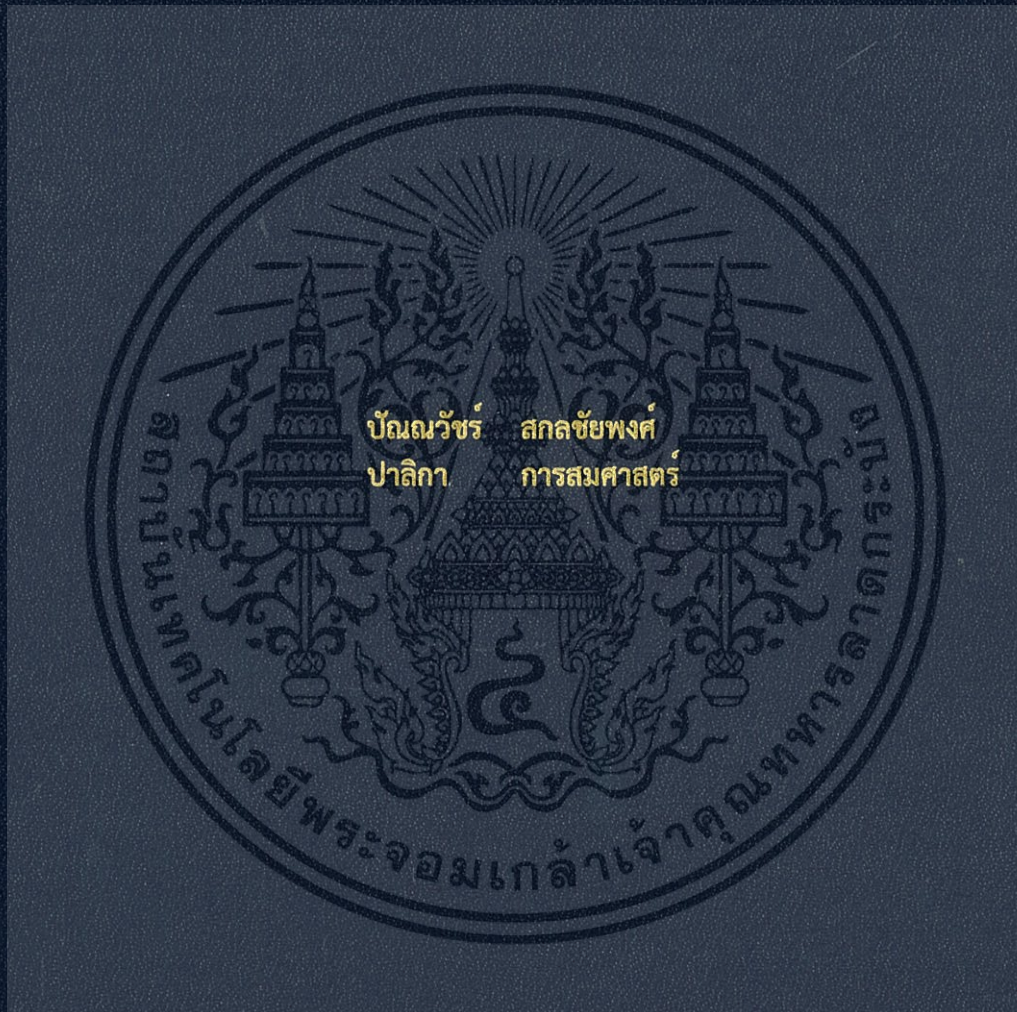


การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดอนุภาคสำหรับอาหารผง

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF
A SIMPLE PARTICLE SIZE ANALYSIS FOR FOOD POWDER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดอนุภาคสำหรับอาหารผง

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF
A SIMPLE PARTICLE SIZE ANALYSIS FOR FOOD POWDER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF
A SIMPLE PARTICLE SIZE ANALYSIS FOR FOOD POWDER



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2560

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดอนุภาคสำหรับอาหารผง

Development of a Prototype of a Simple Particle Size Analysis
for Food Powder

ผู้จัดทำ

1. นายปิ่นณวัชร สกลชัยพงศ์ รหัสประจำตัว 57010768
2. นางสาวปาลิกา การสมศาสตร์ รหัสประจำตัว 57010771



(ดร.มธุรดา จิโนรส)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดอนุภาคสำหรับอาหารผง
นักศึกษา	นายปณณวัชร สกลชัยพงศ์ นางสาวปาติกา การสมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.มธุรดา จิโนรส
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

ขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดของอนุภาคเป็นสมบัติที่สำคัญเป็นอย่างมากของอาหารผง เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพอาหารและการนำไปใช้งาน อีกทั้งยังบ่งชี้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้อีกด้วย โดยทั่วไปนิยมวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคด้วยวิธีการกระเจิงแสง ซึ่งใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ระดับห้องปฏิบัติการที่มีราคาสูง หรือวิธีการร่อนผ่านตะแกรงร่อน ซึ่งสามารถบอกได้เพียงช่วงขนาดอนุภาคและความถูกต้องแม่นยำขึ้นกับความละเอียดเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในปัจจุบันการวิเคราะห์ลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพกำลังได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความคุ้มค่าของอุปกรณ์และมีความละเอียดแม่นยำในการวิเคราะห์สูง ทว่าความแม่นยำและถูกต้องในการวิเคราะห์นั้น ขึ้นอยู่กับกระบวนการถ่ายภาพที่เหมาะสมและระเบียบวิธีวิเคราะห์ภาพเป็นสำคัญ จึงเป็นที่มาของโครงการนี้ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคสำหรับอาหารผงโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพที่สามารถใช้งานได้โดยง่าย เพื่อประโยชน์ในการควบคุมและตรวจสอบผลิตภัณฑ์ โดยทำการพัฒนาระเบียบวิธีถ่ายภาพด้วยเครื่องกราฟิกและโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคจากภาพ สำหรับวัสดุอาหารผงทึบแสงที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 1.4 มิลลิเมตร และเปรียบเทียบความแม่นยำกับวิธีวัดมาตรฐาน (วิธีการร่อนผ่านตะแกรง) โดยมีความแม่นยำไม่น้อยกว่า 95% นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาผลของเทคนิคในการกระจายผงอนุภาคที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพ เนื่องจากการซ้อนทับกันของอนุภาคส่งผลเป็นอย่างยิ่งต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ อาจทำให้ขนาดอนุภาคที่วิเคราะห์ได้มีความคลาดเคลื่อนจากที่ควรจะเป็น โดยศึกษาเทคนิคการกระจายผงด้วยการปาดด้วยแปรงพู่กัน การร่อนผ่านตะแกรง และการเคาะผ่านตะแกรง ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ได้แก่ 10 15 และ 20 เซนติเมตร และศึกษาปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ทั้งนี้พบว่าเทคนิคการกระจายผงตัวอย่างปริมาณ 0.05 กรัม ด้วยการเคาะผ่านตะแกรงที่ระยะความสูง 15 เซนติเมตร มีความแม่นยำสูงสุดเมื่อเทียบกับวิธีการร่อนผ่านตะแกรง ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน

คำสำคัญ : ขนาดอนุภาค, การกระจายขนาดอนุภาค, อาหารผง, การวิเคราะห์ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Development of a Prototype of a Simple Particle Size Analysis for Food Powder	
Students	Mr. Pannawach	Sakolchaipong
	Ms. Palika	Karnsomsart
Project Advisor	Dr. Maturada Jinorose	
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Food Engineering	
Academic Year	2017	

ABSTRACT

Particle size and size distribution of particles are very important properties of food powder since they directly relate with food quality, usage and could be used to identify efficiency of the process. Generally, particle size and size distribution are measured using laser light scattering method, which used a costly laboratory equipment, or using sieve analysis method, which could only evaluate the size in range and accuracy also depends on appropriate resolution of the device that was used. Recently, characterizing and evaluating quality of product using image analysis technique was gaining a lot of attention due to cost effective and high accuracy of the results. However, accuracy of the technique is depend greatly on appropriate image acquisition and algorithm of analysis. In this study, a prototype analyzer for inspecting and analyzing particle size and size distribution of food powder using image analysis technique was developed to be used for monitoring and controlling quality of the product. The image acquisition using a scanner and procedure for particle size and size distribution analysis were developed for opaque food powder range from 0.25 to 1.4 mm with accuracy more than 95 %. The obtained results were compared with results obtained from standard method (Sieve analysis). In addition the effect of powder distribution technique for image acquisition on accuracy of analysis was also studied because overlapping particles might cause an inaccurate analysis. The distribution techques including stroking with brush, moving sieve and knocking sieve at different height (i.e., 10 , 15 and 20 cm) and the sampling weight were studied. It was found that results obtaind from knocking sieve technique at 15 cm height with 0.05 g of sample had highest accuracy compared with results obtained from sieve analysis technique.

Keywords: Particle size, Particle size distribution, Food powder, Image analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้ง||งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะความกรุณาจาก ดร.มธุรดา จิโนรส ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ คำสั่งสอน และแนะนำแนวทางในการดำเนินโครงการ และให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ ทางคณะผู้ทดลองขอขอบคุณพระองค์เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณอาจารย์และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน ที่คอยให้การอบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่คณะผู้ทดลอง ตลอดจนให้การสนับสนุนโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญโท นางสาวอัญญนันท์ เสถียรกิจอำไพ ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำโครงการ

สุดท้ายนี้คณะผู้ทดลองขอขอบคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์ รวมถึงพี่ ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	3
2.1 อาหารผง	3
2.2 ขนาดและการกระจายขนาด	4
2.3 สมบัติอาหารผงที่สำคัญ	4
2.4 วิธีวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดมาตรฐาน	5
2.5 การสูมตัวอย่างอาหารผง	8
2.6 การวิเคราะห์ด้วยภาพ	9
2.7 เครื่องกราดภาพ	9
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	11
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	11
3.2 วัสดุทดลอง	12
3.3 ทดลองวิธีมาตรฐาน (การร่อนผ่านตะแกรง)	11
3.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน	11
3.5 ทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม	12
3.6 ศึกษาเทคนิคการกระจายผง	12
3.7 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายผง	12
3.8 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์	13
3.9 จัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ	13
3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	15
4.1 ประสิทธิภาพของโปรแกรมวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเบื้องต้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน	15
4.2 ผลของปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายผง	16
4.3 ผลของปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ภาพถ่าย	23
4.4 การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์	24
4.5 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบในการกระจายผง	27
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	29
5.1 สรุปผลการทดลอง	29
5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาต่อ	29
เอกสารอ้างอิง	30
ภาคผนวก	32
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	33
ภาคผนวก ข รูปการทดลอง	38
ภาคผนวก ค ชุดคำสั่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล	40

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คำศัพท์ต่าง ๆ ที่ใช้ในอาหารผง	3
4.1 ความแม่นยำของการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างข้าวบดของวิธีวิเคราะห์ด้วยภาพเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน	16
4.2 ความแม่นยำที่ D_{50} ที่ระยะความสูงต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน	21
4.3 ความคลาดเคลื่อนที่ระยะความสูงต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน	21
4.4 อิทธิพลของผู้วัดต่อความแม่นยำเฉลี่ยที่ D_{50} ของการกระจายผงครีมเทียมจากวิธีวิเคราะห์ด้วยภาพเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน	22
4.5 อิทธิพลของผู้วัดต่อค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการกระจายผงครีมเทียมจากวิธีวิเคราะห์ด้วยภาพเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน	22
4.6 ความแม่นยำเฉลี่ยที่ D_{50} ของการกระจายผงปรุงรสเมื่อเปลี่ยนผู้ทดลองเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน	23
4.7 ความแม่นยำที่ D_{50} เมื่อเพิ่มจำนวนอนุภาค เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน	24
4.8 จำนวนอนุภาคที่วิเคราะห์ได้จากการทดสอบจุดรับแรงตำแหน่งต่าง ๆ	27
ข.1 ตัวอย่างภาพวัสดุอาหารที่ถ่ายจากเครื่องกราฟก่อนและหลังเข้าโปรแกรมวิเคราะห์ขนาดและอนุภาค	39

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างอาหารผงชนิดต่าง ๆ	3
2.2 การวางของชั้นตะแกรง	5
2.3 การกระจายขนาดอนุภาค	6
2.4 การคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่าง	6
2.5 ผลกระทบของการเปลี่ยนแอมพลิจูด	7
2.6 แอมพลิจูดของอนุภาค	7
2.7 หลักการทำงานของเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง	8
2.8 วิธีการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการรวบรวมสี่	9
2.9 หลักการทำงานของเครื่องกราฟภาพระบบ CCD	10
2.10 หลักการทำงานของเครื่องกราฟภาพระบบ CIS	10
4.1 การกระจายขนาดของตัวอย่างข้าวบดเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน	15
4.2 การกระจายขนาดของผงครีมเทียม ตัวอย่างอาหารขนาด 250 ไมโครเมตร	16
4.3 การกระจายขนาดของผงปรุงรส ตัวอย่างอาหารขนาด 600 ไมโครเมตร	17
4.4 การกระจายขนาดของเม็ดสาคู ตัวอย่างอาหารขนาด 1410 ไมโครเมตร	17
4.5 การกระจายขนาดจากการสุ่มตัวอย่างโดยวิธีการใช้ช้อนตัก	18
4.6 การกระจายขนาดจากการสุ่มตัวอย่างโดยวิธีการรวบรวมสี่	18
4.7 การกระจายขนาดของผงครีมเทียมจากการปาดแปรงพู่กันที่ระยะความสูงต่าง ๆ	19
4.8 การกระจายขนาดของผงครีมเทียมจากการเคาะผ่านตะแกรงที่ระยะความสูงต่าง ๆ	20
4.9 การกระจายขนาดของผงครีมเทียมจากการร่อนผ่านตะแกรงที่ระยะความสูงต่าง ๆ	20
4.10 อิทธิพลของผู้วัดต่อการกระจายขนาดของผงครีมเทียมด้วยวิธีต่าง ๆ	22
4.11 อิทธิพลของผู้วัดต่อการกระจายขนาดของผงปรุงรสด้วยวิธีต่าง ๆ	23
4.12 การกระจายอนุภาคเมื่อถูกแบ่งภาพ	24
4.13 ต้นแบบอุปกรณ์ในการกระจายผง	25
4.14 ขนาดของต้นแบบอุปกรณ์ในการกระจายผง	26
4.15 การกระจายขนาดผงครีมเทียมจากอุปกรณ์ต้นแบบในการกระจายผง	27
4.16 การกระจายขนาดผงปรุงรสจากอุปกรณ์ต้นแบบในการกระจายผง	28
ก.1 การกระจายขนาดผงครีมเทียมจากการปาดแปรงพู่กันเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง	34
ก.2 การกระจายขนาดผงครีมเทียมจากการเคาะผ่านตะแกรงเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง	34
ก.3 การกระจายขนาดผงครีมเทียมจากการร่อนผ่านตะแกรงเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง	35
ก.4 การกระจายขนาดผงปรุงรสจากการปาดแปรงพู่กันเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง	35
ก.5 การกระจายขนาดผงปรุงรสจากการเคาะผ่านตะแกรงเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง	36
ก.6 การกระจายขนาดผงปรุงรสจากการร่อนผ่านตะแกรงเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง	36
ก.7 การกระจายขนาดผงครีมเทียมจากอุปกรณ์ต้นแบบเมื่อเปลี่ยนผู้ทดลอง	37
ก.8 การกระจายขนาดผงปรุงรสจากอุปกรณ์ต้นแบบเมื่อเปลี่ยนผู้ทดลอง	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การควบคุมให้อาหารผงมีขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคถูกต้องตามที่ต้องการเป็นสิ่งที่สำคัญมากเนื่องจากขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคนั้นส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพอาหาร เช่น ความสามารถในการละลายน้ำ เป็นต้น นอกจากนั้นขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคของผงที่มาจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของละอองขณะพ่นฝอยซึ่งขนาดละอองนั้นขึ้นอยู่กับหัวพ่นฝอย เมื่อเกิดการสีกก่อนก็จะส่งผลต่อขนาดอนุภาคดังกล่าว หากขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์อาหารผงผิดปกติก็จะสามารถบอกระสิทธิภาพเครื่องได้

ในการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคแบบมาตรฐานที่นิยมคือ วิธีการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อนและเทคนิคการกระเจิงของแสง ซึ่งในการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อนและการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยแสงนั้นก็ทั้งข้อดีและข้อเสีย โดยข้อดีในการวิเคราะห์ด้วยการร่อนผ่านตะแกรง คือสามารถแยกเป็นกลุ่มแล้วนำไปใช้ต่อได้ ส่วนข้อเสีย คือไม่สามารถระบุขนาดอนุภาคของอาหารผงได้ชัดเจนบอกได้แค่เป็นช่วงของขนาดอนุภาค ส่วนข้อดีในการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยแสง คือสามารถวิเคราะห์อนุภาคขนาดเล็กมาก ๆ ได้โดยเหมาะกับอาหารผงที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1 นาโนเมตร ถึง 3 มิลลิเมตร แต่ในทางกลับกันไม่สามารถวิเคราะห์อนุภาคขนาดใหญ่ได้ นอกจากนั้นในการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคแบบมาตรฐานยังมีเรื่องค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ราคาค่อนข้างสูงอีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันได้มีการให้ความสนใจในการวิเคราะห์ด้วยภาพดิจิทัลมากขึ้น ซึ่งแม้ในการวิเคราะห์ด้วยภาพจะมีข้อดี คือมีความสะดวกรวดเร็ว และใช้ตัวอย่างอาหารผงในปริมาณที่น้อยกว่าการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคแบบมาตรฐาน แต่ก็มีข้อเสีย คือขนาดและการกระจายขนาดที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการซ้อนทับกันของอนุภาค

