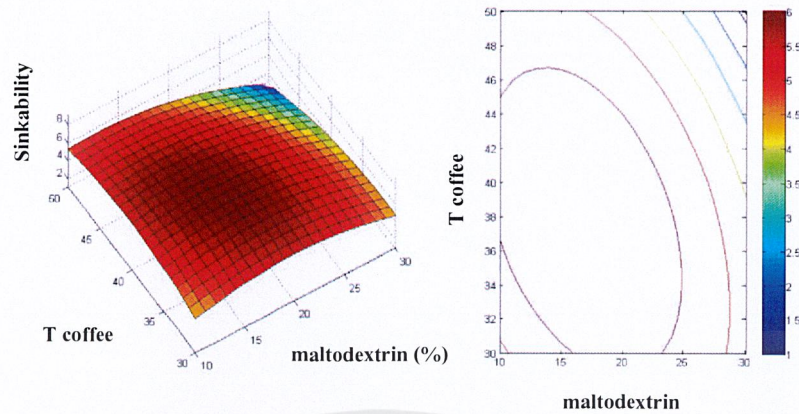
$$sk(s) = 0.615M - 0.4038T_c + 0.5976T_a - 0.0152M^2 - 0.0121T_c^2 - 0.002T_a^2 - 0.01MT_c + 0.0015T_aM + 0.0075(T_a)(T_c) - 75.5604 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$R^2 = 0.6211, S.E = 2.1567, p > 0.1$$

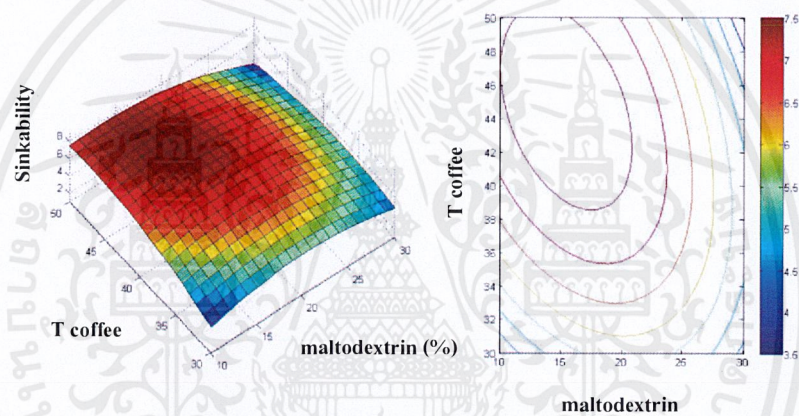
(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง)

จากรูปที่ 4.7 พบว่า เมื่ออุณหภูมิมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นจะใช้เวลาในการจมมากหมายถึงความสามารถในการจมลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงทำให้น้ำกาแฟที่ได้น้ำหนักเบา และที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินน้อยอุณหภูมิน้ำกาแฟต่ำความสามารถในการจมดีที่สุด เนื่องจากที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินน้อยอุณหภูมิน้ำกาแฟต่ำผลิตภัณฑ์กาแฟที่ได้มีความชื้นอยู่มากทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการรวมตัวกันทำให้การดูดซับน้ำได้ดีขึ้น มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจึงใช้เวลาจมน้อยกว่า

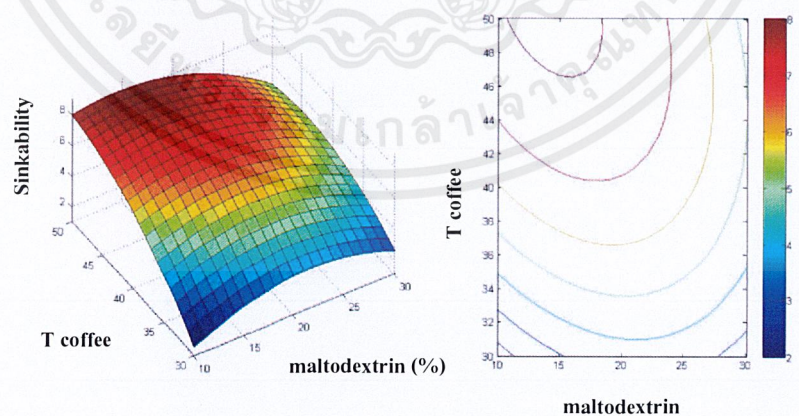
Sinkability



Hot Air Temperature 200 °C (a)



Hot Air Temperature 220 °C (b)



Hot Air Temperature 240 °C (c)

รูปที่ 4.7 (a) (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน และค่า Sinkability ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิลมร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการไหล (Flowability)

ความสามารถในการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลอยู่ในช่วง 20 – 34.33 องศา พบว่า ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินเพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการไหลลดลง เมื่อนำผลที่ได้มาสร้าง ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความสามารถในการไหลกับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ (T_c), ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (M) และค่าคงที่อุณหภูมิความร้อน (T_a) สามารถแสดงได้ดังนี้

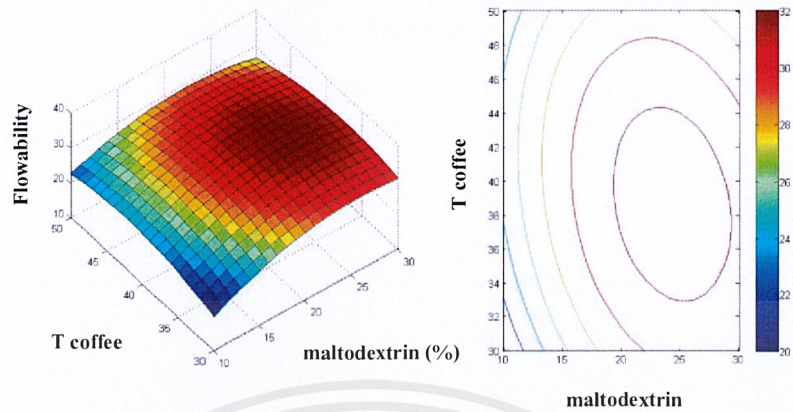
$$\text{fl}(\text{angle}) = 3.9716M + 2.2186T_c - 1.0681T_a - 0.0435M^2 - 0.0335T_c^2 + 0.0025T_a^2 - 0.0158MT_c - 0.0063T_a M + 0.0038(T_a)(T_c) + 57.6688 \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$R^2 = 0.8658, \text{ S.E} = 2.3546, p < 0.1$$

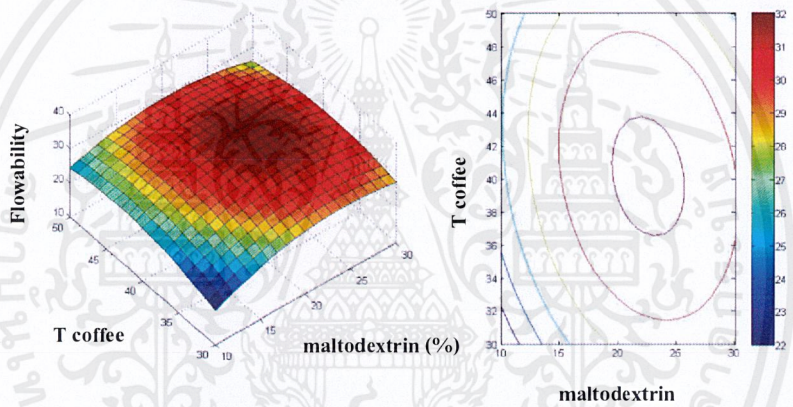
(รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ง)

จากรูปที่ 4.8 พบว่าที่อุณหภูมิร้อนขาเข้าสูงค่ามุมที่อ่านได้จะมีค่ามากนั้นหมายถึง ความสามารถในการไหลลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะทำให้อุณหภูมิในผลิตภัณฑ์ระเหยออกไปได้ รวดเร็วทำให้กาแฟที่ได้มีน้ำหนักเบาจึงเกิดการดึงดูดกันระหว่างอนุภาคกันเองจึงทำให้ ความสามารถในการไหลลดลง และที่ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินน้อยอุณหภูมิน้ำกาแฟต่ำ ความสามารถในการไหลจะดีที่สุด เนื่องจากมอลโตเดกซ์ตรินมีคุณสมบัติ film-forming property เกิดเป็นฟิล์มบางๆ เชื่อมกันแน่นหุ้มรอบๆ โมเลกุลของสารและที่อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้นต่ำทำให้ อัตราการระเหยน้ำช้าลง ทำให้ลักษณะรูปร่างของอนุภาคเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าจึงทำให้ความสามารถ ในการไหลดีกว่า