โครงการนี้จึงได้มีการศึกษาเทคนิคการกระจายผง เพื่อหาเทคนิคการกระจายผงที่ทำให้มีความแม่นยำสูง และมีความสะดวกต่อการใช้งาน เพื่อการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคสำหรับอาหารผงทึบแสงที่สามารถช่วยในการกระจายผง โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ด้วยภาพ เพื่อให้ใช้งานได้ง่ายในการควบคุมและตรวจสอบผลิตภัณฑ์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. วิเคราะห์ขนาดและอนุภาคของอาหารผงจากโปรแกรม MATLAB®
2. ศึกษาเทคนิคการกระจายผงที่เหมาะสม
3. ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุอาหารประเภทผงทึบแสงซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 0.25 มิลลิเมตร ถึง 1.41 มิลลิเมตร (60 mesh ถึง 14 mesh)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความแม่นยำของขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคที่วิเคราะห์ได้ มีความแม่นยำไม่น้อยกว่า 95% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำต้นแบบอุปกรณ์กระจายผงไปช่วยในส่วนของ การกระจายผงเพื่อให้อนุภาคไม่ซ้อนทับกันเพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดความคลาดเคลื่อนจากผู้ทดลอง โดยนำไปใช้ควบคู่กับต้นแบบอุปกรณ์การวิเคราะห์ขนาด และการกระจายขนาดของอนุภาคสำหรับอาหารผงที่บดแห้งที่ใช้โปรแกรมที่ทางกลุ่มวิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อควบคุม และตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้และ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมอาหารต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

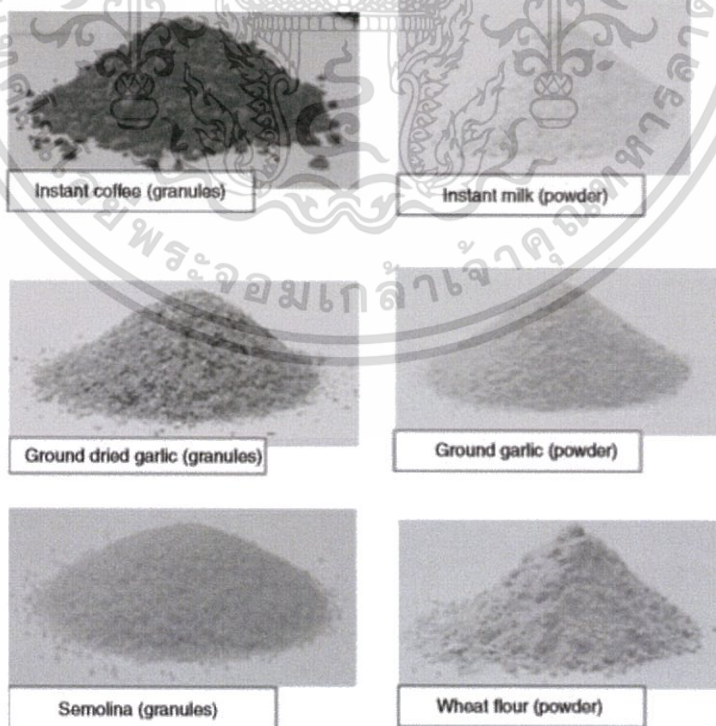
2.1 อาหารผง

อาหารผง คือ อาหารแห้งที่มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก ที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ไมโครเมตรถึงมิลลิเมตร เช่น นมผง น้ำตาล สตาร์ช วัตถุเจือปนอาหาร เป็นต้น โดยจะมีคำเรียกของแต่ละช่วงขนาดดังแสดงในตารางที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นของเหลวหรือของแข็งจะถูกแปลงเป็นผงเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานและการรักษาคุณภาพ โดยจะนำของเหลวหรือของแข็งมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum Dryer) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) การลดขนาดด้วยเครื่องมือ เครื่องบด เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560; Bhandari, 2013)

ตารางที่ 2.1 คำศัพท์ต่าง ๆ ที่ใช้ในอาหารผง

คำศัพท์	ขนาดอนุภาค (μm)
ผง (Powder)	50 - 200
เม็ดเล็ก ๆ (Granules)	200 - 4000
ป่น (Flour)	100 - 5000
ละเอียดย (Dust)	5 - 100

(ที่มา : Bhandari, 2013)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างอาหารผงชนิดต่าง ๆ (Bhandari, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ขนาดและการกระจายขนาด

ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคอาหารผงส่งผลต่อคุณภาพอาหารผงเนื่องจากขนาดและการกระจายขนาดนั้นส่งผลกระทบต่อความชื้น และวอเตอร์แอกทีวิตี้ จึงต้องมีการควบคุมขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคเพื่อควบคุมให้มีค่าวอเตอร์แอกทีวิตี้ต่ำกว่า 0.6 และมีความชื้นต่ำกว่า 15% เพื่อป้องกันการเกิดจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียทั้ง รา ยีสต์ และแบคทีเรีย นอกจากนี้ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคยังส่งผลต่อ คุณภาพทางประสาทสัมผัสซึ่งมีผลต่อการยอมรับของอาหาร ได้แก่ รสชาติ เนื้อสัมผัส (Texture) ความหนืด (Viscosity) การเกาะติดกันเป็นก้อน (Caking) และยังส่งผลต่อลักษณะปรากฏ เช่น หน้าที่า สี และความสามารถในการไหล (Flowability) ซึ่งส่งผลต่อ กระบวนการถ่ายโอน จัดเก็บ ผสม นอกจากส่งผลต่อความชื้นแล้วยังส่งผลต่อความสามารถในการละลายอีกด้วย และขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคของผงที่มาจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของละอองขณะพ่นฝอยซึ่งขนาดละอองนั้นขึ้นอยู่กับหัวพ่นฝอย (Barbosa-Cánovas et al., 2013; Retsch GmbH Haan, 2009; Schuck et al., 2012; ทิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560) ดังนั้นหากขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์อาหารผงมีการผิดปกติก็จะสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุได้ง่ายขึ้น

2.3 สมบัติอาหารผงที่สำคัญ

ขนาดอนุภาคและโครงสร้าง (Particle Size and Powder Structure)

เป็นสมบัติหลักที่ส่งผลต่ออาหารผงทั้งความสามารถในการไหล ความหนาแน่น การละลายน้ำ จึงต้องมีการควบคุมขนาดอนุภาค และการกระจายขนาด (Schuck et al., 2012)

ความสามารถในการไหล (Flowability)

ความสามารถในการไหลอย่างอิสระของอาหารผง มีผลกับขั้นตอนการถ่าย โอน การจัดเก็บ และการผสม (Schuck et al., 2012)

ความหนาแน่น (Density)

มีความสำคัญเป็นอย่างมากโดย เกี่ยวข้องโดยตรงกับการบรรจุ การขนส่ง และการเก็บ โดยความหนาแน่นยิ่งมาจะยิ่งทำให้ประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ และการขนส่งต่อรอบได้ปริมาณเยอะขึ้น จึงทำให้ลดค่าขนส่ง และจัดเก็บได้ แต่อย่างไรก็ตาม ความหนาแน่นสูงก็จะมีผลต่อการคืนน้ำ (Rehydration) (Schuck et al., 2012)

การกระจายตัว (Dispersion)

ค่าที่บอกความสามารถ ในการที่จะกระจายตัวไม่เกาะตัวเป็นก้อนเมื่อสัมผัสกับน้ำโดย จะมีค่า Dispersibility Index (DI) เป็นตัวบอกความสามารถ ในการไม่เกาะตัวเป็นก้อนโดยมีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (Schuck et al., 2012)

การละลาย (Solubility)

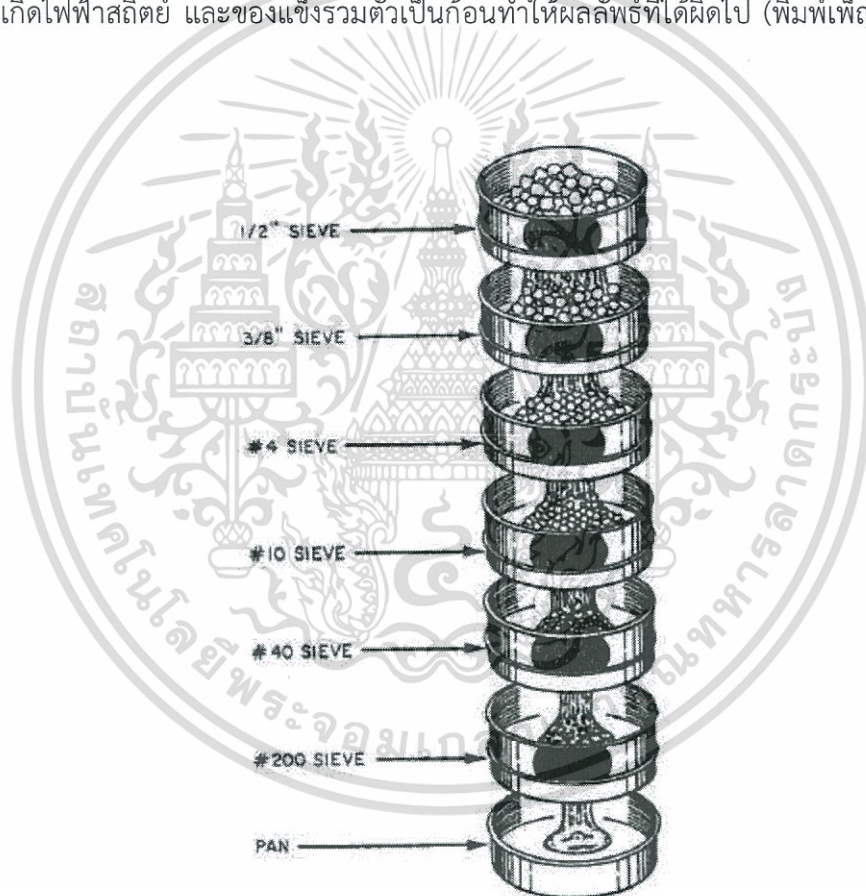
ซึ่งจะมี Solubility Index (SI) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการละลายโดย SI คือ อัตราส่วนของปริมาตรของของเหลวใหม่หลังจากผงละลาย และปริมาตรของตะกอน (Schuck et al., 2012)

2.4 วิธีวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดมาตรฐาน

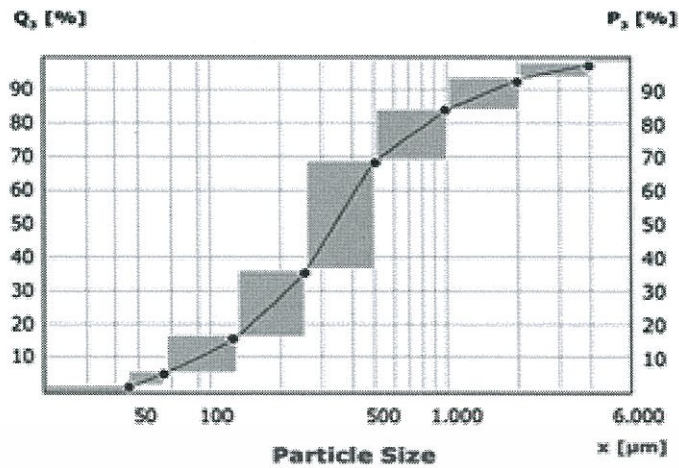
การวัดขนาดที่นิยมใช้กันและมีความเหมาะสมกับการใช้งานในอุตสาหกรรมอาหาร สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ วิธีโดยตรง เช่น การวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) และเทคนิคการกระเจิงของแสง (Laser Light Scattering) และวิธีโดยอ้อม เช่น การตกตะกอน การเหวี่ยงแยก ซึ่งโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหารจะนิยมใช้วิธีการวิเคราะห์โดยตรง คือ การวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) (Schuck et al., 2012)

การวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis)

โดยหลักการคือ ของแข็งที่มีขนาดใหญ่เกินขนาด (oversize) จะค้างอยู่บนตะแกรง ส่วนของแข็งที่เล็กเกินขนาด (undersize) จะลอดผ่านช่องตะแกรงไปได้ การใช้เครื่องมือช่วยให้ตะแกรงเคลื่อนไหวหรือสั่น (sieve shaker) จะช่วยให้การร่อนมีประสิทธิภาพดีขึ้น และในเวลาที่น้อยลง แต่จะต้องไม่ใช่ตัวอย่างมากเกินไปในการทดลองครั้งหนึ่ง ๆ เพราะจะทำให้ของแข็งไปอุดตามช่อง หรืออาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ และของแข็งรวมตัวเป็นก้อนทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ผิดไป (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560)



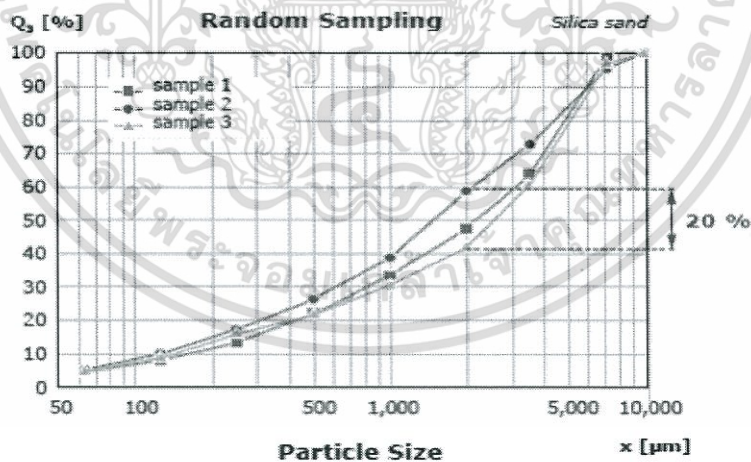
รูปที่ 2.2 การวางของชั้นตะแกรง (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2560)



รูปที่ 2.3 การกระจายขนาดอนุภาค (Retsch GmbH, 2009)

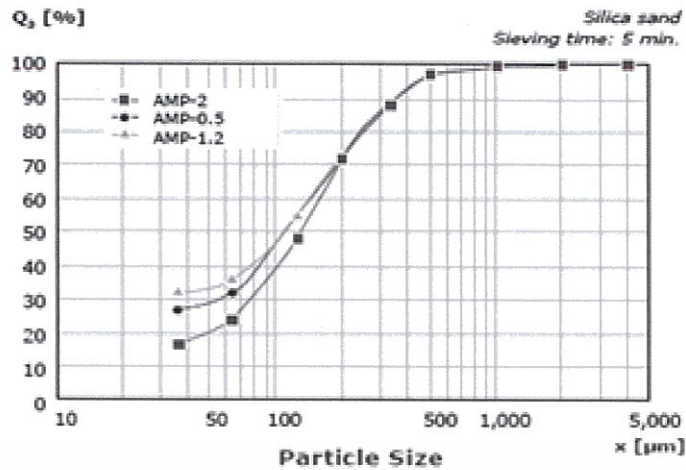
ปัจจัยในการร่อนผ่านตะแกรง

การจะทำให้วิธีร่อนผ่านตะแกรงมีความแม่นยำ และน่าเชื่อถือควรเริ่มตั้งแต่ การเตรียมตัวอย่าง โดยมีตัวอย่างแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าการร่อนผ่านตะแกรงจะดำเนินการเหมือนเดิม แต่การสุ่มตัวอย่าง (เช่น การใช้ถ้วยตัก) หากทำอย่างไม่ถูกต้องจะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ต่างกัน และไม่มีความสามารถในการทำซ้ำเลยแม้ว่าตัวอย่างที่นำมาใช้นั้นมาจากที่เดียวกัน แต่กลับได้ผลลัพธ์แตกต่างกันถึง 20% (Retsch GmbH Haan, 2009)



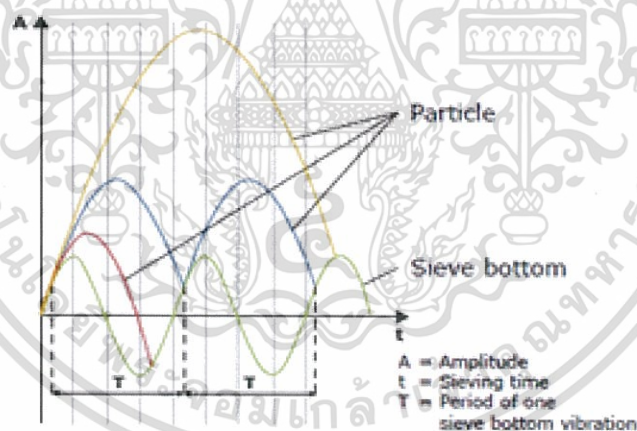
รูปที่ 2.4 การคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่าง (Retsch GmbH, 2009)