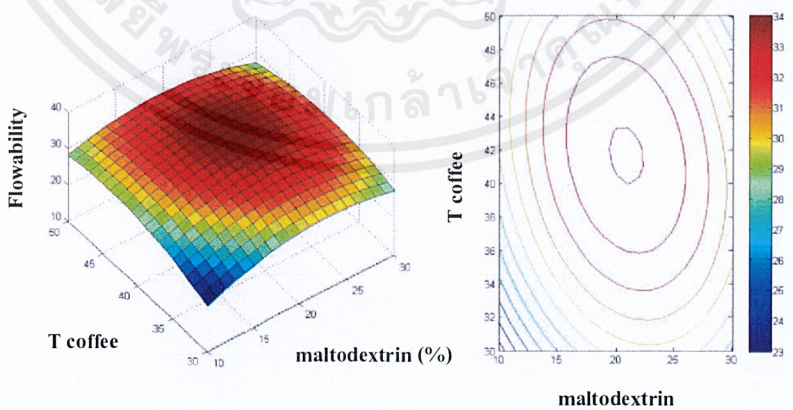
Flowability



Hot Air Temperature 200 °C (a)



Hot Air Temperature 220 °C (b)



Hot Air Temperature 240 °C (c)

รูปที่ 4.8 (a) (b) และ (c) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้น ปริมาณมอลโตเดกซ์

ทริน และค่า Flowability ของน้ำกาแฟที่อุณหภูมิผสมร้อน 200, 220 และ 240 °C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส (Sensory Test)

ทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของทุกสภาวะ โดยให้ผู้ชำนาญทางบริษัท กรีน วันฟู๊ด มาทำการทดสอบแล้วทำการเลือกสภาวะที่ดีที่สุด 3 สภาวะ ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้ชำนาญ

คุณลักษณะ	รหัส														
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
สี	6	6	6	7	7	7	6	6	6	7	5	5	6	5	5
กลิ่น	6	5	5	6	5	5	5	6	6	8	5	5	7	5	6
ความเปรี้ยว	6	6	6	7	6	6	5	6	6	7	5	5	7	5	5
ความขม	5	5	5	6	6	6	5	6	7	7	5	6	7	5	5
รสชาติ	5	5	5	6	5	5	5	6	7	7	5	5	7	5	5
ความชอบ โดยรวม	5	5	5	6	5	5	5	6	7	7	5	5	7	5	5
เฉลี่ย	5.50	5.33	5.33	6.33	5.67	5.67	5.17	6.00	6.50	7.17	5.00	5.17	6.83	5.00	5.17

จากการทดสอบโดยผู้ชำนาญพบว่า รหัสที่ 09, 10 และ 13 มีคะแนนที่สูงสุดใน 3 ลำดับ ซึ่งมีสภาวะดังนี้คือ ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 10% อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น 30°C อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 °C, ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 10% อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น 40°C อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 200 °C และ ปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน 20% อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น 40°C อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 °C ครั้งที่ 2 ตามลำดับ

จากนั้นนำมาทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสกับบุคคล 10 คน ที่ชอบดื่มกาแฟ โดยมี 3 สภาวะที่ได้จากทดสอบจากทางผู้ชำนาญ เทียบกับผลิตภัณฑ์ต้นแบบของทางบริษัท โดยมีตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 4.5

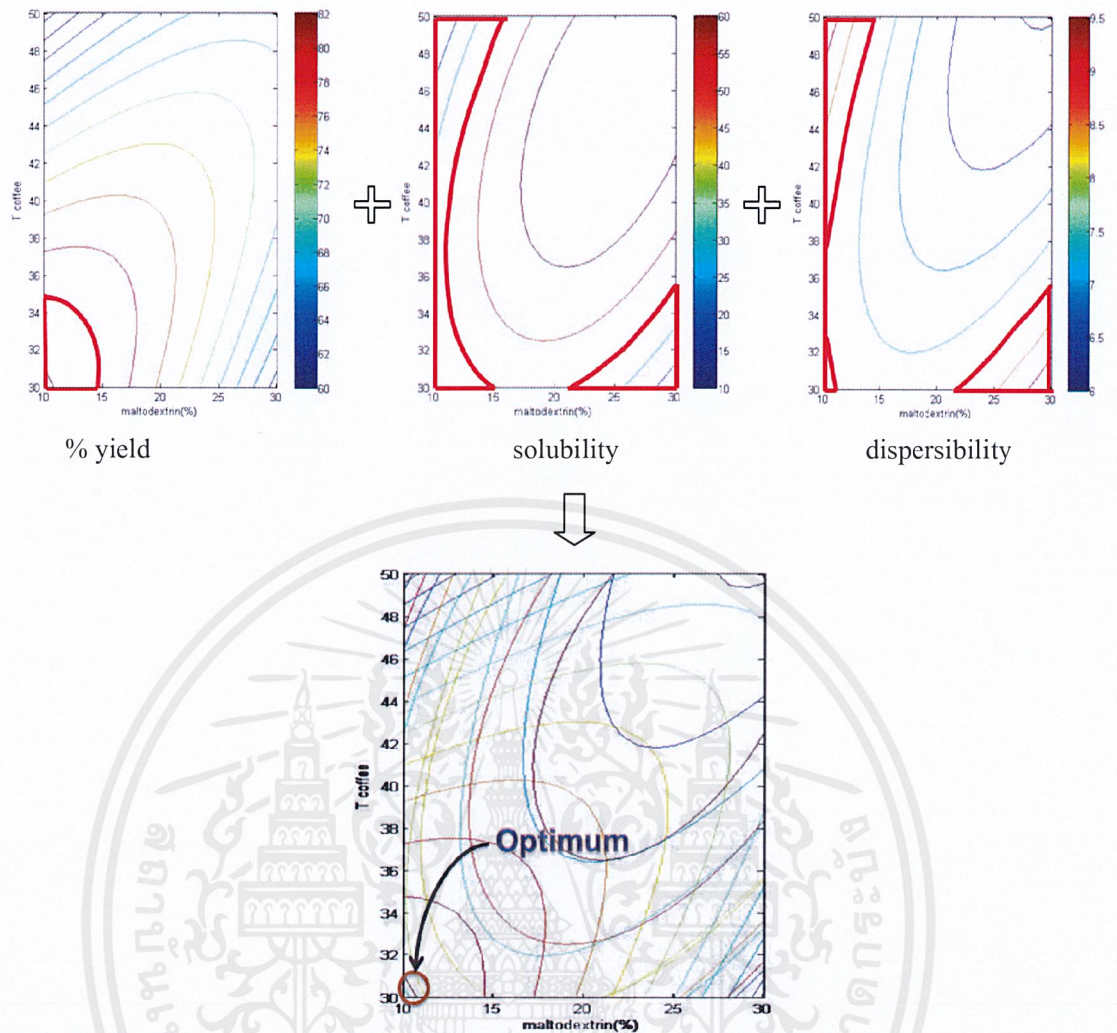
ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการทดสอบการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

คุณลักษณะ	รหัส			
	101	102	103	104
สี	80	74	74	71
กลิ่น	75	47	46	53
ความเปรี้ยว	54	52	51	58
ความขม	61	54	53	53
รสชาติ	51	52	54	62
ความชอบโดยรวม	64	57	59	58
เฉลี่ย	64.17	56.00	56.17	59.17

จากผลการทดสอบพบว่ารหัส 101 มีคะแนนสูงสุด และ 104 มีคะแนนรองลงมา คือ 64.17 และ 59.17 ตามลำดับ สำหรับ 101 และ 104 คือ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากบริษัท และสถานะที่ ปริมาณ มอลโตเดกซ์ตริน 10% อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น 30°C อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220°C ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าสถานะที่มีปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น และอุณหภูมิลมร้อน มีรสชาติที่คนโดยรวมชอบ

4.5 การหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของกาแฟเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เกณฑ์ ดังนี้ ปริมาณผลผลิตที่ได้และความสามารถในการกระจายตัวของกาแฟในน้ำให้มีค่าสูง ความสามารถในการละลายให้เวลาที่ใช้ในการละลายมีค่าต่ำ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงวิธีการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟ

จากรูปที่ 4.9 แสดงการหาสภาวะที่เหมาะสมที่อุณหภูมิร้อนชาเข้า 200°C โดยการนำกราฟปริมาณผลผลิตที่ได้โดยเลือกช่วงที่มีค่ามากกว่า 80 % ซ้อนทับกับกราฟความสามารถในการละลายเลือกช่วงที่ใช้เวลาในการละลายน้อยกว่า 40 วินาที และซ้อนทับกับกราฟความสามารถในการกระจายตัวเลือกช่วงที่มีค่ามากกว่า 8 เท่า ซึ่งจะได้จุดที่ซ้อนทับกันมากที่สุดคือ สภาวะที่ ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน 10% อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น 30°C อุณหภูมิลมร้อนชาเข้า 200 °C จากนั้นทำการหาสภาวะที่เหมาะสมเช่นเดียวกันที่อุณหภูมิลมร้อนชาเข้า 220°C และ 240°C ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการทำแห้งกาแฟด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ Blower Speed control 2800 rpm อัตราการป้อนวัตถุดิบ 10 L/hr อุณหภูมิลมร้อนขาออก 90°C โดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 10%, 20% และ 30% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 200°C, 220 °C และ 240 °C และอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟ 30 °C, 40 °C และ 50 °C การจากทดลองพบว่า

- เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นโดยรวม(bulk density), ความสามารถในการกระจาย(dispersibility) ความสามารถในการจม(sinkability) และความสามารถในการไหล(flowability) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความชื้น(moisture content), ปริมาณผลผลิตที่ได้(%yield),คุณสมบัติในการดูดกลับความชื้น(hygroscopicity) และความสามารถในการละลาย(solubility) มีค่าลดลง
- เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่าสูงขึ้น มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้(%yield)และความสามารถในการกระจาย(dispersibility) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความชื้น(moisture content), ค่าความหนาแน่นโดยรวม(bulk density) และคุณสมบัติในการดูดกลับความชื้น(hygroscopicity)มีค่าลดลง
- เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟมีค่าสูงขึ้น มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นโดยรวม(bulk density) ,ความสามารถในการกระจาย(dispersibility), ความสามารถในการจม(sinkability) และความสามารถในการไหล(flowability) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณผลผลิตที่ได้(%yield) และความสามารถในการละลาย(solubility) มีค่าลดลง
- จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 10% ที่อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น 30 °C อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 220 °C
- จากการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของกาแฟคือ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 10% ที่อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น 40 °C อุณหภูมิลมร้อนขา

เข้า 200 °C และ ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน 30% ที่อุณหภูมิน้ำกาแฟเริ่มต้น 30 °C อุณหภูมิลมร้อนเข้า 220 °C

5.2 ปัญหาที่พบ

- ความเข้มข้นเริ่มต้น ของน้ำกาแฟที่ทางบริษัท สกัดให้นั้น ไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ ผู้วิจัยจึงทำการลดค่าความเข้มข้นของน้ำกาแฟให้เหมือนกันทุกการทดลอง
- การทำแห้งที่ใช้ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินมากๆและอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำกาแฟต่ำๆ จะทำให้หัวพ่น (Two fluid nozzle atomizer) เกิดการอุดตันได้ง่าย

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาการทำ Agglomeration กาแฟผง เพื่อทำให้ความสามารถในการละลายของกาแฟผงดีขึ้น
- ควรศึกษาการทำแห้งด้วยวิธีอื่นเพื่อประสิทธิภาพการทำแห้งที่ดีขึ้น เช่น การทำแห้งด้วยวิธีการระเหิด (Freeze Drying)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.คุณสมบัติของน้ำกาแฟและปริมาณผลผลิตที่ได้

No.	ค่าระดับบัจจัย	Concentrate (° Brix)	pH	Coffee powder weight (g)
1	20/30/200	18	5.51	512.07
2	20/40/220 (1)	18	5.43	559.96
3	30/50/220	18	5.50	666.54
4	20/30/240	18	5.44	456.71
5	10/40/240	18	5.79	375.88
6	30/40/240	18	5.49	673.33
7	30/30/220	18	5.44	523.45
8	20/50/240	18	5.43	538.57
9	20/50/200	18	5.51	472.62
10	20/40/220 (2)	18	5.44	608.81
11	30/40/200	18	5.45	546.23
12	10/40/200	18	5.79	424.98
13	10/50/220	18	5.79	337.15
14	20/40/220 (3)	18	5.68	514.19
15	10/30/220	18	5.79	414.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.กาแฟผง

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความชื้น (Moisture content)

No.	ค่าระดับปัจจัย	นน.ถ้วย+ฝา	นน.ก่อนอบ	นน.หลังอบ	%ความชื้น	%ความชื้นเฉลี่ย
1	20/30/200	17.9900	20.9929	20.9696	0.7759	0.8278
		17.8897	20.8940	20.8665	0.9154	
		18.0214	21.0257	21.0019	0.7922	
2	20/40/220 (1)	17.9890	20.9947	20.9667	0.9316	0.8916
		17.7937	20.8011	20.7786	0.7482	
		17.8395	20.8441	20.8142	0.9951	
3	30/50/220	18.1861	21.1882	21.1625	0.8561	0.8409
		17.5196	20.5293	20.5013	0.9303	
		17.7071	20.7090	20.6869	0.7362	
4	20/30/240	17.9175	20.9256	20.9022	0.7779	0.8372
		17.7262	20.7303	20.7012	0.9687	
		18.2402	21.2468	21.2238	0.7650	
5	10/40/240	17.9757	20.9822	20.9572	0.8315	0.9654
		18.2175	21.2191	21.1891	0.9995	
		18.2724	21.2762	21.2442	1.0653	
6	30/40/240	18.0466	21.0578	21.0527	0.1694	0.1462
		18.1576	21.1648	21.1607	0.1363	
		17.8954	20.9042	20.9002	0.1329	
7	30/30/220	17.9134	20.9963	20.9350	1.9884	1.6761
		17.7657	21.2851	21.2371	1.3639	
		17.7657	21.2841	21.2251	1.6769	
8	20/50/240	18.0556	21.1700	21.1186	1.6504	2.0670
		17.5404	20.6657	20.5927	2.3358	
		17.9947	21.1193	21.0501	2.2147	
9	20/50/200	17.8328	20.9204	20.8480	2.3449	2.1006
		17.7380	20.8212	20.7705	1.6444	
		17.7238	20.8156	20.7441	2.3126	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค่าระดับปัจจัย	นน.ถั่ว+ฝัา	นน.ก่อนอบ	นน.หลังอบ	%ความชื้น	%ความชื้นเฉลี่ย
10	20/40/220 (2)	18.2194	21.3346	21.2680	2.1379	2.3743
		18.3020	21.4156	21.3356	2.5694	
		17.7581	20.8794	20.8040	2.4157	
11	30/40/200	18.2361	21.3365	21.2780	1.8869	1.8675
		17.5875	20.6882	20.6377	1.6287	
		17.8929	20.9977	20.9329	2.0871	
12	10/40/200	17.9880	21.0880	21.0083	2.5710	2.6866
		17.7850	20.8850	20.8004	2.7290	
		17.8896	20.9840	20.8986	2.7598	
13	10/50/220	17.9859	21.0886	21.0008	2.8298	2.7338
		17.8005	20.9042	20.8243	2.5743	
		17.9721	21.0787	20.9918	2.7973	
14	20/40/220 (3)	17.9111	20.9988	20.9304	2.2152	2.1718
		17.6507	20.7432	20.6795	2.0598	
		17.7826	20.8714	20.8022	2.2404	
15	10/30/220	17.7034	20.8146	20.7408	2.3721	2.5797
		18.0355	21.1512	21.0681	2.6671	
		18.1327	21.2476	21.1635	2.6999	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Bulk density)

NO.	ค่าระดับปัจจัย	ปริมาตรภาชนะ	นน.ภาชนะ	นน.ภาชนะ+นน.ผงกาแฟ	นน.ผงกาแฟ	bd	bd เฉลี่ย
1	20/30/200	424	46.24	124.73	78.49	0.1851	0.1818
		424	46.24	124.04	77.80	0.1835	
		424	46.24	121.16	74.92	0.1767	
2	20/40/220 (1)	424	46.24	117.83	71.59	0.1688	0.1673
		424	46.24	116.79	70.55	0.1664	
		424	46.24	116.90	70.66	0.1667	
3	30/50/220	424	46.24	130.33	84.09	0.1983	0.1958
		424	46.24	129.07	82.83	0.1954	
		424	46.24	128.41	82.17	0.1938	
4	20/30/240	424	46.24	112.94	66.70	0.1573	0.1575
		424	46.24	114.91	68.67	0.1620	
		424	46.24	111.23	64.99	0.1533	
5	10/40/240	424	46.24	114.23	67.99	0.1603	0.1535
		424	46.24	110.27	64.03	0.1510	
		424	46.24	109.45	63.21	0.1491	
6	30/40/240	424	46.24	117.24	71.00	0.1675	0.1645
		424	46.24	115.80	69.56	0.1640	
		424	46.24	114.98	68.74	0.1621	
7	30/30/220	424	46.24	169.49	123.25	0.2907	0.2878
		424	46.24	167.25	121.01	0.2854	
		424	46.24	168.02	121.78	0.2872	
8	20/50/240	424	46.24	114.72	68.48	0.1615	0.1609
		424	46.24	114.63	68.39	0.1613	
		424	46.24	114.00	67.76	0.1598	
9	20/50/200	424	46.24	130.77	84.53	0.1994	0.1962
		424	46.24	128.28	82.04	0.1935	
		424	46.24	129.23	82.99	0.1957	
10	20/40/220 (2)	424	46.24	122.59	76.35	0.1801	0.1797
		424	46.24	122.50	76.26	0.1799	
		424	46.24	122.27	76.03	0.1793	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO.	คำระดับปัจจัย	ปริมาตรภาษา	นน.ภาษา	นน.ภาษา+นน.พจนานุกรม	นน.พจนานุกรม	bd	bd เฉลี่ย
11	30/40/200	424	46.24	150.10	103.86	0.2450	0.2485
		424	46.24	153.34	107.10	0.2526	
		424	46.24	151.34	105.10	0.2479	
12	10/40/200	424	46.24	117.34	71.10	0.1677	0.1660
		424	46.24	116.81	70.57	0.1664	
		424	46.24	115.67	69.43	0.1638	
13	10/50/220	424	46.24	117.71	71.47	0.1686	0.1668
		424	46.24	116.81	70.57	0.1664	
		424	46.24	116.33	70.09	0.1653	
14	20/40/220 (3)	424	46.24	119.13	72.89	0.1719	0.1694
		424	46.24	117.06	70.82	0.1670	
		424	46.24	118.02	71.78	0.1693	
15	10/30/220	424	46.24	111.69	65.45	0.1544	0.1525
		424	46.24	110.32	64.08	0.1511	
		424	46.24	110.71	64.47	0.1521	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้ (%Yield)