นอกจากนี้ความสามารถในการวัดยังขึ้นกับแอมพลิจูดในการสั่นที่เหมาะสมสำหรับการร่อน แสดงให้เห็นว่า แอมพลิจูดที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อผลการร่อนตะแกรงดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ผลกระทบของการเปลี่ยนแอมพลิจูด (Retsch GmbH, 2009)

โดยจากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าจากการร่อนทรายซิลิกาถูกร่อนเป็นเวลา 5 นาที เท่า ๆ กัน ด้วยแอมพลิจูด 0.5, 1.2, และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าแอมพลิจูดเหมาะสมมากที่สุดคือ 1.2 มิลลิเมตร โดยพิจารณาการลอยตัวของอนุภาคหากลอยสูงเกินไปจะไม่ผ่านตะแกรงหากลอยต่ำเกินไปจะติดตะแกรง ดังรูปที่ 2.6

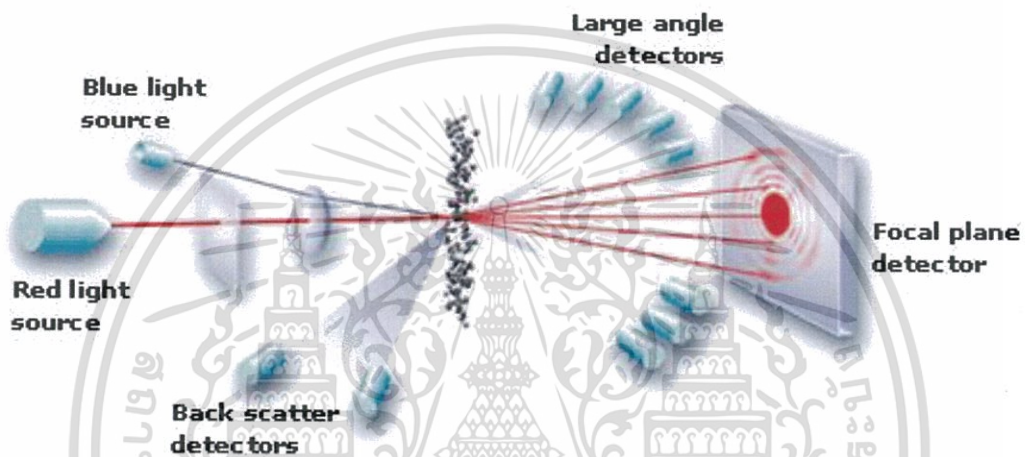


รูปที่ 2.6 แอมพลิจูดของอนุภาค (Retsch GmbH, 2009)

การหาเวลาร่อนที่ดีที่สุดจะอ้างอิงตามมาตรฐาน DIN 66165 คือเมื่อเริ่มเปิดเครื่องเขย่า ตะแกรง หากภายในหนึ่งนาที ได้น้ำหนักตะแกรงชั้นสุดท้ายเพิ่มขึ้นน้อยกว่า 0.1% จะถือว่าเป็นเวลาที่ดีที่สุด หากตะแกรงชั้นสุดท้ายยังมีน้ำหนักเพิ่มมากกว่า 0.1% ขึ้นไป ให้ทำซ้ำอีกหนึ่งนาทีไปเรื่อย ๆ จนกว่าน้ำหนักตัวอย่างที่ชั้นล่างสุดของตะแกรงจะเพิ่มขึ้นน้อยกว่า 0.1% (Retsch GmbH, 2009)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง (Laser Diffraction)

หลักการของเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง (Laser Diffraction Technique) คือเมื่อแสงเดินทางผ่านอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็น ของไหลจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เชิงแสงที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ การเลี้ยวเบนแสง แสงที่เลี้ยวเบนจากอนุภาคจะมีรูปแบบของความเข้มที่เป็นรูปแบบเฉพาะโดยความเข้มของแสงขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค และความถี่ของคลื่นแสง นอกจากนี้ลำแสงที่ส่องผ่านไปยังอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในของเหลวจะถูกกระเจิงโดยอนุภาคทำให้เกิดภาพปรากฏเป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนแบบพาร์ฟิลด์ (Far field diffraction pattern) ที่อุปกรณ์วัดแสง (Photocell detector) ซึ่งวางตั้งฉากกับเส้นเดินของแสงมีลักษณะเป็นวงมืดและสว่างที่มีความเข้มสัมพันธ์กับขนาดอนุภาค (MTEC, 2560)



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง (Malvern, 2018)

การกระจายขนาดอนุภาคที่ D_{50}

D_{50} หรือเรียกอีกอย่างว่า X_{50} คือ เส้นผ่าศูนย์กลางมัธยฐานของการกระจายขนาดของอนุภาค (Median diameter) เป็นค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคที่ 50% ในการกระจายสะสมนิยมใช้เพื่อบอกขนาดอนุภาคสำหรับอาหารผง (Isizercomadmin, 2018)

2.5 การสูมตัวอย่างอาหารผง

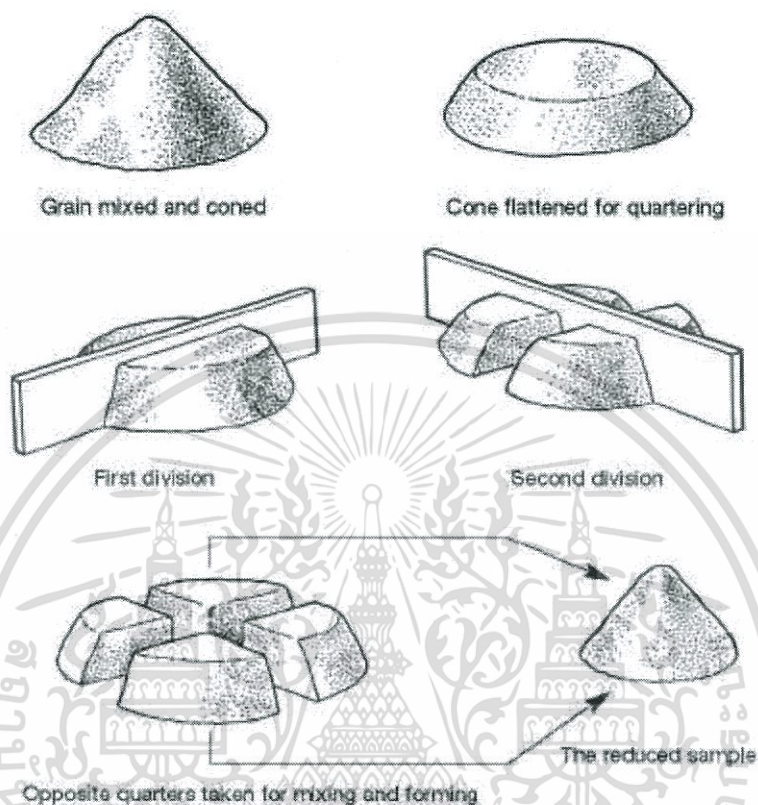
การสูมตัวอย่างนั้นมีหลากหลายวิธี ซึ่งจะเลือกใช้แตกต่างกันไปตามความต้องการ ข้อที่ต้องคำนึงถึง คือความแม่นยำของขนาดอนุภาคที่ได้ ระยะเวลา ความสะดวก ค่าใช้จ่ายของการดำเนินการ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสูมตัวอย่าง โดยการสูมตัวอย่างที่รู้จักกันโดยทั่วไปมี 2 วิธี (Particles sciences, 2011)

การสูมตัวอย่างด้วยวิธีใช้ช้อนตัก

ใช้ช้อนตักลงไปในกองอาหารผงที่ตำแหน่งตรงกลางให้น้ำหนักตามที่ต้องการ (Particles sciences, 2011)

การสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการทยอยแบ่งสี่

แบ่งอาหารผงออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน จากนั้นเลือกส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันนำมารวมกัน และแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหม่ ทำจนกว่าจะได้น้ำหนักตามที่ต้องการ (Bumiller, 2012)



รูปที่ 2.8 วิธีการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการทยอยแบ่งสี่ (Bumiller, 2012)

2.6 การวิเคราะห์ด้วยภาพ

ในปัจจุบันมีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis Technique) มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร โดยทั่วไปจะนิยามภาพว่าเป็นรูปจำลองของวัตถุ ซึ่งเกิดจากการที่แสงตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนหรือส่องผ่านมาสู่อุปกรณ์รับแสงและตรวจจับ เช่น กล้องถ่ายภาพ กล้องจุลทรรศน์ เครื่องกราดภาพ (Scanner) (สั๊กมน, 2555)

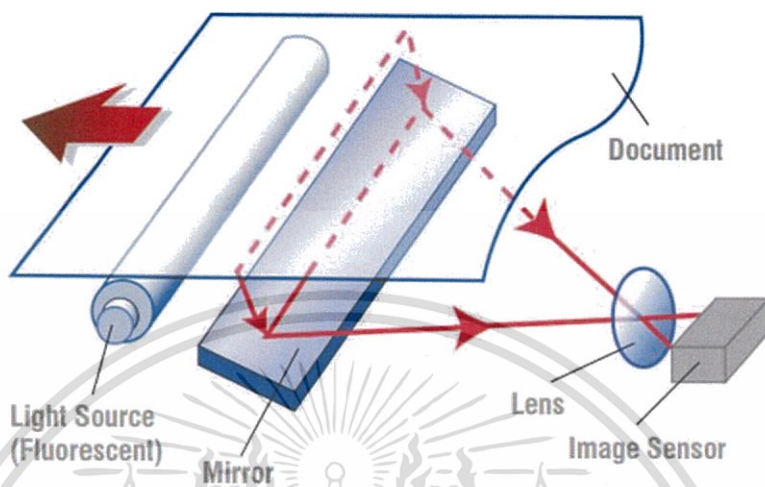
2.7 เครื่องกราดภาพ

เครื่องกราดภาพระบบ Charge Coupled Device (CCD)

เป็นการเก็บภาพโดยวิธีการฉายแสง สะท้อนแสง การส่ง และการรับแสงของเซนเซอร์ในสแกนเนอร์แบบแทนที่ใช้ระบบ CCD แสงจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งปกติคือแสงจากคาร์โบทแบบเย็นจะสะท้อนที่วัตถุแล้วถูกหักเหด้วยกระจกเงาและรับเข้าตัวเซนเซอร์ผ่านทางเลนส์ ซึ่งประกอบด้วยอิลีเมนต์ CCD ที่มีสมบัติจับแสงจำนวนมาก ในบางระบบ อิลีเมนต์ CCD เหล่านี้ อาจมีไมโครเลนส์วางอยู่หน้าไดโอดทุก ๆ ตัวเพื่อการจับแสงที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ด้วยสมบัติความไวแสงของชิป (Chip)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

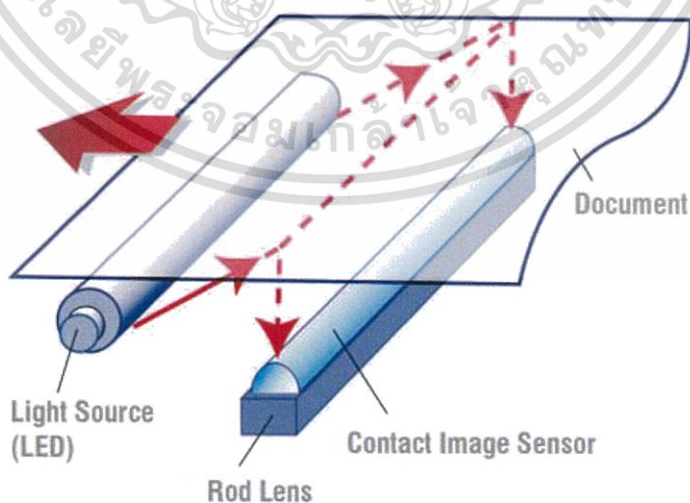
CCD ในการจับภาพและแปลงข้อมูลแสงในภาพให้เป็นแฟ้มข้อมูลดิจิทัล สิ่งที่ได้จาก CCD คือ ทำให้ภาพนั้นมีคุณภาพดีขึ้น ความไวแสงของสแกนเนอร์ดีขึ้น ลดสัญญาณรบกวนในภาพ และช่วงไดนามิกที่กว้างยิ่งขึ้น (Epson, 2015)



รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของเครื่องกราดภาพระบบ CCD (Captain Capture, 2017)

เครื่องกราดภาพระบบ Contact Image Sensor (CIS)

สำหรับเครื่องกราดภาพระบบ Contact Image Sensor หรือ CIS แสงจาก LED สี RGB (แดง เขียว น้ำเงิน) จะถูกสะท้อนออกมาจากต้นฉบับ จากนั้น แสงนั้นจะถูกส่งผ่านชุดเลนส์จำนวนหนึ่งโดยตรง แล้วไปตกที่เซ็นเซอร์รับภาพ (Epson, 2015)



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่องกราดภาพระบบ CIS (Captain Capture, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องเขย่าคัดขนาด (Sieve shaker) (Orto Alresa, TA 002, Spain)
2. ตะแกรงเบอร์ 10 (2 มิลลิเมตร), ตะแกรงเบอร์ 14 (1.41 มิลลิเมตร), ตะแกรงเบอร์ 20 (850 ไมโครเมตร), ตะแกรงเบอร์ 30 (600 ไมโครเมตร), ตะแกรงเบอร์ 40 (425 ไมโครเมตร), ตะแกรงเบอร์ 50 (300 ไมโครเมตร), ตะแกรงเบอร์ 60 (250 ไมโครเมตร), ตะแกรงเบอร์ 70 (212 ไมโครเมตร) (Endecotts)
3. เครื่องกราดภาพ (Scanner) ระบบ CIS (Epson, Perfection V39, Indonesia)
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง (Shimadzu, UX3200G, Japan)
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง (CT CARAT DIGITAL JEWELRY DIAMOND POCKET MINI SCALE CAPACITY/PRECISION: 20G/0.001G)
6. โปรแกรม MATLAB[®] and Image Processing Toolbox Release 2010 (The MathWorks[®], Inc., Natick, Massachusetts, United States)

3.2 วัสดุทดลอง

1. วัสดุตัวอย่างสำหรับศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรม ได้แก่ ข้าวบขนาด 250, 425, 600, 850 และ 1400 ไมโครเมตร
2. วัสดุอาหารผงจริง ได้แก่ ผงครีมเทียม ผงปรุงรส และเม็ดสาคุ

3.3 ทดลองวิธีมาตรฐาน (การร่อนผ่านตะแกรง)

ชั่งน้ำหนักอาหารผง 100 ± 1 กรัม ในเครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง ทำการร่อนผ่านตะแกรงโดยใช้เครื่องเขย่าคัดขนาด (Sieve shaker) และมีการจัดเรียงตะแกรง ดังนี้ ตะแกรงเบอร์ 14 (1.40 มิลลิเมตร), 20 (0.85 มิลลิเมตร), 30 (0.60 มิลลิเมตร), 40 (0.425 มิลลิเมตร), 60 (0.25 มิลลิเมตร) ตามลำดับ นำตัวอย่างใส่ตะแกรงชั้นบนสุด และปิดฝา โดยใช้เวลาในการร่อน 6 นาที และความถี่ 3 แอมพลิจูด ชั่งน้ำหนักตะแกรงแต่ละชั้น แล้วจดบันทึกน้ำหนักแต่ละชั้น เพื่อนำไปวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสะสม และขนาดอนุภาค เพื่อทำเป็นกราฟการกระจายขนาดของอนุภาค โดยต้องมีการทำซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

3.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

นำค่า D_{50} ที่ได้จากกราฟการกระจายขนาดมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำจากสมการ (1) (พิมเพ็ญ และนวกัทร่า, 2561)

$$\%Accuracy = 100 - \%Error \quad (1)$$

โดยที่

$$\text{Relative error} = \left| \frac{X_{\text{mea}} - X_t}{X_t} \right| \quad (2)$$

$$\% \text{Error} = \text{Relative error} \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ	X_{mea}	คือ	ค่าที่ได้จากการวัด (measure value)
	X_t	คือ	ค่าจริง (true value)

3.5 ทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

นำข้าวบดที่ทราบขนาดจากการร่อนผ่านตะแกรงแล้ว (4 ช่วงขนาด 250-425, 425-600, 600-850 และ 850-1400 ไมโครเมตร) มาช่วงขนาดละ 0.05 กรัม ทำการกระจายและเข้าเครื่องกราดภาพ จากนั้นนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ขนาดอนุภาคผ่านโปรแกรมวิเคราะห์ขนาดที่ทางกลุ่มวิจัยพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม MATLAB[®] ร่วมกับเครื่องกราดภาพระบบ CIS ซึ่งมีความแม่นยำ $98.29\% \pm 1.00$ มากกว่าเครื่องกราดภาพระบบ CCD ที่มีความแม่นยำ $97.87\% \pm 2.13$ (ณภัทร และคณะ, 2558) และพิจารณาขนาดอนุภาคที่อยู่ในช่วงนั้น ๆ เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