No.	ค่าระดับปัจจัย	นน. น้ำกาแฟ+Molto	ค่าความชื้นของน้ำกาแฟ	นน.ของกาแฟผงที่ได้	%yeild
1	20/30/200	2323.14	70.6629	512.07	75.1340
2	20/40/220 (1)	2341.32	69.4270	559.96	78.2273
3	30/50/220	2484.82	65.7099	666.54	78.2281
4	20/30/240	2311.86	68.8020	456.71	63.3217
5	10/40/240	2078.55	73.5089	375.88	68.2635
6	30/40/240	2505.48	64.2467	673.33	75.1659
7	30/30/220	2473.45	56.4471	701.08	65.0800
8	20/50/240	2295.28	68.6689	538.57	74.8912
9	20/50/200	2300.37	69.9754	472.62	68.4285
10	20/40/220 (2)	2328.58	69.2030	608.81	84.8950
11	30/40/200	2419.25	57.0682	710.44	68.4018
12	10/40/200	2144.40	73.8916	424.98	75.9070
13	10/50/220	2190.00	73.6138	337.15	58.3448
14	20/40/220 (3)	2341.32	66.9250	514.19	66.3992
15	10/30/220	2107.72	73.6279	414.78	74.6208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

No.	ระดับปัจจัย	นน.ฝอย	นน.ก่อนแช่	นน.หลังแช่	%ความชื้น	hg
1	20/30/200	0.102	1.0042	1.3483	2.1262	1.0792
2	20/40/220 (1)	0.4305	1.0035	1.6220	2.0893	1.2285
3	30/50/220	0.1955	1.059	1.4579	1.5062	1.0599
4	20/30/240	0.3985	1.0013	1.6017	2.1677	1.2326
5	10/40/240	0.4764	1.0060	1.7014	2.5921	1.3483
6	30/40/240	0.3987	1.0045	1.5980	1.5753	1.1149
7	30/30/220	0.5340	1.0071	1.7260	1.6761	1.1598
8	20/50/240	0.4181	1.0090	1.3613	2.0670	1.2507
9	20/50/200	0.3732	1.0084	1.5794	2.1006	1.2104
10	20/40/220 (2)	0.4307	1.0074	1.6420	2.3743	1.2856
11	30/40/200	0.4833	1.0023	1.6745	1.8675	1.1943
12	10/40/200	0.4149	1.0044	1.6219	2.6866	1.3436
13;	10/50/220	0.4035	1.0058	1.6246	2.7338	1.3449
14	20/40/220 (3)	0.4493	1.0090	1.6620	2.1718	1.2494
15	10/30/220	0.4163	1.0087	1.6426	2.5797	1.3194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility)

No.	ค่าระดับปัจจัย	นน.ผงเริ่มต้น (g)	นน.น้ำ (g)	sp (%)	sj(%)	dp	dp เฉลี่ย
1	20/30/200	15.03	50.07	97.8738	67.4593	6.2841	6.6763
		15.03	50.06		59.5940	7.1124	
		15.05	50.01		63.7941	6.6323	
2	20/40/220 (1)	15.02	50.00	97.9107	76.5195	5.5390	5.7822
		15.00	50.04		72.4902	5.8565	
		15.00	50.09		71.3952	5.9509	
3	30/50/220	15.03	50.04	98.4938	67.4403	6.3228	6.4031
		15.05	50.08		64.4294	6.6156	
		15.03	50.03		67.9885	6.2709	
4	20/30/240	15.03	50.04	97.8323	62.2674	6.8021	7.4225
		15.03	50.00		63.8659	6.6278	
		15.05	50.04		47.8764	8.8377	
5	10/40/240	15.04	50.05	97.4079	53.6603	7.8561	7.8987
		15.01	50.00		49.6656	8.4945	
		15.01	50.00		57.4349	7.3454	
6	30/40/240	15.05	50.03	98.4247	72.1255	5.9010	5.7621
		15.03	50.03		73.6232	5.7869	
		15.01	50.00		76.1446	5.5984	
7	30/30/220	15.02	50.00	98.3239	51.9523	8.1928	8.8278
		15.02	50.05		43.7952	9.7262	
		15.00	50.05		49.7875	8.5644	
8	20/50/240	15.06	50.03	97.9330	46.3311	9.1358	9.6062
		15.01	50.03		40.8441	10.3896	
		15.02	50.05		45.6538	9.2932	
9	20/50/200	15.03	50.03	97.8994	72.2740	5.8634	5.9107
		15.06	50.05		68.9217	6.1411	
		15.04	50.01		73.9268	5.7277	
10	20/40/220 (2)	15.02	50.04	97.6257	63.6994	6.6385	6.4346
		15.02	50.05		68.9019	6.1382	
		15.02	50.01		64.7565	6.5272	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	ค่าระดับปัจจัย	นน.ผงเริ่มต้น (g)	นน.น้ำ (g)	sp (%)	sj(%)	dp	dp เฉลี่ย
11	30/40/200	15.00	50.02	98.1325	53.2753	7.9844	8.0164
		15.02	50.04		54.8614	7.7480	
		15.03	50.09		51.1232	8.3167	
12	10/40/200	15.02	50.03	97.3134	42.0290	10.0277	9.3986
		15.08	50.07		42.3479	9.9278	
		15.03	50.04		51.1278	8.2402	
13	10/50/220	15.05	50.10	97.2662	45.4536	9.2634	9.9449
		15.01	50.04		41.9096	10.0581	
		15.02	50.04		40.0746	10.5132	
14	20/40/220 (3)	15.05	50.05	97.8282	55.5480	7.6180	7.6558
		15.02	50.08		63.3475	6.6934	
		15.02	50.01		48.9317	8.6560	
15	10/30/220	15.07	50.02	97.4203	54.1543	7.7699	7.5146
		15.01	50.06		55.0563	7.6708	
		15.04	50.08		59.3843	7.1030	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการจม (Sinkability)

No.	ค่าระดับปัจจัย	เวลา (นาที)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	20/30/200	4.19	4.31	4.33	4.28
2	20/40/220 (1)	6.17	6.32	5.55	6.01
3	30/50/220	3.42	4.07	3.39	3.63
4	20/30/240	4.52	4.36	5.43	4.77
5	10/40/240	4.03	5.22	5.41	4.89
6	30/40/240	2.47	2.26	3.41	2.71
7	30/30/220	5.25	5.34	5.10	5.23
8	20/50/240	9.57	10.11	9.51	9.73
9	20/50/200	3.31	3.39	3.02	3.24
10	20/40/220 (2)	8.10	7.56	7.48	7.71
11	30/40/200	4.41	5.03	5.28	4.91
12	10/40/200	8.14	8.28	8.46	8.29
13	10/50/220	6.54	6.58	6.54	6.55
14	20/40/220 (3)	7.56	8.17	8.08	7.94
15	10/30/220	3.06	3.28	5.29	3.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการไหล (Flowability)

No.	ค่าระดับปัจจัย	มุม (องศา)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	20/30/200	27	28	27.00	27.33
2	20/40/220 (1)	36	34	33.00	34.33
3	30/50/220	26	25	26.00	25.67
4	20/30/240	30	33	28.00	30.33
5	10/40/240	28	27	28.00	27.67
6	30/40/240	27	29	30.00	28.67
7	30/30/220	29	29	28.00	28.67
8	20/50/240	33	33	35.00	33.67
9	20/50/200	27	28	28.00	27.67
10	20/40/220 (2)	31	29	31.00	30.33
11	30/40/200	33	32	32.00	32.33
12	10/40/200	27	27	25.00	26.33
13	10/50/220	23	23	24.00	23.33
14	20/40/220 (3)	32	31	32.00	31.67
15	10/30/220	19	20	21.00	20.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (Solubility)

No.	ค่าระดับปัจจัย	เวลา (วินาที)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	20/30/200	48.3	47.9	50	48.7333
2	20/40/220 (1)	65.3	101.2	116	94.1667
3	30/50/220	111.4	114.8	116.3	114.1667
4	20/30/240	47.3	34.9	44.1	42.1000
5	10/40/240	46.2	49.8	50.2	48.7333
6	30/40/240	63.6	81.4	60.6	68.5333
7	30/30/220	38.4	53.5	46.4	46.1000
8	20/50/240	52.9	70.8	78.4	67.3667
9	20/50/200	57.7	42	68.9	56.2000
10	20/40/220 (2)	96.52	99.18	100.74	98.8133
11	30/40/200	40.4	40.8	40.9	40.7000
12	10/40/200	32.3	43.3	42.1	39.2333
13	10/50/220	26.3	30	26.6	27.6333
14	20/40/220 (3)	72.85	100.74	69.52	81.0367
15	10/30/220	32.4	31.9	37.3	33.8667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. การทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory Test)

แบบทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์กาแฟ

ชื่อ ผู้ทดสอบ..... เพศ..... อายุ..... วันที่.....

คำแนะนำ กรุณาชิมผลิตภัณฑ์ต่อไปนี้ตามลำดับจาก ซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบต่างๆดังนี้
(ควรกลืนน้ำเปล่าก่อนทดสอบตัวอย่างต่อไป)

9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบเล็กน้อย 5 =

เฉยๆ

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัส			
สี				
กลิ่น				
ความเปรี้ยว				
ความขม				
รสชาติ				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Sensory test)

ผู้ทดสอบคนที่	รหัส			
	101	102	103	104
1	43	44	40	46
2	44	20	19	38
3	38	25	29	29
4	25	19	18	17
5	26	17	42	31
6	21	50	42	42
7	48	40	35	46
8	41	46	40	47
9	48	38	42	45
10	37	38	29	28
เฉลี่ย	37.1	33.7	33.6	36.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง. ANOVA Table

ความชื้น (Moisture content)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.982195812
R Square	0.964708613
Adjusted R Square	0.901184117
Standard Error	0.122395006
Observations	15

ANOVA				
	SS	MS	F	Significance F
Regression	2.047504337	0.2275005	15.18640315	0.003986472
Residual	0.074902687	0.0149805		
Total	2.122407024			

Coefficients					
	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	8.421626584	-0.291449	0.782411956	-24.10295532	19.19400532
X Variable 1	0.076149303	0.5482486	0.607100214	-0.15399266	0.237496766
X Variable 2	0.085421134	1.1263752	0.311144744	-0.123365765	0.315798265
X Variable 3	0.071422581	0.3966533	0.707986689	-0.15526759	0.21192759
X Variable 4	0.000636964	-0.1793665	0.864692032	-0.001751618	0.001523118
X Variable 5	0.000636964	-1.1998327	0.283950509	-0.002401618	0.000873118
X Variable 6	0.000159241	-0.3139896	0.766206691	-0.000459342	0.000359342
X Variable 7	0.000611975	-1.3235834	0.242927918	-0.002383132	0.000763132
X Variable 8	0.000305988	-0.807631	0.455990562	-0.001033691	0.000539441
X Variable 9	0.000305988	-0.3067936	0.771365974	-0.000880441	0.000692691

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่น (bulk density)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.947724318
R Square	0.898181382
Adjusted R Square	0.71490787
Standard Error	0.020124111
Observations	15

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	9	0.017862418	0.0019847	4.900770276	0.047419
Residual	5	0.002024899	0.000405		
Total	14	0.019887317			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-1.088629	1.384678604	-0.7861963	0.46735878	-4.648058832	2.470800499	-4.64805883	2.470800499
X Variable 1	0.025992	0.012520421	2.0759419	0.092537951	-0.0061931	0.058176434	-0.0061931	0.058176434
X Variable 2	-0.000235	0.01404489	-0.0167617	0.987274984	-0.036338955	0.035868122	-0.03633896	0.035868122
X Variable 3	0.009960	0.011743256	0.8481641	0.435059263	-0.020226793	0.04014721	-0.02022679	0.04014721
X Variable 4	0.000188	0.000104729	1.7959017	0.132454633	-8.11316E-05	0.000457298	-8.1132E-05	0.000457298
X Variable 5	0.000098	0.000104729	0.9341553	0.393105717	-0.000171382	0.000367048	-0.00017138	0.000367048
X Variable 6	-0.000020	2.61823E-05	-0.7463694	0.489029076	-8.68454E-05	4.77621E-05	-8.6845E-05	4.77621E-05
X Variable 7	-0.000266	0.000100621	-2.6411105	0.045914781	-0.000524403	-7.09663E-06	-0.0005244	-7.09663E-06
X Variable 8	-0.000089	5.03103E-05	-1.776476	0.135809952	-0.000218702	3.99517E-05	-0.0002187	3.99517E-05
X Variable 9	-0.000014	5.03103E-05	-0.273304	0.795549134	-0.000143077	0.000115577	-0.00014308	0.000115577

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (%yield)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.837620315
R Square	0.701607793
Adjusted R Square	0.16450182
Standard Error	6.339435149
Observations	15

ANOVA		df	SS	MS	F	Significance F
Regression		9	472.4741569	52.497129	1.30627442	0.403008789
Residual		5	200.9421901	40.188438		
Total		14	673.4163469			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	144.122354	436.1971727	0.3304064	0.754488107	-977.1581743	1265.402883	-977.158174	1265.402883
X Variable 1	-5.593145	3.944144337	-1.4180884	0.215367643	-15.7318912	4.545600368	-15.7318912	4.545600368
X Variable 2	-2.903352	4.424377736	-0.656217	0.540677658	-14.27657712	8.469872954	-14.2765771	8.469872954
X Variable 3	0.445584	3.699324317	0.1204501	0.908817062	-9.063831723	9.955000057	-9.06383172	9.955000057
X Variable 4	-0.029740	0.032991467	-0.9014515	0.40866929	-0.111454743	0.055067056	-0.111454747	0.055067056
X Variable 5	-0.044647	0.032991467	-1.3532957	0.233925833	-0.129454473	0.040160056	-0.12945447	0.040160056
X Variable 6	-0.003996	0.008247867	-0.4845483	0.648477133	-0.025198306	0.017205327	-0.02519831	0.017205327
X Variable 7	0.073560	0.031697176	2.3207194	0.067992612	-0.007919934	0.155040434	-0.00791993	0.155040434
X Variable 8	0.018010	0.015848588	1.1363473	0.307323669	-0.022730592	0.058749592	-0.02273059	0.058749592
X Variable 9	0.022844	0.015848588	1.4413745	0.209045005	-0.017896342	0.063583842	-0.01789634	0.063583842

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.977064978
R Square	0.954655971
Adjusted R Square	0.873036718
Standard Error	0.062303615
Observations	15

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	9	0.408623451	0.0454026	11.69645566	0.007270355
Residual	5	0.019408703	0.0038817		
Total	14	0.428032153			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	0.9054	4.286921512	0.2112005	0.841069066	-10.11448257	11.92528257	-10.1144826	11.92528257
X Variable 1	0.02208125	0.038762831	0.5696501	0.593553489	-0.077561779	0.121724279	-0.07756178	0.121724279
X Variable 2	0.024595	0.043482538	0.5656294	0.596084543	-0.087180422	0.136370422	-0.08718042	0.136370422
X Variable 3	0.002028125	0.036356753	0.055784	0.957674382	-0.091429885	0.095486135	-0.09142988	0.095486135
X Variable 4	-0.000144625	0.000324238	-0.4460454	0.674217132	-0.000978106	0.000688856	-0.00097811	0.000688856
X Variable 5	-0.000277875	0.000324238	-0.8570086	0.430590503	-0.001111356	0.000555606	-0.00111136	0.000555606
X Variable 6	-3.28125E-06	8.10596E-05	-0.0404795	0.969277499	-0.000211652	0.000205089	-0.00021165	0.000205089
X Variable 7	-0.000372	0.000311518	-1.1941522	0.285975679	-0.001172783	0.000428783	-0.00117278	0.000428783
X Variable 8	-0.000107625	0.000155759	-0.6909711	0.520345142	-0.000508016	0.000292766	-0.00050802	0.000292766
X Variable 9	2.35E-05	0.000155759	0.1508741	0.885973034	-0.000376891	0.000423891	-0.00037689	0.000423891

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.784367333
R Square	0.615232112
Adjusted R Square	-0.077350085
Standard Error	1.460354707
Observations	15

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	9	17.05009844	1.8944554	0.888316382	0.587819486
Residual	5	10.66317936	2.1326359		
Total	14	27.7132778			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	61.033375	100.4825477	0.6074027	0.570109473	-197.2652367	319.3319867	-197.265237	319.3319867
X Variable 1	0.238433	0.908574599	0.2624248	0.803463117	-2.09713286	2.57399786	-2.09713286	2.57399786
X Variable 2	-1.023861	1.019201349	-1.0045721	0.361213257	-3.643801723	1.596079223	-3.64380172	1.596079223
X Variable 3	-0.331149	0.852177766	-0.3885919	0.713574088	-2.521742059	1.859443309	-2.52174206	1.859443309
X Variable 4	0.009567	0.007599927	1.2588444	0.263661368	-0.009969109	0.029103359	-0.00996911	0.029103359
X Variable 5	0.005917	0.007599927	0.7785437	0.471167495	-0.013619359	0.025453109	-0.01361936	0.025453109
X Variable 6	0.000470	0.001899982	0.2474201	0.81442186	-0.004413965	0.005354152	-0.00441396	0.005354152
X Variable 7	-0.012138	0.007301774	-1.6622674	0.157347697	-0.030907306	0.006632306	-0.03090731	0.006632306
X Variable 8	-0.000943	0.003650887	-0.2582934	0.806475524	-0.010327903	0.008441903	-0.0103279	0.008441903
X Variable 9	0.003687	0.003650887	1.0097889	0.35893764	-0.005698278	0.013071528	-0.00569828	0.013071528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามรถในการจม (Sinkability)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.788106058
R Square	0.621111158
Adjusted R Square	-0.060888757
Standard Error	2.156693843
Observations	15