3.6 ศึกษาเทคนิคการกระจายผง

การกระจายผงด้วยตะแกรงโดยการร่อน

ใช้ตัวอย่างอาหารผงร่อนผ่านตะแกรงตามวิธีของ Ammarcha et al. (2017) โดยให้อนุภาคตัวอย่างอาหารผงหล่นลงบนแผ่นใสแล้วจึงนำไปถ่ายภาพโดยเครื่องกราดภาพ

การกระจายผงด้วยตะแกรงโดยการเคาะ

ใช้ตัวอย่างอาหารผงเคาะผ่านตะแกรง โดยให้อนุภาคตัวอย่างอาหารผงหล่นลงบนแผ่นใสแล้วจึงนำไปถ่ายภาพโดยเครื่องกราดภาพ

การกระจายผงโดยใช้วิธีปาดแปรงพู่กัน

ใช้แปรงพู่กันแบนขนาด 0.02 เมตร ($\frac{3}{4}$ นิ้ว) สัมผัสตัวอย่างอาหารผง จากนั้นลูบแปรงด้วยกระดาษลึง ตามวิธีของ Igathinathane et al. (2009) โดยให้อนุภาคของตัวอย่างอาหารผงหล่นลงบนแผ่นใสแล้วจึงนำไปถ่ายภาพโดยเครื่องกราดภาพ

3.7 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายผง

การหาน้ำหนักที่เหมาะสมในการกระจายผง

ซึ่งน้ำหนักอาหารผงที่ทราบช่วงขนาดอนุภาคและทำการกระจายอาหารผงให้เต็มฐานเครื่องกราดภาพมากที่สุด และนำภาพที่ได้จากเครื่องกราดภาพระบบ CIS (Scanner) ไปวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม วิเคราะห์ขนาดและอนุภาคที่ทางกลุ่มวิจัยพัฒนาขึ้น และพิจารณาความแม่นยำที่เกิดขึ้นในช่วงขนาดอนุภาคนั้น จากนั้นทำการลดน้ำหนักของอาหารผง และเลือกน้ำหนักที่มีความแม่นยำในช่วงอนุภาคนั้นมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสุ่มตัวอย่าง

สุ่มตัวอย่างอาหารผง (Particles sciences, 2011) ด้วยวิธีการใช้ช้อนตัก (Scoop Sampling) ใช้ช้อนตักอาหารผงในตำแหน่งตรงกลางและวิธีกรวยแบ่งสี่ (Cone & Quartering) แบ่งอาหารผงออกเป็น 4 ส่วน แล้วเลือกส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันมารวมกันและแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหม่ ทำจนกว่าจะได้น้ำหนักตามที่ต้องการ (Bumiller, 2012) จากนั้นเป็นเปรียบเทียบผลการทดลองจากการสุ่มตัวอย่างทั้ง 2 วิธี โดยนำผลการทดลองที่วิเคราะห์ผ่านโปรแกรมวิเคราะห์ขนาดอนุภาคมาวาดกราฟการกระจายขนาด และเปรียบเทียบความแม่นยำที่ D_{50} กับวิธีมาตรฐาน

ศึกษาผลของระยะความสูงต่อการกระจายผง

ใช้ตัวอย่างอาหารผง มาทดสอบการกระจายผงทั้ง 3 วิธี โดยมีระยะความสูงในการกระจายผงที่ทดลอง ได้แก่ 10, 15, 20 เซนติเมตร นำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมวิเคราะห์ขนาดและอนุภาค และนำมาเปรียบเทียบผลการทดลองจากกราฟการกระจายขนาดที่ D_{50} กับวิธีมาตรฐาน

ศึกษาอิทธิพลของผู้ทำการวัด

ศึกษาผลของผู้ทำการวัดโดยให้ผู้วัด มาทดสอบการกระจายผงทั้ง 3 วิธี โดยใช้ระยะความสูงจากหัวข้อ 3.4 และพิจารณาเลือกวิธีที่กระจายผงดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจากกราฟการกระจายขนาดที่ D_{50} กับวิธีมาตรฐาน

3.8 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ภาพถ่าย

ศึกษาเทคนิคการแบ่งภาพเพื่อวิเคราะห์

นำภาพถ่ายที่ได้จากเครื่องกราดภาพมาแบ่งภาพออกเป็น 9 ส่วนเท่า ๆ กัน และเลือกภาพที่มีการกระจายของอาหารผงที่ดีที่สุด นำมาเปรียบเทียบผลการทดลองจากกราฟการกระจายขนาดที่ D_{50} กับวิธีมาตรฐาน

ศึกษาการเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์

เตรียมตัวอย่างอาหารผง ทดสอบการกระจายผงด้วยการร่อนผ่านตะแกรง การเคาะผ่านตะแกรง และการปาดแปรงพู่กัน ถ่ายภาพแล้วทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มจำนวนครั้งเป็น 3, 6, และ 9 ครั้ง นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมวิเคราะห์ขนาดและอนุภาคของแต่ละภาพถ่ายมารวมกัน และนำมาเปรียบเทียบผลการทดลองจากกราฟการกระจายขนาดที่ D_{50} กับวิธีมาตรฐาน

3.9 จัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ

สร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่ช่วยในการกระจายผงซึ่งประยุกต์มาจากวิธีการกระจายผงที่ได้ทำการศึกษา โดยใช้มอเตอร์ความเร็ว 500 รอบต่อวินาที เพื่อช่วยในการสั่นสะเทือนในการกระจายผง ซึ่งได้มีการศึกษาดำเนินการของจุดรับแรงของต้นแบบอุปกรณ์ 5 ตำแหน่ง ห่างกันตำแหน่งละ 7 เซนติเมตร โดยเริ่มจากเสาสปริง และนำมาเปรียบเทียบผลการทดลองจากกราฟการกระจายขนาดที่ D_{50} กับวิธีมาตรฐาน

3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของอาหารผงด้วยการกระจายผงแบบต่าง ๆ มีการทำซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟการกระจายขนาด หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดอนุภาค



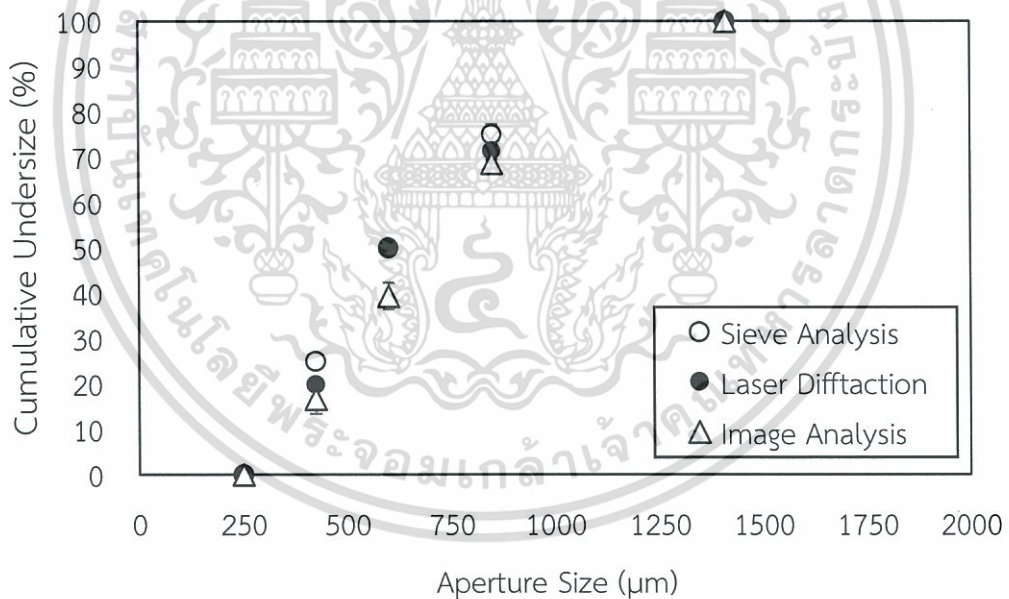
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ประสิทธิภาพของโปรแกรมวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเบื้องต้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

จากการทดลองนำข้าวบดมาทดสอบวัดขนาดด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วยภาพถ่าย และนำมาเปรียบเทียบความแม่นยำในแต่ละช่วงขนาดกับวิธีมาตรฐานได้แก่ วิธีการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) และการวิเคราะห์ด้วยการกระเจิงของแสง (Laser Diffraction) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าความแม่นยำในแต่ละช่วงขนาดอนุภาคของทั้ง 3 วิธี เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยวิธีวิเคราะห์ภาพเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานมีความแตกต่างอยู่ในช่วง 10-20% ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ขึ้นอยู่กับขนาดและวิธีการ เนื่องจากรูปทรงของข้าวบดซึ่งเป็นตัวอย่างทดสอบนั้นไม่ได้เป็นรูปทรงเดียวกันทุกอนุภาคเหมือนอาหารผงที่ได้จากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และอาจมีการซ้อนทับหรือติดกันของข้าวบดทำให้ขนาดที่วิเคราะห์ได้มีความคลาดเคลื่อน ส่งผลให้ความแม่นยำในแต่ละช่วงขนาดอนุภาคมีความแม่นยำแตกต่างกัน



รูปที่ 4.1 การกระจายขนาดของตัวอย่างข้าวบดเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

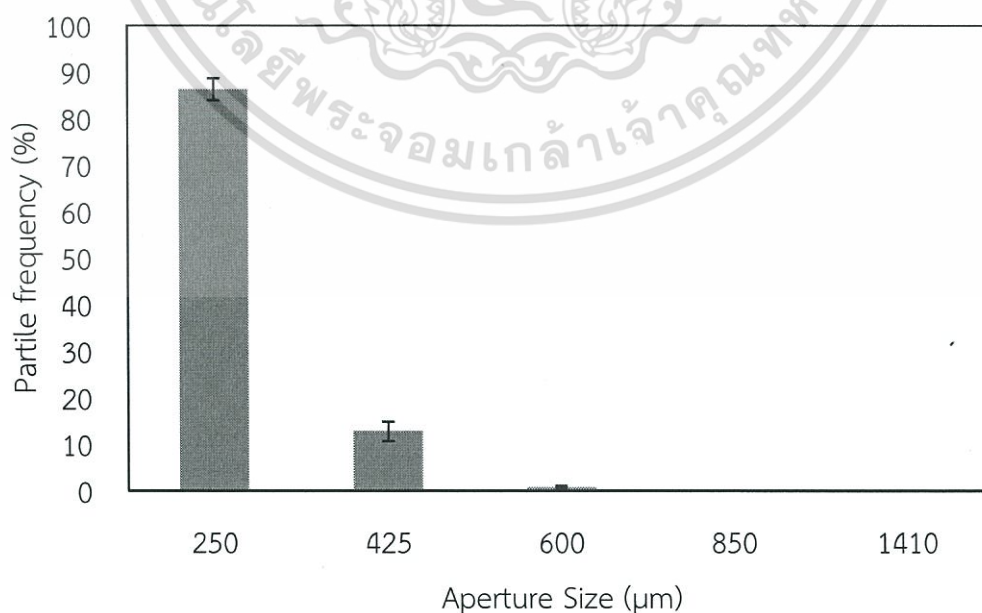
ตารางที่ 4.1 ความแม่นยำของการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างข้าวบดของวิธีวิเคราะห์ด้วยภาพ เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

ช่วงขนาด (μm)	ความแม่นยำของการวัดขนาด (%)	
	Sieve Analysis	Laser Diffraction
850-1410	74.55	90.65
600-850	82.85	64.49
425-600	90.95	75.91
250-425	66.45	84.10

4.2 ผลของปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายผง

น้ำหนัที่เหมาะสมในแต่ละช่วงขนาดอนุภาค

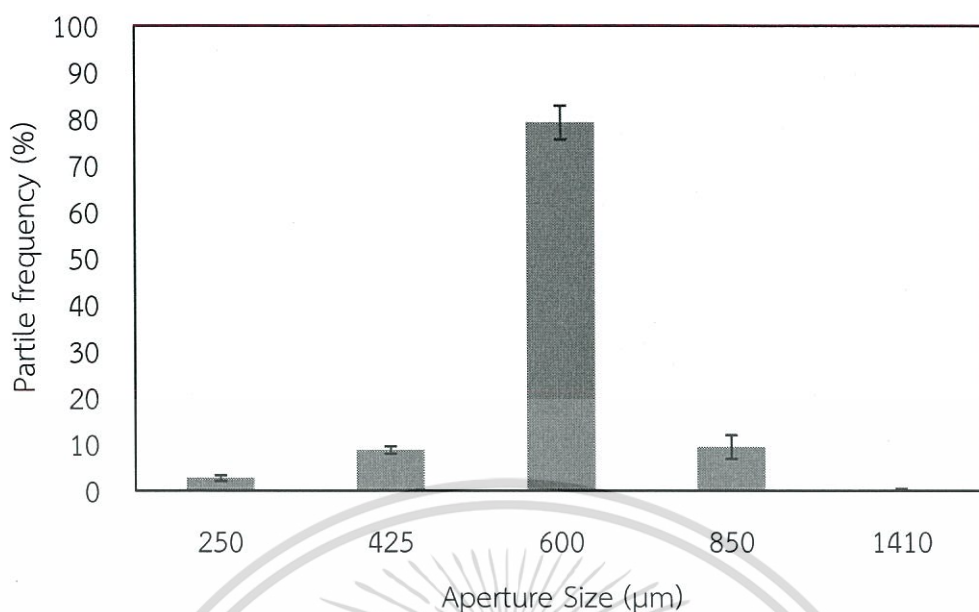
จากการกระจายผงช่วงขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันด้วยวิธีการปาดแปรงฟูกันตามวิธีของ Igathinathane et al. (2009) พบว่าที่อาหารผงช่วงขนาดอนุภาค 250 ไมโครเมตร น้ำหนักที่เหมาะสมในการกระจายผง ได้แก่ 0.05 กรัม เนื่องจากมีปริมาณอาหารผงที่อยู่ในช่วงขนาดที่ทำการวัดมากที่สุดอยู่ที่ 86.37% (รูปที่ 4.2) และน้ำหนักที่เหมาะสมในการกระจายผงช่วงขนาดอนุภาค 600 ไมโครเมตร ใช้น้ำหนัก 0.50 กรัม โดยมีปริมาณอาหารผงที่อยู่ในช่วงขนาดที่ทำการวัดมากที่สุดอยู่ที่ 79.16% (รูปที่ 4.3) และน้ำหนักที่เหมาะสมในการกระจายผงช่วงขนาดอนุภาค 1410 ไมโครเมตร ใช้ น้ำหนัก 1 กรัม โดยมีปริมาณอาหารผงที่อยู่ในช่วงขนาดที่ทำการวัดมากที่สุดอยู่ที่ 93.34% (รูปที่ 4.4) เนื่องจากขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันจะมีน้ำหนักที่ต่างกันออกไปส่งผลให้อาหารผงแต่ละขนาดมี น้ำหนักที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน ซึ่งในขั้นต้นเมื่อยังไม่ทราบขนาดอนุภาคของอาหารผงที่จะทำการ วิเคราะห์จึงเริ่มต้นทำการวัดโดยใช้น้ำหนัก 0.05 กรัม ในการกระจายผง



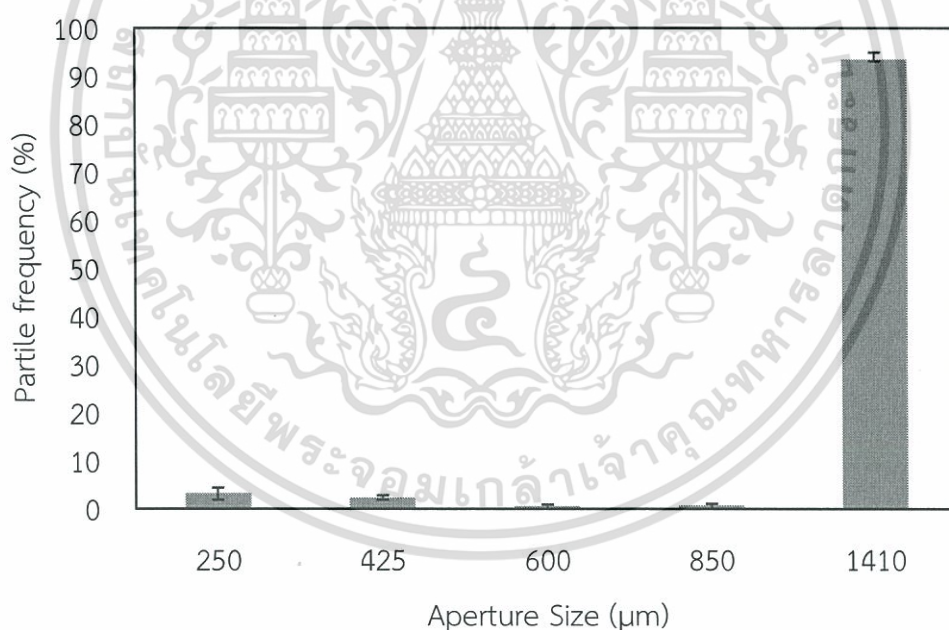
รูปที่ 4.2 การกระจายขนาดของผงครีมเทียม ตัวอย่างอาหารขนาด 250 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การกระจายขนาดของผงปรงรส ตัวอย่างอาหารขนาด 600 ไมโครเมตร

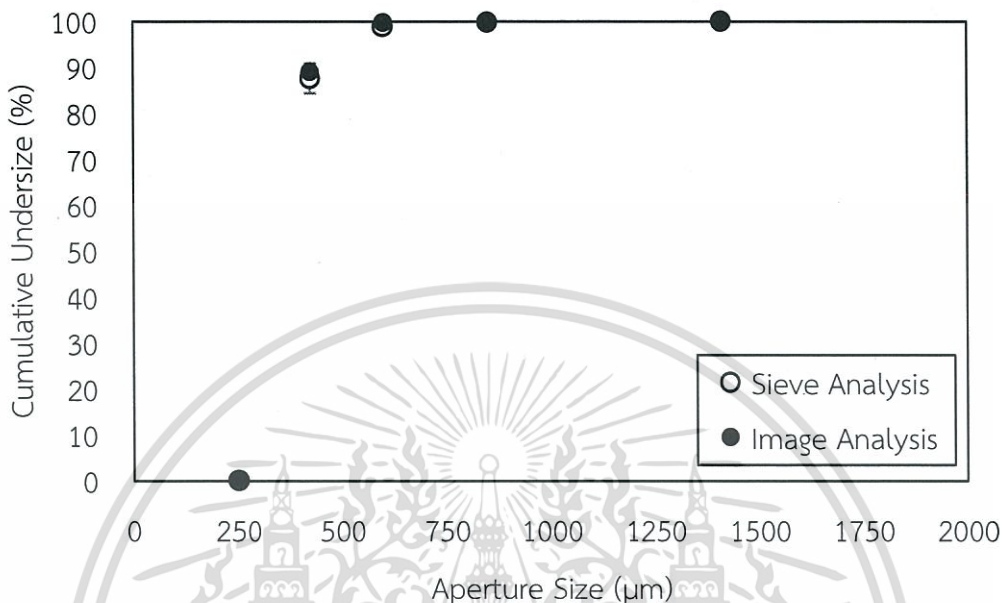


รูปที่ 4.4 การกระจายขนาดของเม็ดสาคุ ตัวอย่างอาหารขนาด 1410 ไมโครเมตร

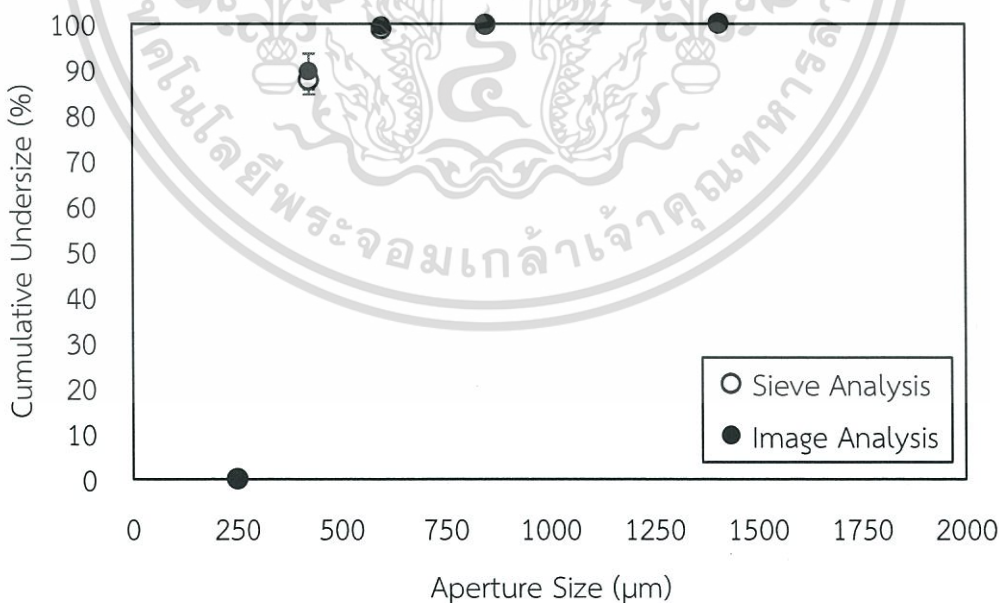
การสุ่มตัวอย่าง

จากการศึกษาผลของการสุ่มตัวอย่างอาหารผง เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ D_{50} (ซึ่งนิยมใช้เป็นตัวแทนขนาดอนุภาคจากการวิเคราะห์) ของการสุ่มตัวอย่างจากกราฟการกระจายขนาดและอนุภาค (รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6) เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน พบว่าการสุ่มโดยวิธีใช้ช้อนตักมีความแม่นยำ 99.53% ซึ่งมากกว่าการสุ่มตัวอย่างอาหารผงวิธีกรวยแบ่งสี่ซึ่งมีความแม่นยำ 99.38% ซึ่งสอดคล้องกับค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับทฤษฎีของ Particles sciences (2011) ที่รายงานว่า การสุมโดยวิธีใช้ช้อนตักมีความแม่นยำมากกว่าการสุมวิธีกรวยแบ่งสี่ และนอกจากนี้การสุมตัวอย่างโดยวิธีใช้ช้อนตักนั้นยังมีความสะดวกและใช้เวลาในการเตรียมวัตถุดิบที่น้อยกว่า



รูปที่ 4.5 การกระจายขนาดจากการสุมตัวอย่างโดยวิธีการใช้ช้อนตัก

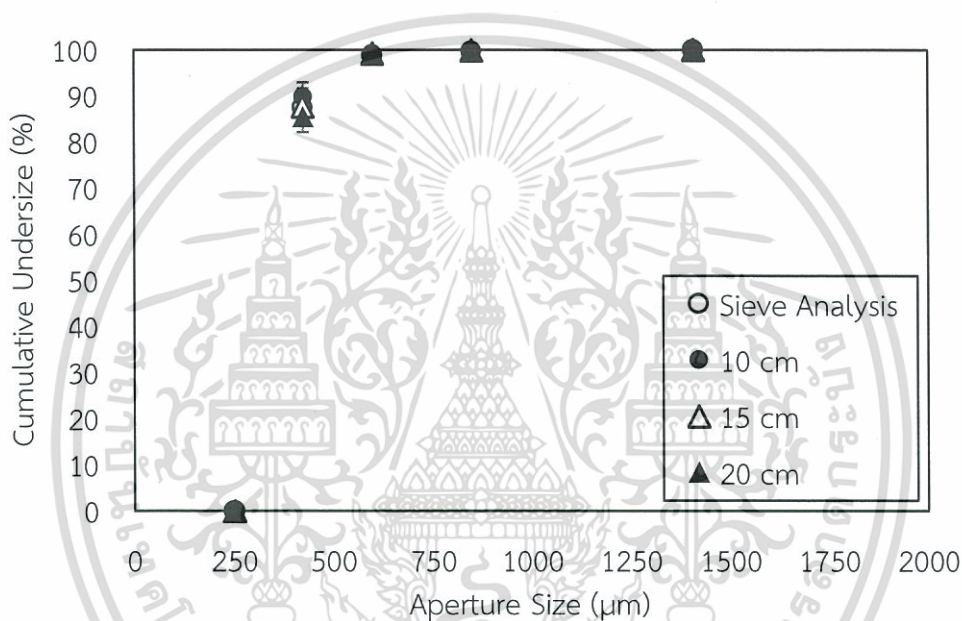


รูปที่ 4.6 การกระจายขนาดจากการสุมตัวอย่างโดยวิธีกรวยแบ่งสี่

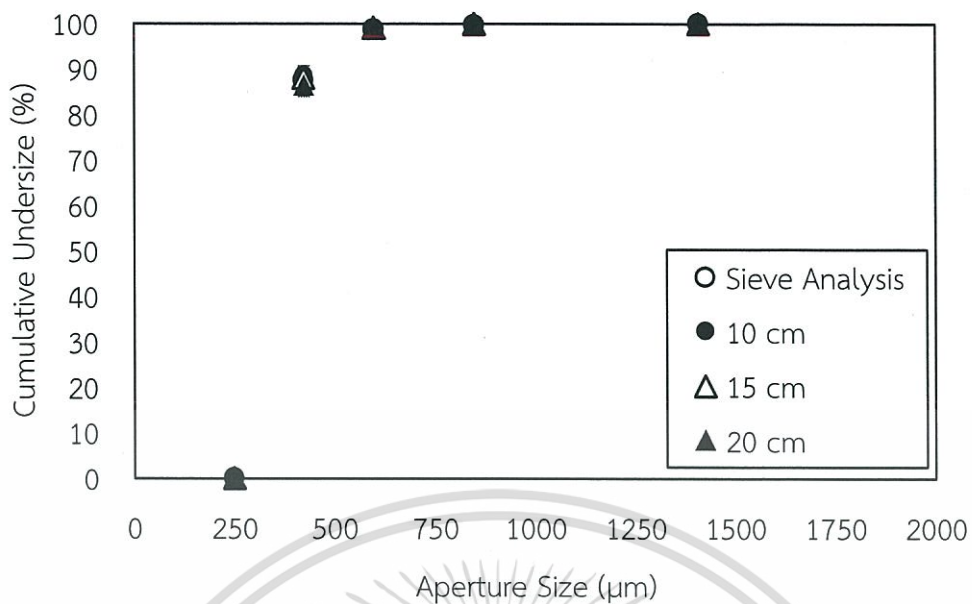
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะความสูงต่อการกระจายผง

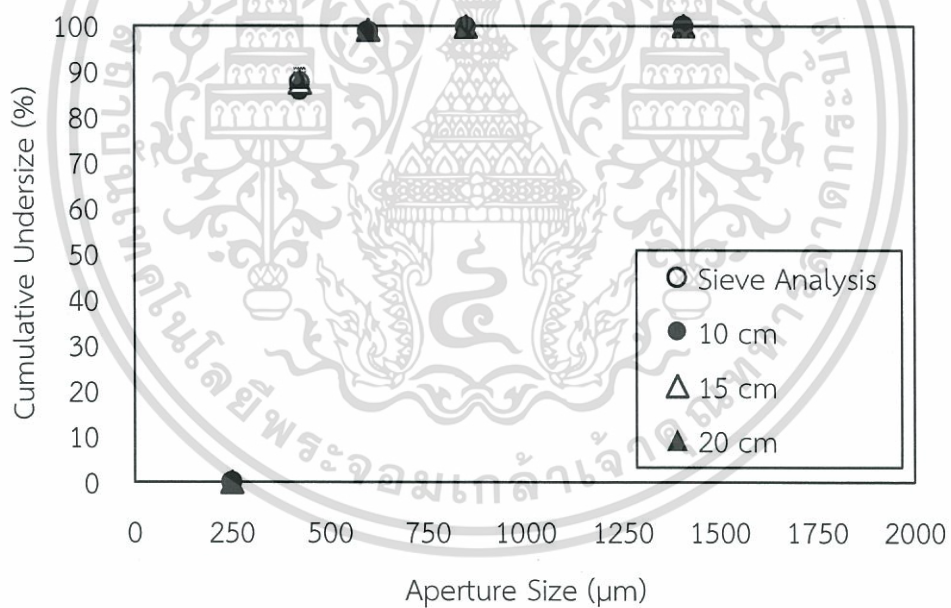
จากกราฟการกระจายขนาดที่ระยะความสูง 10, 15, 20 เซนติเมตร ด้วยวิธีการกระจายผง ด้วยการปาดแปรงพู่กัน (รูปที่ 4.7) การกระจายผงด้วยการเคาะผ่านตะแกรง (รูปที่ 4.8) และการร่อนผ่านตะแกรง (รูปที่ 4.9) เมื่อพิจารณากราฟการกระจายขนาดที่ D_{50} เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าที่ระยะความสูง 15 เซนติเมตร มีความแม่นยำมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Igathinathane (2009) ที่ได้มีการกระจายผงด้วยวิธีการปาดแปรงพู่กันที่ระยะความสูง 15 เซนติเมตร เนื่องจากที่ระยะความสูง 10 เซนติเมตร มีความแม่นยำน้อยกว่าเป็นเพราะมีระยะที่สั้นทำให้อาหารผงยังไม่มีการกระจายตัวที่ตีพอ และที่ระยะความสูง 20 เซนติเมตร มีระยะที่สูงเมื่อทำการกระจายผงแล้วทำให้มีการฟุ้งกระจายเกิดขึ้น



รูปที่ 4.7 การกระจายขนาดของผงครีมเทียมจากการปาดแปรงพู่กันที่ระยะความสูงต่าง ๆ



รูปที่ 4.8 การกระจายขนาดของผงครีมเทียมจากการเคาะผ่านตะแกรงที่ระยะความสูงต่าง ๆ



รูปที่ 4.9 การกระจายขนาดของผงครีมเทียมจากการร่อนผ่านตะแกรงที่ระยะความสูงต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความแม่นยำที่ D_{50} ที่ระยะความสูงต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

วิธีการกระจายผง	ระยะความสูง (ซม.)		
	10	15	20
	% ความแม่นยำ		
การปาดแปรงฟูกัน	99.29	99.92	99.29
การเคาะผ่านตะแกรง	99.67	99.84	99.62
การร่อนผ่านตะแกรง	99.38	99.73	99.71

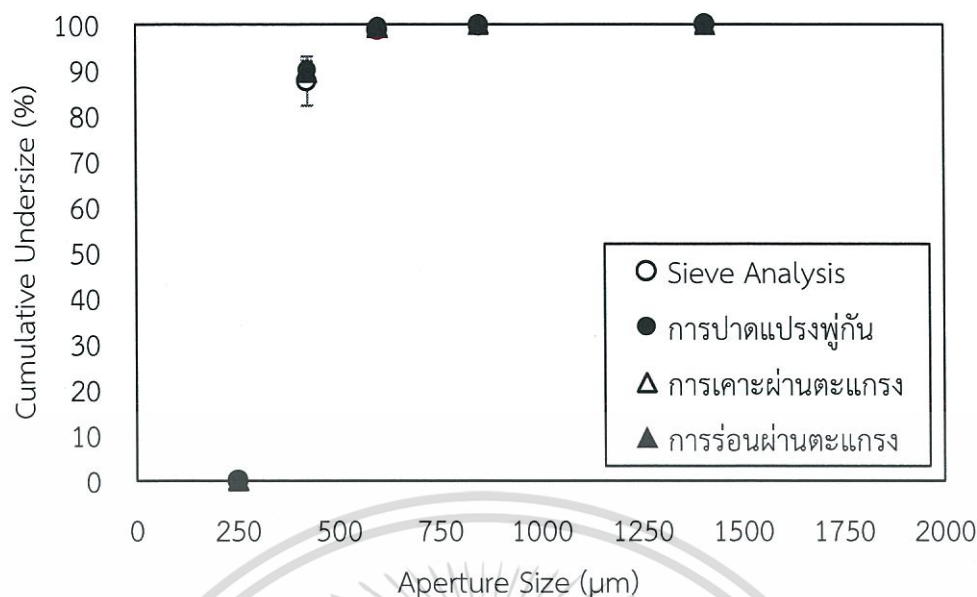
และเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์จากช่วงขนาดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานแล้ว พบว่าที่ระยะความสูง 15 เซนติเมตร เหมาะสมกับทุกวิธีการกระจายผง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนที่ระยะความสูงต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

วิธีการกระจายผง	ค่าความคลาดเคลื่อน	ความสูง (ซม.)		
		10	15	20
การปาดแปรงฟูกัน	RMSE	0.8327	0.1058	0.8060
	R ²	0.9995	1	0.9996
การเคาะผ่านตะแกรง	RMSE	0.3414	0.1481	0.4760
	R ²	0.9999	1	0.9999
การร่อนผ่านตะแกรง	RMSE	0.6962	0.2758	0.299
	R ²	0.9997	0.9999	0.9999

อิทธิพลของผู้ทำการวัด

จากกราฟการกระจายขนาดของอาหารจริง ได้แก่ ผงครีมเทียม ด้วยวิธีการกระจายผงทั้ง 3 วิธี ที่ได้มีการเปลี่ยนผู้ทำการวัดแล้วแสดงผลในภาคผนวก ก พบว่าผู้ทำการวัดแต่ละคนมีความชำนาญที่แตกต่างกันส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และเมื่อพิจารณากราฟการกระจายขนาดที่ D_{50} เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน พบว่าการกระจายผงด้วยการเคาะผ่านตะแกรง และการกระจายผงด้วยการร่อนผ่านตะแกรงเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการวัดมีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากัน แต่การกระจายผงด้วยการเคาะผ่านตะแกรงมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่า ดังแสดงในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.10 อิทธิพลของผู้วัดต่อการกระจายขนาดของผงครีมเทียมด้วยวิธีต่าง ๆ