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	9	38.12453167	4.2360591	0.910720287	0.575823591
Residual	5	23.25664167	4.6513283		
Total	14	61.38117333			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-57.560417	148.3955171	-0.3878851	0.714064922	-439.0232371	323.9024038	-439.023237	323.9024038
X Variable 1	0.615042	1.341809106	0.4583675	0.66592204	-2.834188446	4.064271779	-2.83418845	4.064271779
X Variable 2	-0.403792	1.505185872	-0.268267	0.799209878	-4.272995127	3.465411794	-4.27299513	3.465411794
X Variable 3	0.597583	1.25852064	0.47483	0.654923757	-2.637546961	3.832713628	-2.63754696	3.832713628
X Variable 4	-0.015179	0.011223791	-1.35241	0.234189609	-0.044030839	0.013672506	-0.04403084	0.013672506
X Variable 5	-0.012129	0.011223791	-1.0806658	0.329191495	-0.040980839	0.016722506	-0.04098084	0.016722506
X Variable 6	-0.002089	0.002805948	-0.7443267	0.490159677	-0.00930146	0.005124376	-0.00930146	0.005124376
X Variable 7	-0.010675	0.010783469	-0.9899412	0.367659168	-0.03839479	0.01704479	-0.03839479	0.01704479
X Variable 8	0.001500	0.005391735	0.2782036	0.791993974	-0.012359895	0.013559895	-0.0123599	0.013559895
X Variable 9	0.007500	0.005391735	1.391018	0.22294586	-0.006359895	0.021359895	-0.0063599	0.021359895

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการไหล (Flowability)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.930502214
R Square	0.865834371
Adjusted R Square	0.624336239
Standard Error	2.354613556
Observations	15

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	9	178.8969083	19.877434	3.585263218	0.086696492
Residual	5	27.721025	5.544205		
Total	14	206.6179333			

Coefficients		Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	57.668750	162.0137681	0.3559497	0.73640404	-358.8008992	474.1383992	-358.800899	474.1383992
X Variable 1	3.971625	1.464946877	2.7111051	0.042220467	0.205859169	7.737390831	0.205859169	7.737390831
X Variable 2	2.218625	1.643316723	1.3500897	0.234881984	-2.005655117	6.442905117	-2.00565512	6.442905117
X Variable 3	-1.068125	1.374015031	-0.777375	0.472097251	-4.600143081	2.463893081	-4.60014308	2.463893081
X Variable 4	-0.043463	0.0122253797	-3.5468597	0.016442261	-0.074961889	-0.011963111	-0.07496189	-0.011963111
X Variable 5	-0.033463	0.012253797	-2.7307861	0.041241662	-0.064961889	-0.001963111	-0.06496189	-0.001963111
X Variable 6	0.002466	0.003063449	0.8048525	0.457452488	-0.005409222	0.010340472	-0.00540922	0.010340472
X Variable 7	-0.015825	0.011773068	-1.3441696	0.236657202	-0.046088634	0.014438634	-0.04608863	0.014438634
X Variable 8	-0.006250	0.005886534	-1.0617454	0.336920379	-0.021381817	0.008881817	-0.02138182	0.008881817
X Variable 9	0.003750	0.005886534	0.6370472	0.552115402	-0.011381817	0.018881817	-0.01138182	0.018881817

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการละลาย (Solubility)

SUMMARY OUTPUT

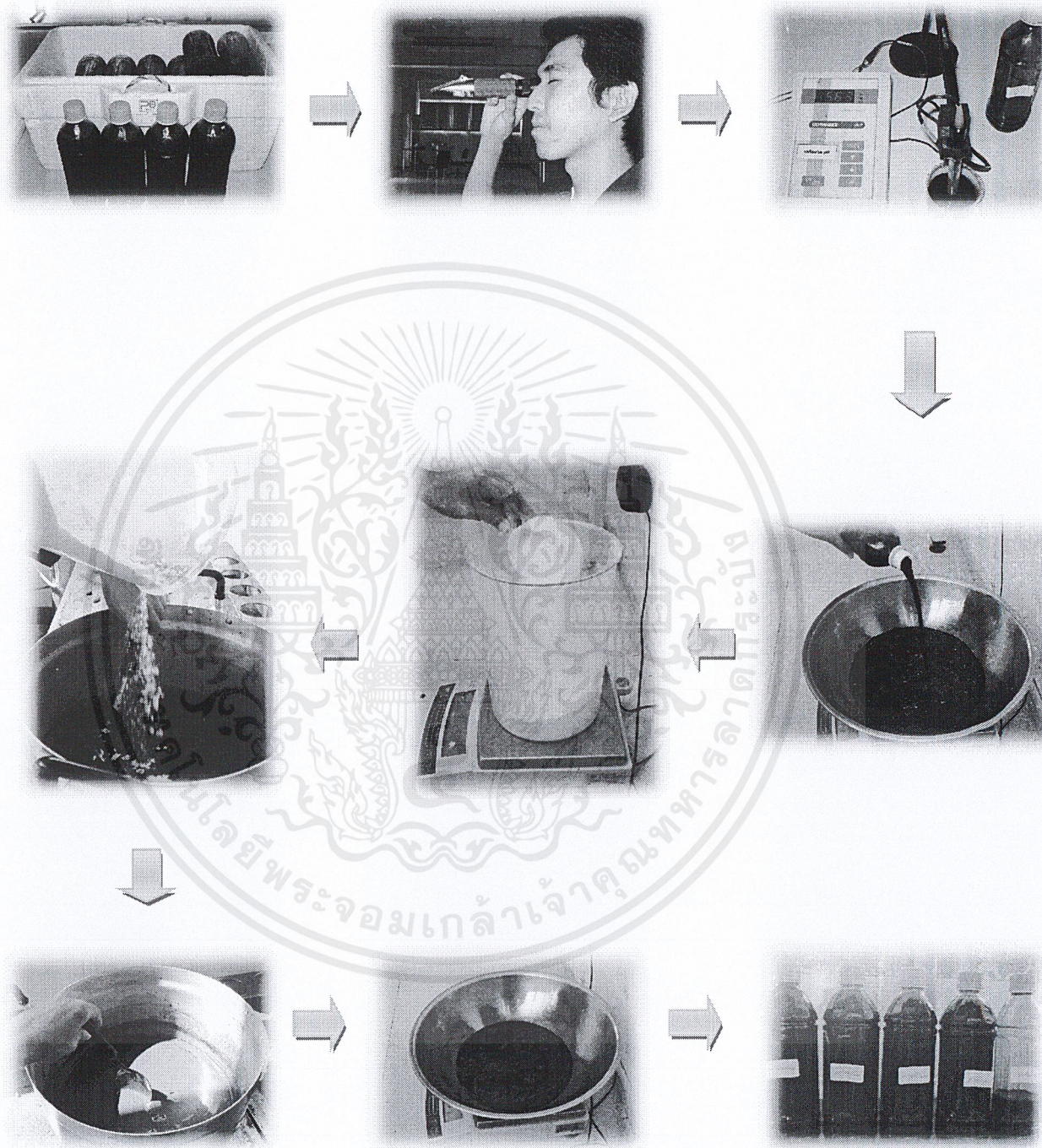
Regression Statistics	
Multiple R	0.937006837
R Square	0.877981812
Adjusted R Square	0.658349075
Standard Error	15.31642501
Observations	15

ANOVA				
	df	SS	MS	Significance F
Regression	9	8440.064625	937.78496	3.997499746
Residual	5	1172.964375	234.59288	0.070650423
Total	14	9613.029		

Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%		Upper 95%		Lower 95.0%		Upper 95.0%	
Intercept	-2627.498750	1053.87643	-2.4931754	0.054947054	-5336.574357	81.57685724	-5336.57436	81.57685724	-5336.57436	81.57685724	
X Variable 1	-2.813250	9.529270278	-0.295222	0.779690433	-27.30901907	21.68251907	-27.3090191	21.68251907	-27.3090191	21.68251907	
X Variable 2	5.445625	10.68954066	0.5094349	0.632127864	-22.03271404	32.92396404	-22.032714	32.92396404	-22.032714	32.92396404	
X Variable 3	23.374688	8.937771606	2.6152702	0.047367377	0.399414166	46.34996083	0.399414166	46.34996083	0.399414166	46.34996083	
X Variable 4	-0.203950	0.079709203	-2.5586757	0.050728158	-0.408849029	0.000949029	-0.40884903	0.000949029	-0.40884903	0.000949029	
X Variable 5	-0.160925	0.079709203	-2.0189011	0.099509674	-0.365824029	0.043974029	-0.36582403	0.043974029	-0.36582403	0.043974029	
X Variable 6	-0.055594	0.019927301	-2.7898284	0.038452674	-0.106818507	-0.004368993	-0.10681851	-0.004368993	-0.10681851	-0.004368993	
X Variable 7	0.185775	0.076582125	2.4258272	0.0596869	-0.011085619	0.382635619	-0.01108562	0.382635619	-0.01108562	0.382635619	
X Variable 8	0.022913	0.038291063	0.5983772	0.575660915	-0.07551781	0.12134281	-0.07551781	0.12134281	-0.07551781	0.12134281	
X Variable 9	0.022250	0.038291063	0.5810755	0.586396841	-0.07618031	0.12068031	-0.07618031	0.12068031	-0.07618031	0.12068031	