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของผู้วัดต่อความแม่นยำเฉลี่ยที่ D_{50} ของการกระจายผงครีมเทียมจากวิธีวิเคราะห์ด้วยภาพเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

วิธีการกระจายผง	% ความแม่นยำ
การปาดแปรงพู่กัน	98.97 ± 0.28
การเคาะผ่านตะแกรง	99.38 ± 0.26
การร่อนผ่านตะแกรง	99.38 ± 0.55

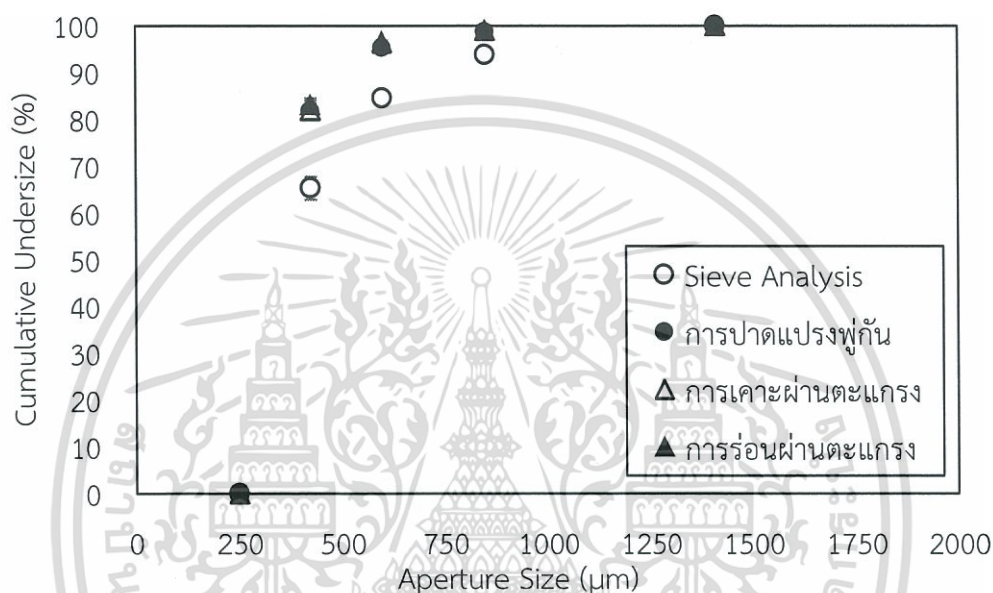
เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการวัดและมีการพิจารณาเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของผู้ทำการวัดกับวิธีมาตรฐาน พบว่าการกระจายผงด้วยการเคาะผ่านตะแกรงมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการกระจายผงด้วยการปาดแปรงพู่กันและการร่อนผ่านตะแกรง ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อิทธิพลของผู้วัดต่อค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการกระจายผงครีมเทียมจากวิธีวิเคราะห์ด้วยภาพเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

วิธีการกระจายผง	RMSE	R ²
การปาดแปรงพู่กัน	1.3090 ± 0.4984	0.9990 ± 0.0007
การเคาะผ่านตะแกรง	0.7168 ± 0.3376	0.9996 ± 0.0003
การร่อนผ่านตะแกรง	0.7644 ± 0.7557	0.9994 ± 0.0007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อทดสอบกับอาหารจริง ได้แก่ ผงปรุงรส ซึ่งเป็นอาหารผงที่มีหลายช่วงขนาดอยู่รวมกัน เมื่อนำมาทำการกระจายผงทั้ง 3 วิธี ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และพิจารณากราฟการกระจายขนาดที่ D_{50} เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน พบว่าการกระจายผงด้วยการเคาะผ่านตะแกรงมีความแม่นยำเฉลี่ยมากกว่าการกระจายผงด้วยการร่อนผ่านตะแกรง และการปาดแปรงฟู่กัน เช่นเดียวกันกับผงครีมเทียมเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการวัด ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ทว่าความแม่นยำมีค่าน้อยกว่า 95% เนื่องจากความหลากหลายของขนาดอนุภาค จึงต้องมีการปรับปรุงวิธีการกระจายผงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น



รูปที่ 4.11 อิทธิพลของผู้วัดต่อการกระจายขนาดของผงปรุงรสด้วยวิธีต่าง ๆ

ตารางที่ 4.6 ความแม่นยำเฉลี่ยที่ D_{50} ของการกระจายผงปรุงรสเมื่อเปลี่ยนผู้ทดลองเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

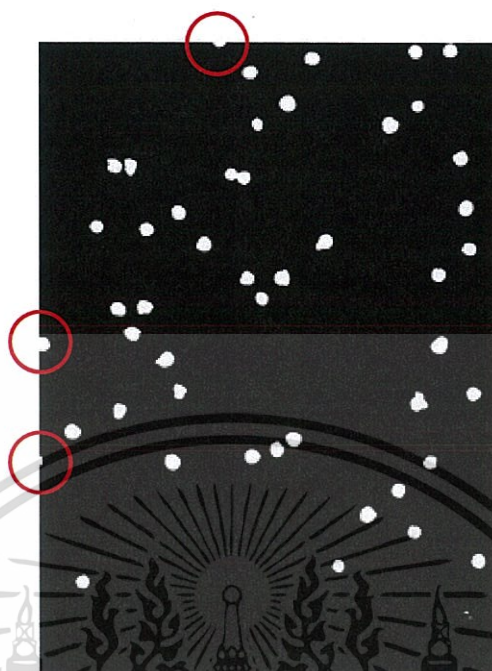
วิธีการกระจายผง	% ความแม่นยำ
การปาดแปรงฟู่กัน	93.93 ± 1.26
การเคาะผ่านตะแกรง	93.98 ± 1.16
การร่อนผ่านตะแกรง	92.52 ± 0.46

4.3 ผลของปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ภาพถ่าย

การแบ่งภาพเพื่อวิเคราะห์

จากการนำภาพถ่ายไปแบ่งออกเป็น 9 ส่วน แล้วเลือกภาพถ่ายที่ตัวอย่างไม่มีการทับซ้อนมาวิเคราะห์ผล พบว่าในอาหารผงอนุภาคละเอียดการเลือกภาพถ่ายมาวิเคราะห์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าการวิเคราะห์แบบเต็มภาพถ่าย เนื่องจากภาพถ่ายที่ถูกแบ่งส่วนนั้น อนุภาคผงไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนถูกตัดออกไปทำให้มีขนาดอนุภาคที่ผิดไปจากเดิมดังแสดงในรูปที่ 4.12 ส่งผลให้การวิเคราะห์ขนาดเกิดความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.12 อนุภาคเมื่อถูกแบ่งภาพ

การเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์

พบว่า การเพิ่มจำนวนตัวอย่างโดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการวัดกลับทำให้ความแม่นยำในการวัดลดลง โดยพิจารณาจากค่า D_{50} เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 4.7 ดังนั้นจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการวัดขนาดอนุภาค ได้แก่ 3 ครั้ง

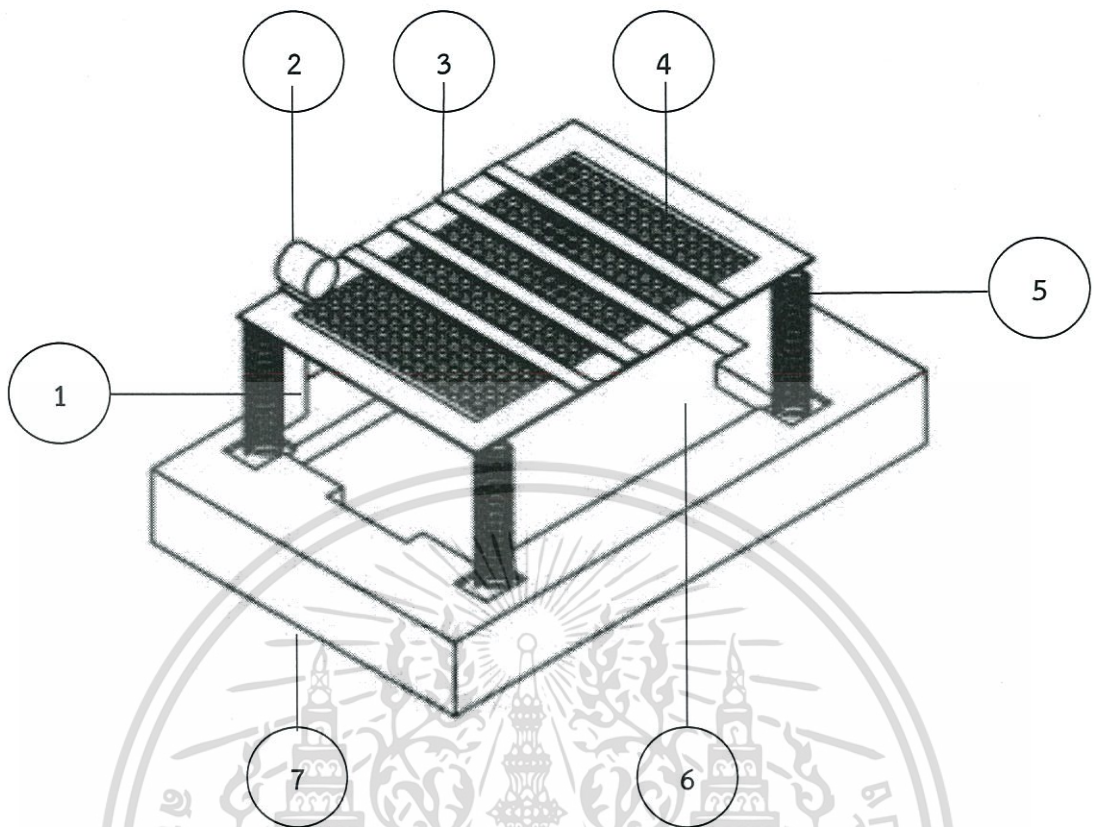
ตารางที่ 4.7 ความแม่นยำที่ D_{50} เมื่อเพิ่มจำนวนอนุภาค เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

วิธีการกระจายผง	รวมผลการทดลอง		
	3 ครั้ง	6 ครั้ง	9 ครั้ง
การปาดแปรงพู่กัน	99.92	99.54	99.41
การเคาะผ่านตะแกรง	99.82	99.31	99.21
การร่อนผ่านตะแกรง	99.75	99.28	99.06

4.4 การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ

จากการศึกษาเทคนิคการกระจายผงทั้ง 3 วิธี พบว่าการเคาะผ่านตะแกรงมีความแม่นยำสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน แต่เพื่อความสะดวกและความเสถียรในการวัดขนาดอนุภาคจึงได้มีการประยุกต์สร้างอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อให้ใช้งานได้สะดวกขึ้น ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.13 และ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ต้นแบบอุปกรณ์ในการกระจายผง

หมายเลข 1 เสารับแรง 5x15 เซนติเมตร

หมายเลข 2 มอเตอร์ความเร็ว 500 รอบต่อวินาที

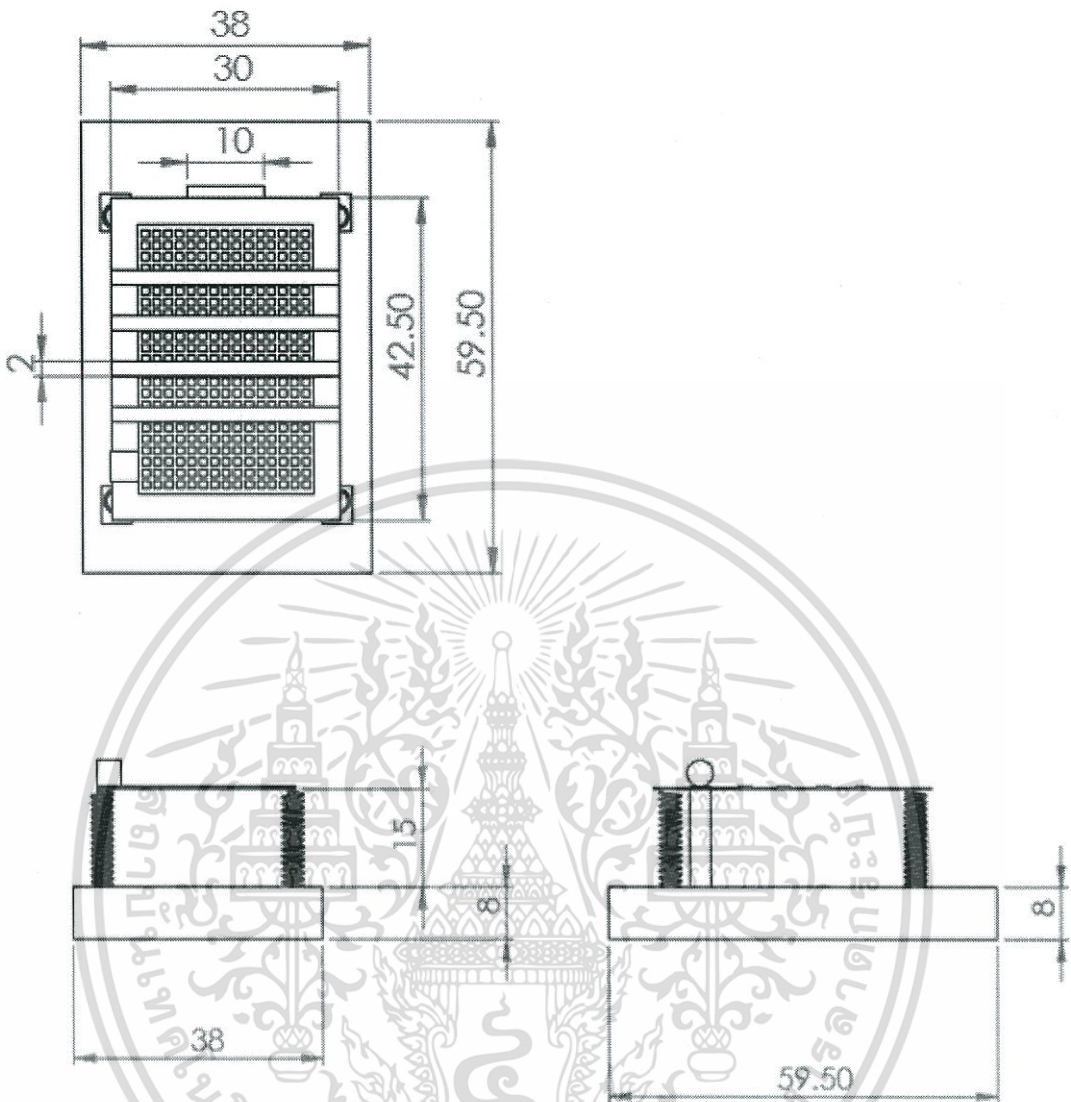
หมายเลข 3 แผ่นวางอาหารผงขนาด 30x2 เซนติเมตร

หมายเลข 4 แผ่นตะแกรงขนาด 30x42.5 เซนติเมตร

หมายเลข 5 สปริงสูง 15 เซนติเมตร

หมายเลข 6 ช่องวางเครื่องกราฟภาพ

หมายเลข 7 ฐานขนาด 38x59.5x8 เซนติเมตร



รูปที่ 4.14 ขนาดของต้นแบบอุปกรณ์ในการกระจายผง

ตำแหน่งของจุดรับแรง

เนื่องจากอุปกรณ์จำเป็นต้องมีตัวรับแรงเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนที่มากเกินไป ซึ่งอาจทำให้อาหารผงกระจายออกนอกบริเวณที่ทำกรวัดขนาดอนุภาค จึงต้องมีการศึกษาคำแหน่งของจุดรับแรง โดยพบว่าการใช้จุดรับแรงทั้งสองข้างนั้นไม่ส่งผลในการช่วยรับแรง และเมื่อศึกษาการวางตำแหน่งจุดรับแรง โดยแบ่งเป็น 5 ระยะจากเสาสปริง (ดังแสดงในตารางที่ 4.8) พบว่าเมื่อวางที่ตำแหน่ง 0 เซนติเมตร (ได้มอเตอร์) การสั่นสะเทือนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากมีการดูดซับแรงทั้งหมดเอาไว้และมีอาหารผงค้างอยู่บนแผ่นวางอาหารผงเนื่องจากเกิดแรงกระแทกน้อย ส่วนที่ตำแหน่ง 28 เซนติเมตร จุดรับแรงอยู่ห่างจากมอเตอร์มาก แรงกระแทกน้อยทำให้มีอาหารผงบางส่วนค้างอยู่บนแผ่นวางผงเช่นเดียวกับตำแหน่งที่ 0 เซนติเมตร โดยที่ตำแหน่ง 7 เซนติเมตร เป็นจุดที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากจำนวนอนุภาคที่วิเคราะห์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