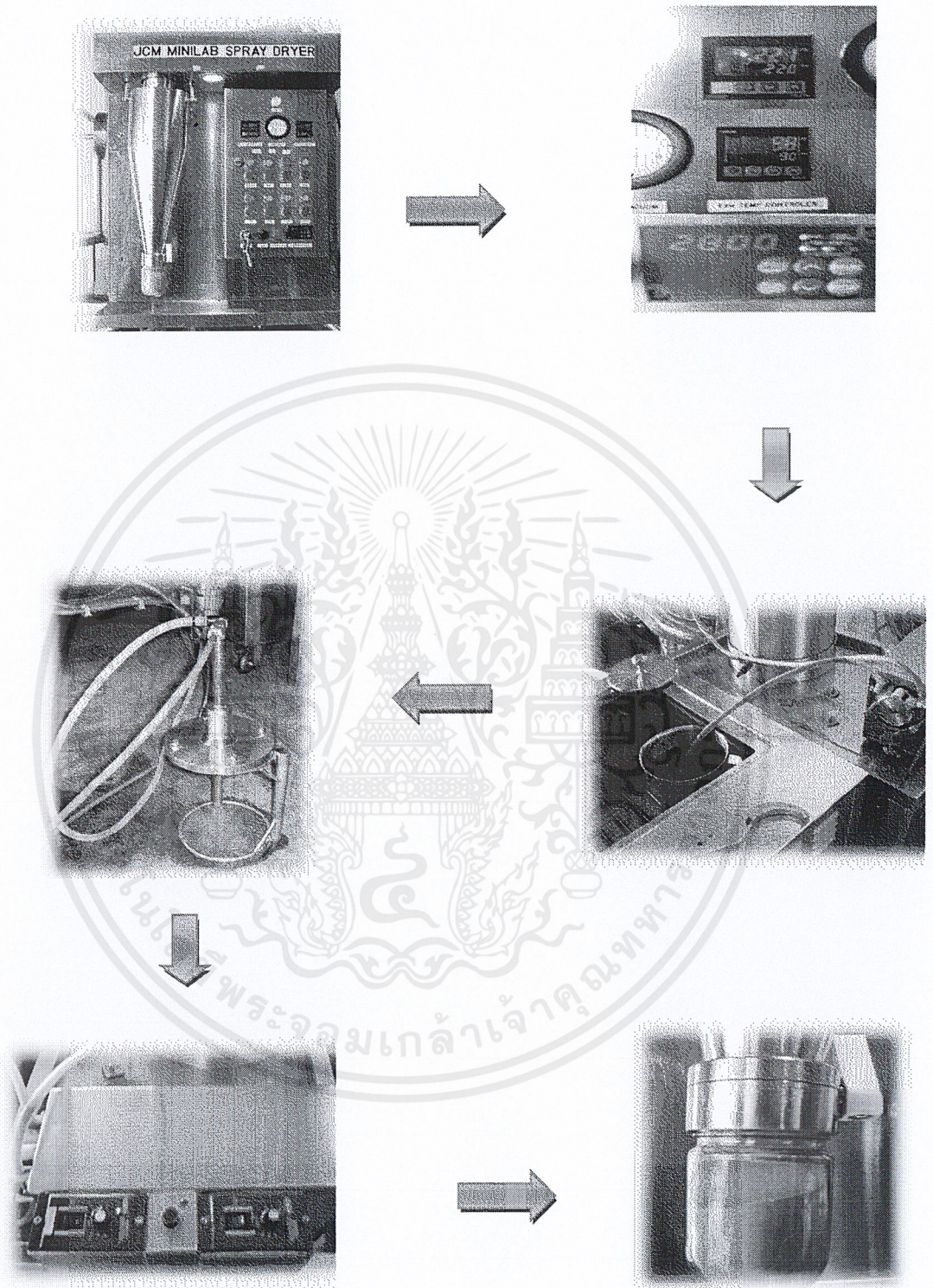
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ. รูปภาพเกี่ยวกับโครงการ



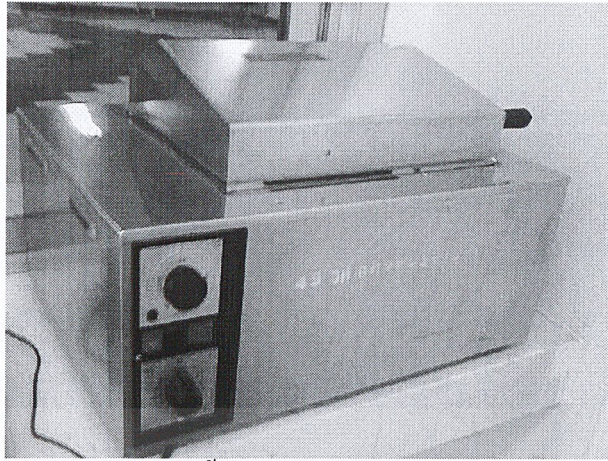
รูปที่ จ.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.2 การเตรียมเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

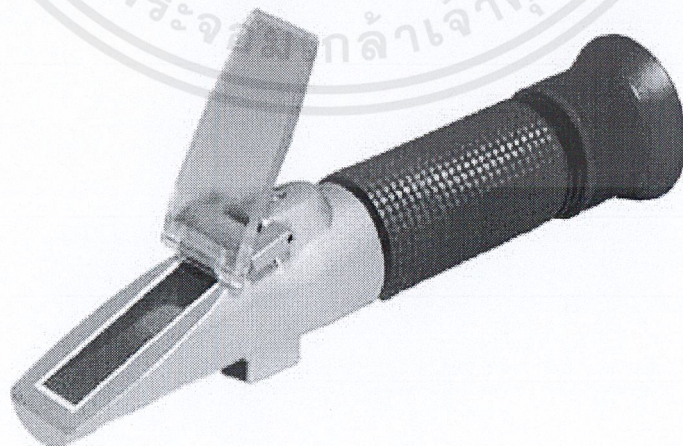
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.3 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)

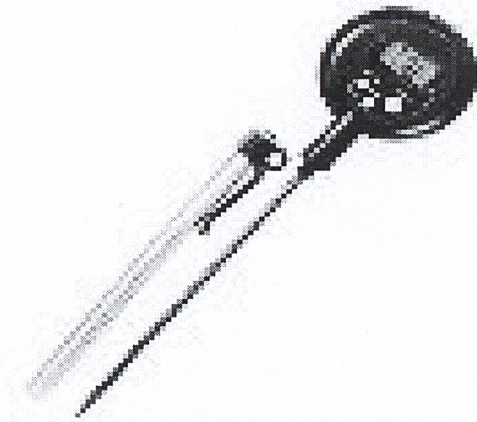


รูปที่ จ.4 เครื่องวัด pH

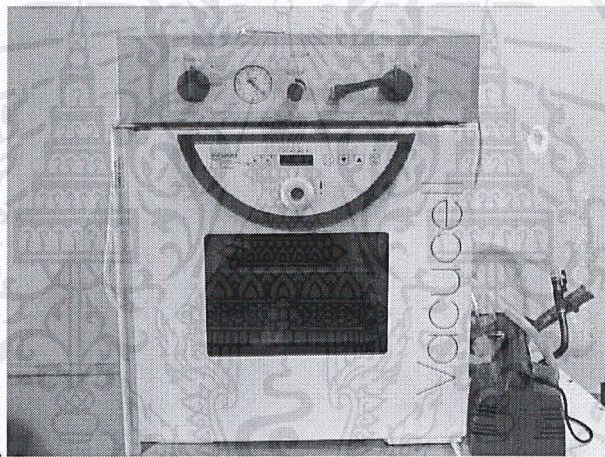


รูปที่ จ.5 refractometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.6 เทอร์โมมิเตอร์แบบเสียบ

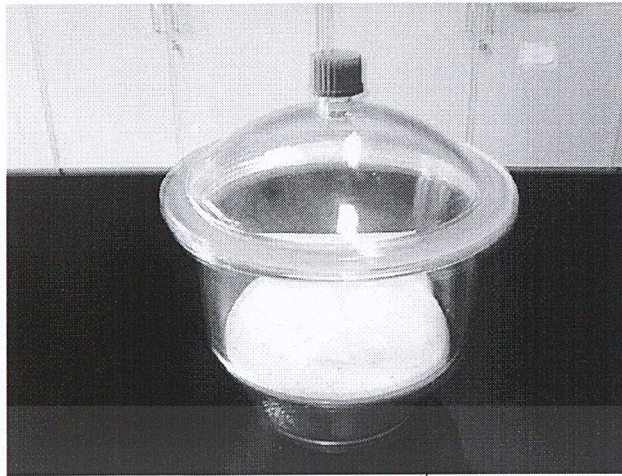


รูปที่ จ.7 เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vaccum oven)