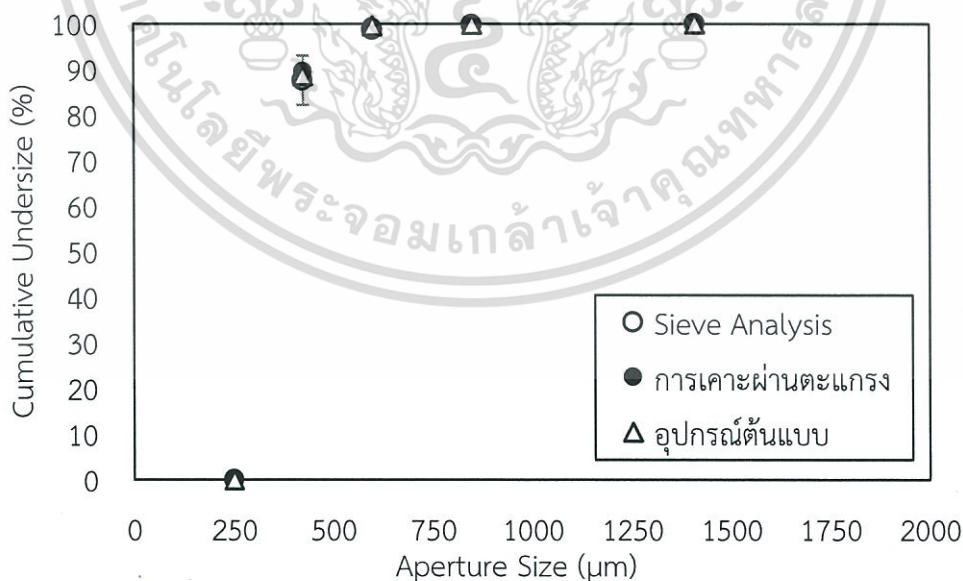
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 จำนวนอนุภาคที่วิเคราะห์ได้จากทดสอบจุดรับแรงตำแหน่งต่าง ๆ

ตำแหน่งของจุดรับแรง (ซม.)	จำนวนอนุภาคที่วิเคราะห์ได้ (%)
0	-
7	96.32 ± 0.32
14	96.26 ± 0.88
21	96.02 ± 1.57
28	-

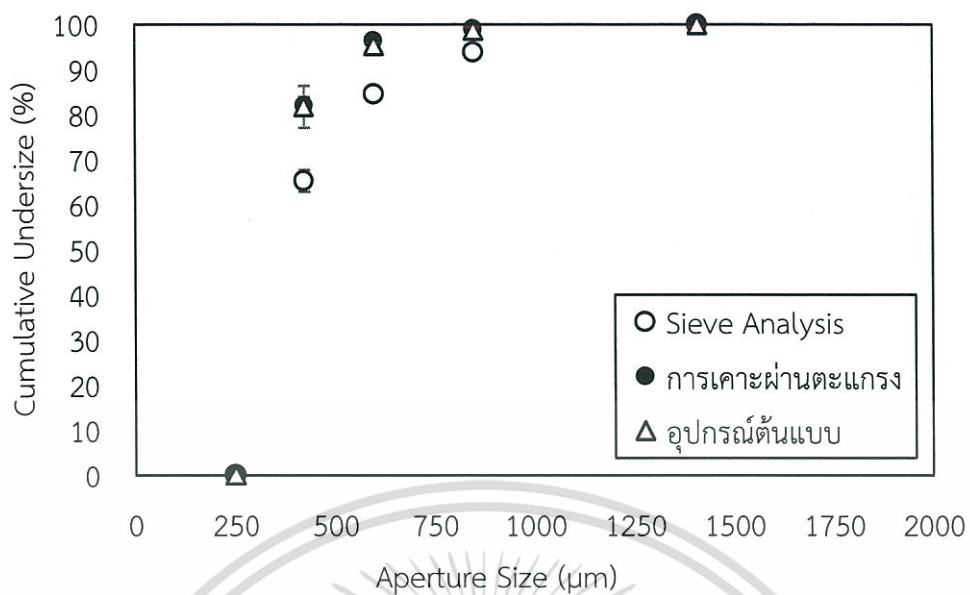
4.5 ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบในการกระจายผง

จากกราฟการกระจายขนาดของการกระจายผงครีมเทียมและผงปรุงรสด้วยอุปกรณ์ต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ พบว่าเมื่อพิจารณากราฟการกระจายขนาดที่ D_{50} เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานแล้วค่า D_{50} ที่ได้จากการกระจายผงด้วยเครื่องต้นแบบมีความแม่นยำมากกว่าการกระจายผงด้วยการเคาะผ่านตะแกรง โดยค่าความแม่นยำที่ได้จากการกระจายผงครีมเทียม ($99.65\% \pm 0.22\%$) มีค่ามากกว่าการกระจายผงด้วยการเคาะผ่านตะแกรง ($99.38\% \pm 0.26\%$) แต่ก็แตกต่างกันไม่มากนัก ทว่าการกระจายผงปรุงรสที่มีหลายช่วงขนาดอนุภาคอยู่รวมกัน พบว่าค่าความแม่นยำที่ได้จากการกระจายผงปรุงรสด้วยเครื่องต้นแบบ ($95.76\% \pm 0.61\%$) ซึ่งมีความมากกว่าการกระจายผงด้วยการเคาะผ่านตะแกรง ($93.98\% \pm 1.16\%$) และมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มากกว่า 95%) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุปกรณ์ต้นแบบมีความเสถียรมากกว่าการเคาะผ่านตะแกรงด้วยมือโดยผู้ทำการวัด



รูปที่ 4.15 การกระจายขนาดผงครีมเทียมจากอุปกรณ์ต้นแบบในการกระจายผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การกระจายขนาดผงปรุงรสจากอุปกรณ์ต้นแบบในการกระจายผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดของอนุภาคเป็นสมบัติที่สำคัญเป็นอย่างมากของอาหารผง เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพอาหารและการนำไปใช้งาน อีกทั้งยังบ่งชี้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้อีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันการวิเคราะห์ลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพกำลังได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความคุ้มทุนของอุปกรณ์และความละเอียดแม่นยำในการวิเคราะห์ แต่เนื่องจากความแม่นยำและถูกต้องในการวิเคราะห์นั้น ขึ้นอยู่กับกระบวนการถ่ายภาพที่เหมาะสมและระเบียบวิธีวิเคราะห์ภาพเป็นสำคัญ โดยโครงการนี้ได้มีการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคสำหรับอาหารผงโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพที่สามารถใช้งานได้โดยง่าย โดยทำการพัฒนาระเบียบวิธีถ่ายภาพด้วยเครื่องกราฟิกและโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคจากภาพ สำหรับวัสดุอาหารผงที่บดแสงที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 1.4 มิลลิเมตร และเปรียบเทียบความแม่นยำกับวิธีวัดมาตรฐานนั้น ได้แก่ วิธีการร่อนผ่านตะแกรง นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเทคนิคในการกระจายผงอนุภาคที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพ เนื่องจากการซ้อนทับกันของอนุภาคส่งผลเป็นอย่างยิ่งต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ โดยทำการศึกษาเทคนิคการกระจายผงด้วยการปาดด้วยแปรงพู่กัน การร่อนผ่านตะแกรง และการเคาะผ่านตะแกรง และมีการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมที่ในการวิเคราะห์

ทั้งนี้พบว่าระยะความสูงที่เหมาะสมในการกระจายผงอยู่ที่ 15 เซนติเมตร โดยมีน้ำหนักตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์คือ 0.05 กรัม ใช้การสุ่มตัวอย่างสุ่มแบบซ้อนตักเนื่องจากมีค่าความแม่นยำมากกว่าการสุ่มแบบกรวยแบ่งสี่ และใช้ระยะเวลาในการเตรียมตัวอย่างน้อยกว่า และจากการศึกษาเทคนิคการกระจายผง พบว่าความคลาดเคลื่อนจากการเปลี่ยนผู้วัดนั้น วิธีการเคาะผ่านตะแกรงมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยเมื่อวัดจากผงครีมเทียมมีค่าความแม่นยำ $99.38\% \pm 0.26\%$ และวัดจากผงปรุงรสมีค่าความแม่นยำ $93.98\% \pm 1.16\%$ ทว่าในการกระจายผงปรุงรสที่มีหลายช่วงขนาดรวมกัน ความแม่นยำที่ได้มีค่าน้อยกว่า 95% โดยวิเคราะห์จากกราฟการกระจายขนาดและอนุภาค ค่าความแม่นยำที่ D_{50} ซึ่งเปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีมาตรฐาน (การร่อนผ่านตะแกรง) จึงได้นำวิธีการกระจายผงด้วยการเคาะผ่านตะแกรงมาประยุกต์ในการทำต้นแบบอุปกรณ์เพื่อช่วยในการกระจายผง หลังจากทำการทดลองเบื้องต้น พบว่าอุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมาสามารถเพิ่มความเสถียรและความแม่นยำได้มากขึ้น โดยเมื่อทำการวัดวัดจากผงครีมเทียมมีค่าความแม่นยำ $99.65\% \pm 0.22\%$ และวัดจากผงปรุงรสมีค่าความแม่นยำ $95.76\% \pm 0.61\%$ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาต่อ

แม้ผลที่ได้จากการอุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจะมีความแม่นยำเป็นที่น่าพอใจแล้ว แต่ยังสามารถปรับปรุงให้มีความแม่นยำให้ดีขึ้น โดยทำการศึกษาอิทธิพลของแรงและทิศทางการเคาะต่อลักษณะการกระจายผง และความแม่นยำในการวิเคราะห์การกระจายขนาดของวัสดุอาหารจริงที่มีขนาดหลากหลายมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- ณภัทร เสริมสุวรรณสุข, วิชพัทธ์ ศิริสวัสดิ์ และ สิริรัตน์ แสงเดือน. (2558). “การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สีราคาประหยัดสำหรับงานอุตสาหกรรม.” ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร วิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นวภัทรา หนูนา. 2561. **Accuracy / ความถูกต้อง ความแม่นยำ.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4289/accuracy-ความถูกต้อง-ความแม่นยำ>.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2560. **Dried food / อาหารแห้ง.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1327/dried-food-อาหารแห้ง.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2560. **Powder food / อาหารผง.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.foodnetworksolution.com/wiki/word/6047/powder-food-อาหารผง.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2560. **Sieve analysis.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1303/sieve-analysis.
- สั๊กมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. **การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ.** กรุงเทพฯ : ท้อป.
- Ammarcha, C., Gatamel, C. Dirion, J.L. Cabassud, M. Berthiaux, H. 2017. “Continuous powder mixing of segregating mixtures under steady and unsteady state regimes: Homogeneity assessment by real-time on-line image analysis.” **Powder Technology.** 315 : 39-52.
- Bhandari, B. 2013. **Introduction to food powders.** Queensland : Woodhead Publishing.
- Bumiller, M. 2012. **Sampling for Particle Size Analysis.** [Online]. Available : www.horiba.com/particle
- Captain Capture. 2017. **A brief history of document scanning.** [Online]. Available : www.thelesspaperoffice.com/single-post/2017/04/04/A-brief-history-of-document-scanning.
- DIN 66165-1. 2016. **Particle size analysis - Sieving analysis - Part 1: Fundamentals.** Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard).
- Epson. 2017. **เทคโนโลยี CCD.** [Online]. Available : www.epson.co.th
- Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Enrique Ortega-Rivas, Pablo Juliano and Hong Yan. 2013. **Food Powders Physical Properties, Processing, and Functionality.** Kluwer Academic/Plenum Publishers New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.

- Igathinathane, C. Melin, S. Sokhansanj, Lim, S. X. Bi, C.J. Pordesimo, L.O. and Columbus, E.P. 2009. "Machine vision based particle size and size distribution determination of airborne dust particles of wood and bark pellets." **Powder Technology**. 196 : 202-212.
- Igathinathane, C. Ulusoy, U. and Pordesimo, L.O. 2012. "Comparison of particle size distribution of celestite mineral by machine vision Σ Volume approach and mechanical sieving." **Powder Technology**. 215-216 : 137-146.
- Isizercomadmin. 2018. **Particle Size Analyzers**. [Online]. Available : <http://www.isizer.com/what-is-d50/>
- Malvern Panalytical. 2017. **Laser Diffraction (LD)**. [Online]. Available : www.malvernpanalytical.com/en/products/technology/light-scattering/laser-diffraction/index.html.
- Mora, C.F. Kwan, A.K.H. and Chan, H.C. 1998. "Particle size distribution analysis of coarse aggregate using digital image processing." **Cement and Concrete Research**. 28(6) : 921-932.
- MTEC. 2560. **เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะของวัสดุ**. [สไลด์]. ปทุมธานี : National Metal and Materials Technology Center.
- Particles sciences. 2011. **Sampling of Powders**. [Online]. Available : www.particlesciences.com/news/technical-briefs/2011/sampling-of-powders.html.
- Retsch GmbH. 2015. **Sieve Analysis Taking a close look at quality**. [Online]. Available : www.retsch.com.
- Schuck, P. Dolivent, A. and Jeantet, R. 2012. **Analytical Methods for Food and Dairy Powders**. West Sussex. John Wiley & Sons, Ltd.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

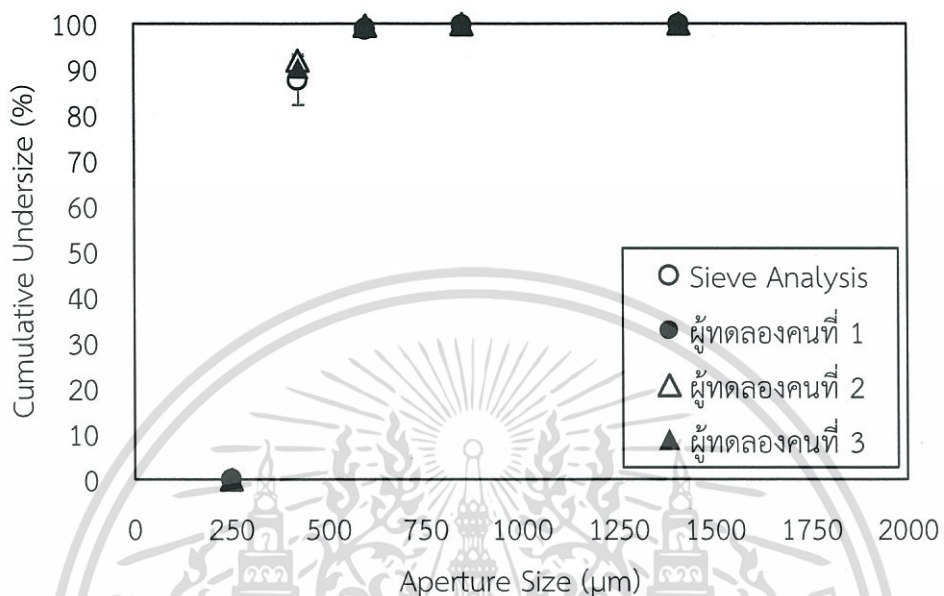


ภาคผนวก ก

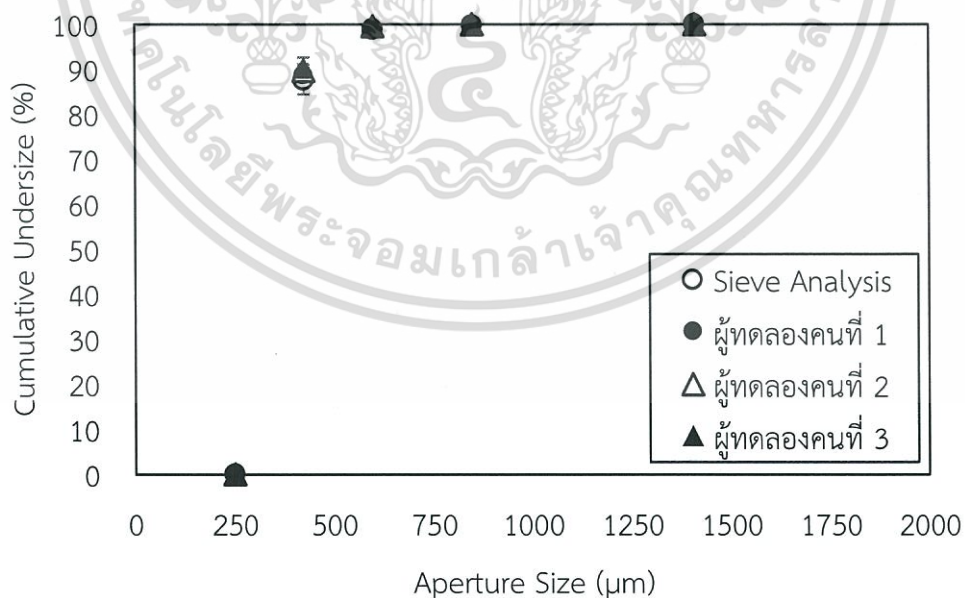
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