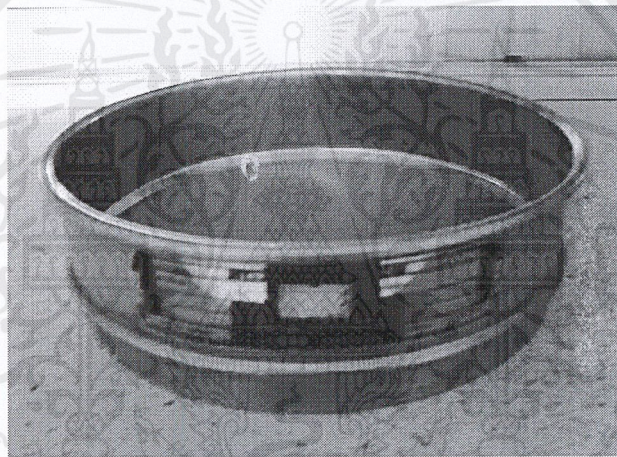


รูปที่ จ.8 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (Oven)

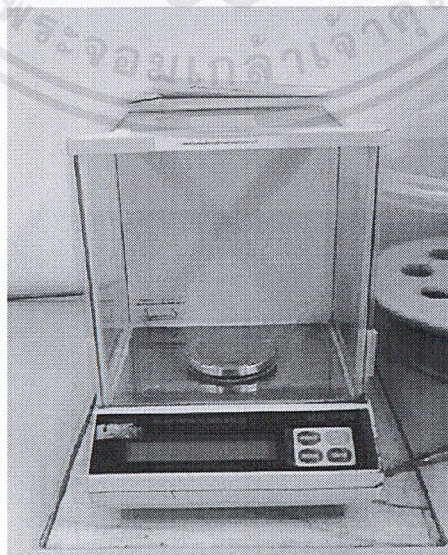
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.9 โถดูความชื้น

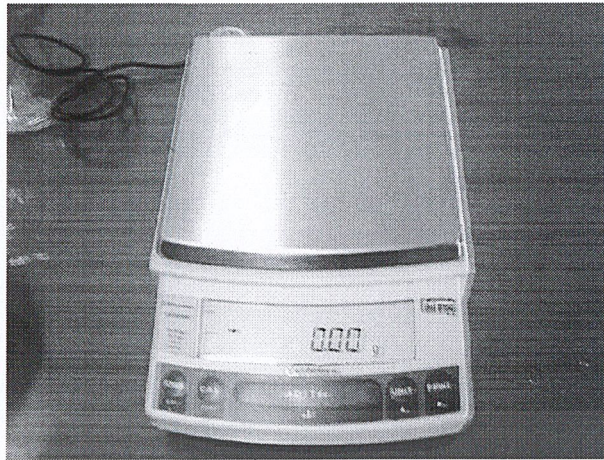


รูปที่ จ.10 sieve 200 μ



รูปที่ จ.11 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.12 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง



รูปที่ จ.13 Magnetic stirrer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง. มาตรฐานกาแฟผอง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาแฟ

มอก. 1169-2536

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 2461175

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ เล่ม 110 ตอนที่ 134

วันที่ 13 กันยายน พุทธศักราช 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาแฟ

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ชนิดและแบบ ส่วนประกอบ คุณลักษณะที่ ต้องการ วัตถุเจือปนอาหาร สุกลักษณะ การบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่าง และเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาแฟ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาแฟ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลว ได้จากน้ำที่สกัด จากกาแฟคั่วบดหรือน้ำที่ได้จากการละลายกาแฟสำเร็จรูป อาจมีน้ำตาล ครีมเทียมหรือนม ผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท หรือหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็น ผง ได้จากกาแฟสำเร็จรูปผสมครีมเทียมหรือนมผงอาจมีน้ำตาลผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท

3. ชนิดและแบบ

- 3.1 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาแฟแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ
 - 3.1.1 ชนิดเหลว แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ
 - 3.1.1.1 กาแฟดำ
 - 3.1.1.2 กาแฟผสมครีมเทียมหรือนม
 - 3.1.2 ชนิดผง มีแบบเดียว คือ กาแฟสำเร็จรูปผสมครีมเทียมหรือนมผง

4. ส่วนประกอบ

- 4.1 ส่วนประกอบหลัก
 - 4.1.1 ชนิดเหลว
 - 4.1.1.1 น้ำกาแฟ
 - 4.1.1.2 ครีมเทียม หรือนมสด หรือนมผง (เฉพาะกาแฟผสมครีมเทียมหรือนม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.1.2 ชนิดผง
 - 4.1.2.1 กาแฟสำเร็จรูป
 - 4.1.2.2 ครีมเทียมหรือนมผง
- 4.2 ส่วนประกอบที่อาจมีได้
 - 4.2.1 น้ำตาล เช่น น้ำตาลทราย ฟรักโทส

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

- 5.1 สีและกลิ่นรส
 - 5.1.1 สี ต้องมีสีน้ำตาลไหม้ตามธรรมชาติของน้ำกาแฟ หรือสีน้ำตาลเข้มออกนวลเมื่อมีการปรุงแต่งด้วยครีมเทียมหรือนม
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
 - 5.1.2 กลิ่นรส ต้องมีกลิ่นรสเข้มข้นของกาแฟและรสชาติของส่วนประกอบที่ใช้เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนตามข้อ 11.1 แล้ว ต้องได้คะแนนเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3 คะแนน และไม่มี 1 คะแนน จากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง
- 5.2 กาเฟอีน
 - 5.2.1 ชนิดผง ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักเมื่อปราศจากความชื้น
 - 5.2.2 ชนิดเหลว ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.005 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC (1990) ข้อ 962.13
- 5.3 ความชื้น (เฉพาะชนิดผง)
ต้องไม่เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก
การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC (1990) ข้อ 979.12
- 5.4 สิ่งที่ไม่ละลาย
ต้องไม่พบ
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 11.2

6. วัตถุเจือปนอาหาร

6.1 วัตถุกันเสีย

ห้ามใช้วัตถุกันเสียทุกชนิด

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC (1990) ข้อ 960.38 และข้อ 972.19

6.2 สารให้ความหวานแทนน้ำตาล

ห้ามใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลทุกชนิด

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC (1990) ข้อ 960.38 และข้อ 941.10

6.3 สี

ห้ามใช้สีสังเคราะห์ทุกชนิด

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม Modern food analysis, F.L. Hart and H.J. Fisher, Springer

- Verlag, New York, 1971

7. สุขลักษณะ

7.1 สุขลักษณะให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดสุขลักษณะของอาหาร มาตรฐานเลขที่ มอก. 34

7.2 จุลินทรีย์ที่อาจมีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาแฟ ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดต่อไปนี้

7.2.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC (1990) ข้อ 966.23 (C)

7.2.2 โคลิฟอร์ม (coliform) โดยวิธีเอ็มพีเอ็น (MPN) ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC (1990) ข้อ 966.24

7.2.3 สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC (1990) ข้อ 975.55

7.2.4 ยีสต์และราต้องไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC (1990) ข้อ 940.37 (E)

8. การทดสอบ

8.1 กลิ่นรส

8.1.1 เครื่องมือ

8.1.1.1 ภาชนะแก้วใสไม่มีสี จำนวนเท่ากับผู้ตรวจสอบ

8.1.1.2 ซ้อนเหล็กกล้าไร้สนิม

8.1.2 การเตรียมตัวอย่าง

เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน เติลงในภาชนะแก้วใสใบละประมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วนำไปทดสอบทันที ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาเฟชนิดผง ให้เตรียมตัวอย่างตามวิธีที่ระบุไว้ที่ฉลากแล้วนำไปทดสอบทันที

8.1.3 วิธีทดสอบ

8.1.3.1 คณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาเฟอย่างน้อย 5 คน แต่ละคนจะแยกกันตรวจและให้คะแนน โคนอิสระ

8.1.3.2 หลักเกณฑ์การให้คะแนนให้เป็นไปตามตารางที่ 2 โดยรายงานเป็นคะแนนเฉลี่ยของกรรมการทั้งหมด

ตารางที่ 2 หลักเกณฑ์การให้คะแนน
(ข้อ 8.1.3.2)

ระดับการตัดสินใจ	คะแนน
กลิ่นรสของกาเฟ เข้มข้นและมีรสชาติดีมาก	5
กลิ่นรสของกาเฟ เข้มข้นและมีรสชาติดี	4
กลิ่นรสของกาเฟ เข้มข้นและมีรสชาติพอใช้	3
กลิ่นรสของกาเฟ น้อยและรสชาติไม่ดี	2
กลิ่นรสผิดปกติ เช่น กลิ่นหืน กลิ่นอับ	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