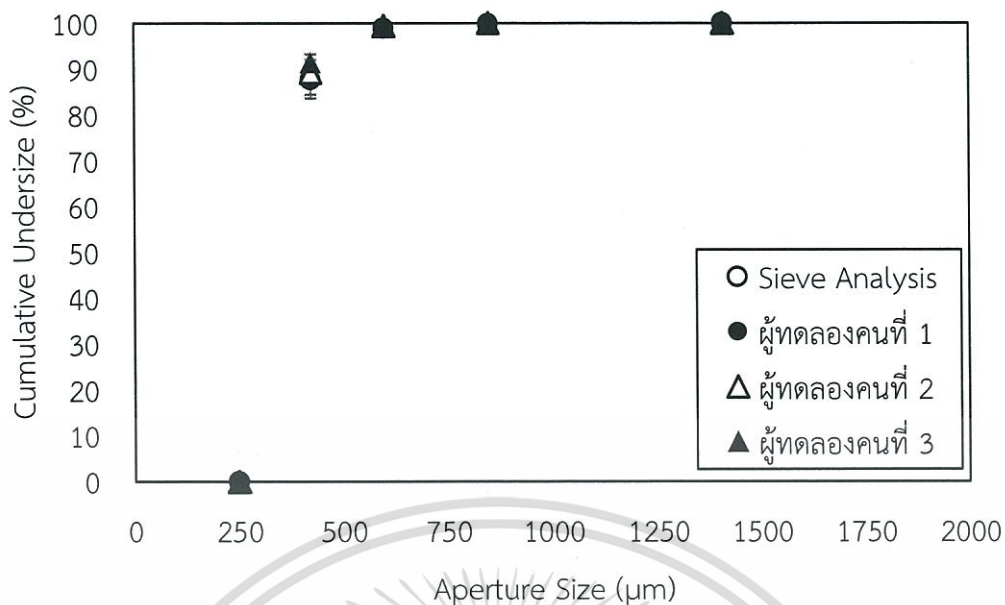


รูปที่ ก.1 การกระจายขนาดผงครีมเทียมจากการปาดแปรงพู่กันเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง

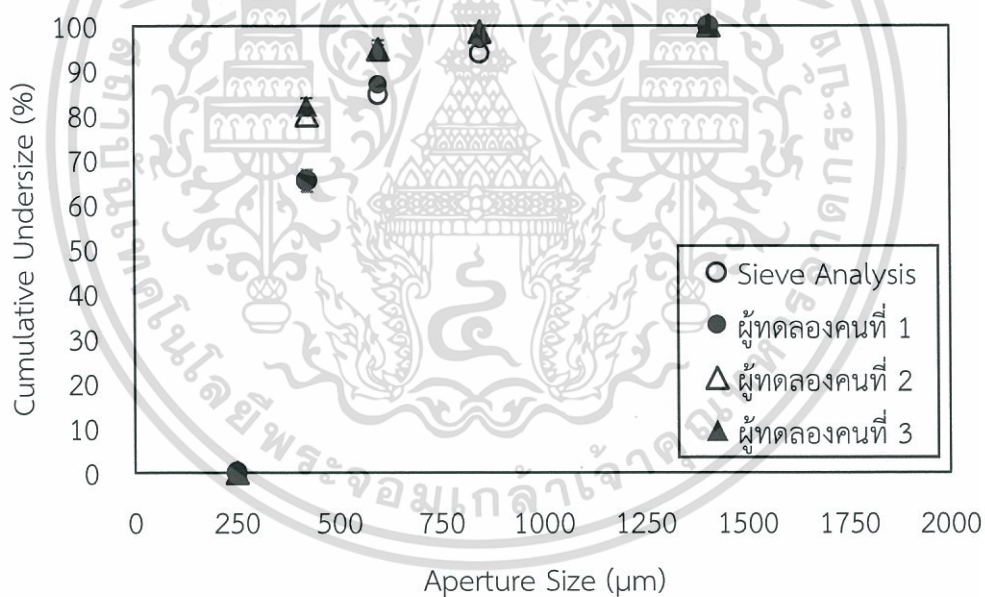


รูปที่ ก.2 การกระจายขนาดผงครีมเทียมจากการเคาะผ่านตะแกรงเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

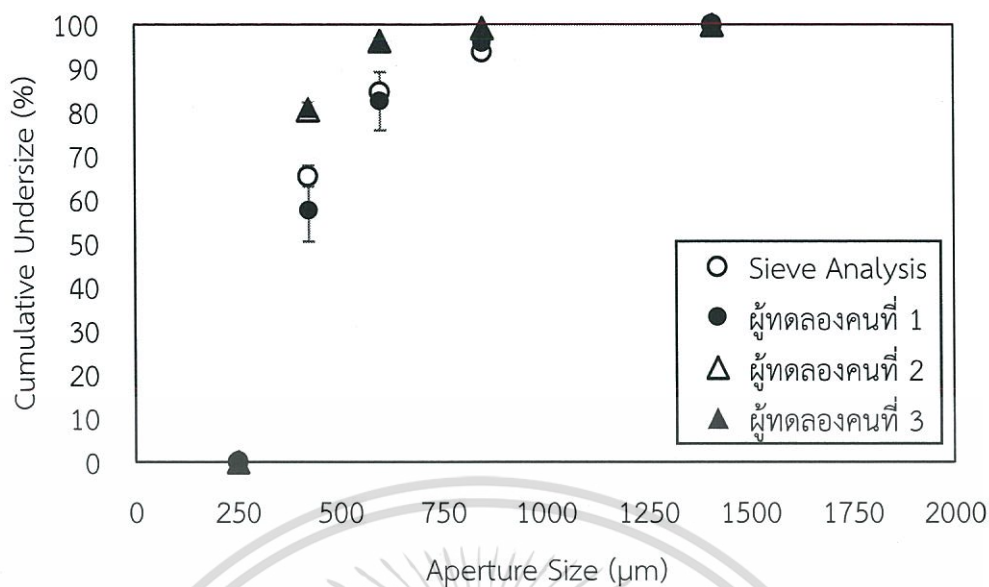


รูปที่ 3.3 การกระจายขนาดผงครีมเทียมจากการรอนผ่านตะแกรงเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง

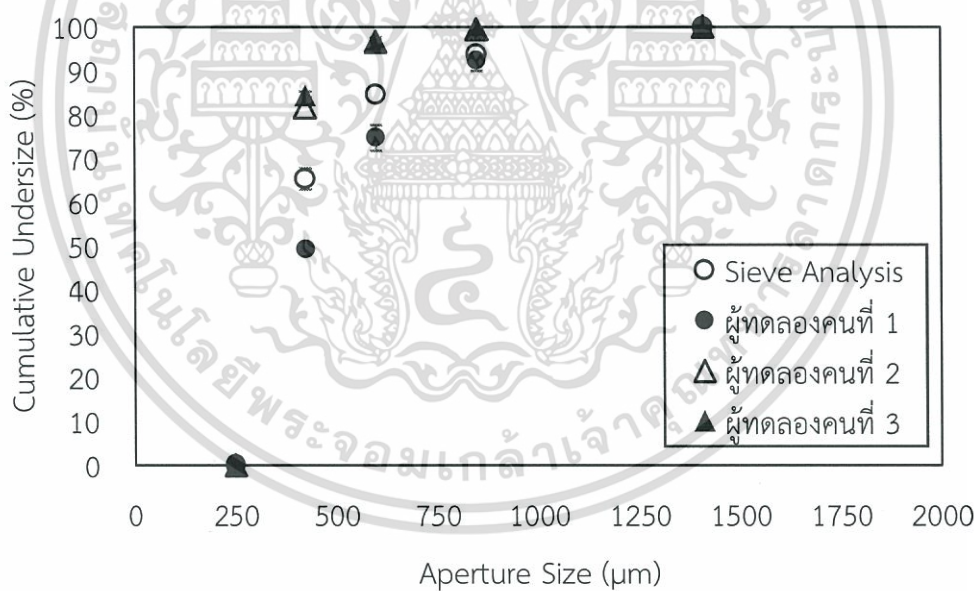


รูปที่ 3.4 การกระจายขนาดผงปรงรสจากการปาดแปรงพู่กันเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

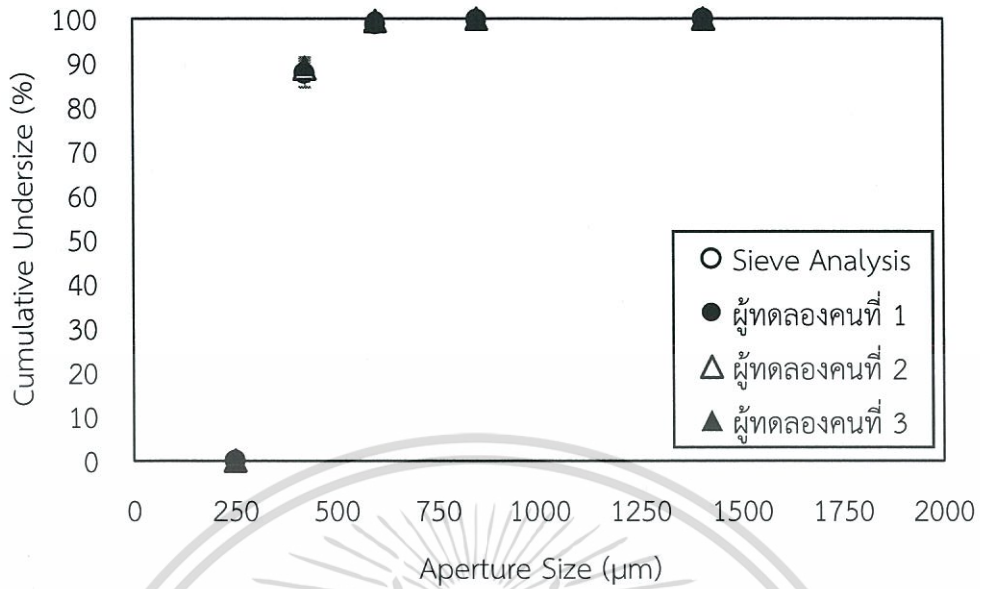


รูปที่ 3.5 การกระจายขนาดผงปรุงรสจากการเคาะผ่านตะแกรงเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง

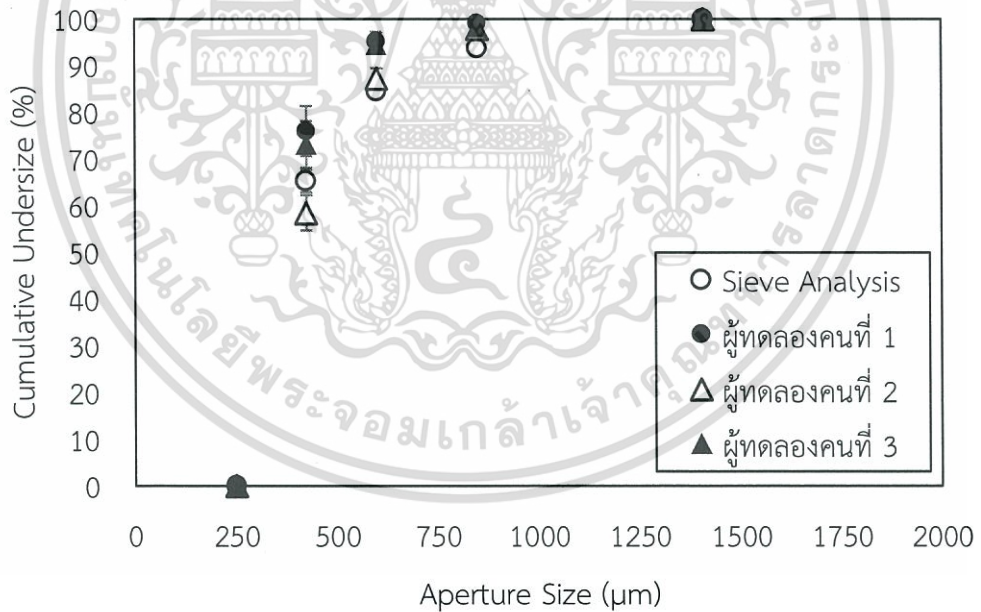


รูปที่ 3.6 การกระจายขนาดผงปรุงรสจากการร่อนผ่านตะแกรงเมื่อเปลี่ยนผู้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 การกระจายขนาดผงครีมเทียมจากอุปกรณ์ต้นแบบเมื่อเปลี่ยนผู้ทดลอง



รูปที่ ก.8 การกระจายขนาดผงปรุงรสจากอุปกรณ์ต้นแบบเมื่อเปลี่ยนผู้ทดลอง

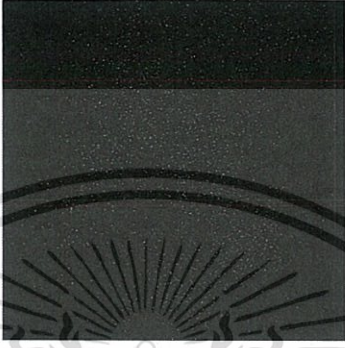
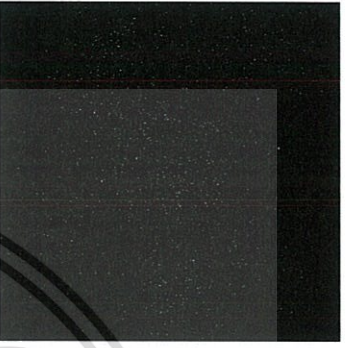
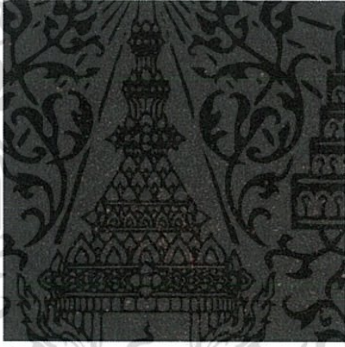


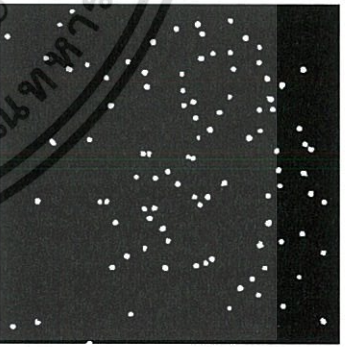
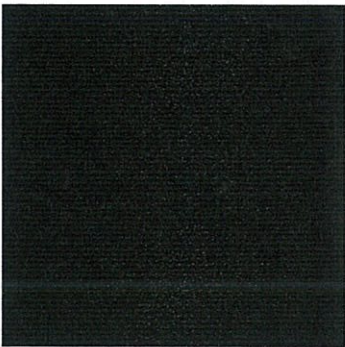
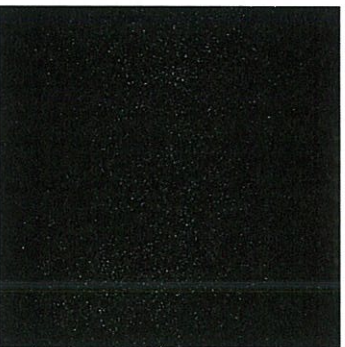
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข รูปการทดลอง

ตาราง ข.1 ตัวอย่างภาพวัสดุอาหารที่ถ่ายจากเครื่องกราดภาพก่อนและหลังเข้าโปรแกรมวิเคราะห์ขนาดและอนุภาค

วัสดุอาหาร	ภาพถ่ายก่อนเข้าโปรแกรม	ภาพถ่ายหลังเข้าโปรแกรม
ครีมเทียม		
ผงปรุงรส		
สาคุ		
เมล็ดข้าวบด		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

ชุดคำสั่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ชุดคำสั่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

คำสั่ง Read Image: อ่านข้อมูลภาพ

```
I = imread('Image (2).jpg');
```

คำสั่ง Dust Removal & Image Segmentation: การลบฝุ่นและการแยกบริเวณรูปภาพ

```
%chang image to grayscale
```

```
G = rgb2gray(I);
```

```
%image enhancement
```

```
imsub = imsubtract(G,30);
```

```
%image noise-removal filter
```

```
imwie = wiener2(imsub,[5 5]);
```

```
%remove object that smaller than 'se'
```

```
se = strel('disk',5); %craeat disk shape filter
```

```
imf1 = imopen (imwie,se);
```

```
%detect edge of object
```

```
imed = edge(imf1,'canny',0.1,2);
```

```
%fill hole
```

```
sr = strel('disk',5);
```

```
imf2 = imclose(imed,sr); %add disk shape filter to connect edge line
```

```
imfil = imfill(imf2,'holes');
```

```
%remove object that smaller than 'sr'
```

```
I2 = imopen(imfil,sr);
```

คำสั่ง Write Image: เขียนรูปภาพใหม่

```
imwrite(I2,'new.jpg')
```

คำสั่ง Size Analysis: วิเคราะห์ขนาด

```
%label object & number of object
```

```
[L,n] = bwlabel(I2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%locate edge position
```

```
B = bwboundaries(I2);
```

```
%measure properties of image regions
```

```
stats = regionprops('table',I2,'Area','Perimeter','EquivDiameter');
```

```
stats.Area = stats.Area/(37*37);
```

```
stats.EquivDiameter = stats.EquivDiameter/(37);
```

```
stats.Perimeter = stats.Perimeter/(37);
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้