



การศึกษาผลของอุณหภูมิความร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อคุณภาพ
ผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จิราภรณ์
ธนภรณ์
ธนัฐชา
ปรีดี

สิงหนนท์
ดวงใหญ่
สารจันทร์
แสงทับทิม

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

STUDY EFFECT OF TEMPERATURE INLET AIR DRYING AND MALTODEXTRIN
VOLUME ON QUALITY OF SOY MILK POEDER MIXED WITH WHEY PROTEIN IN
SPRAY DRYING PROCESS

JIRAPORN

SINGHANON

THANAPHORN

DUANGYAI

THANATCHA

SARACHAN

PREEDEE

SANGTAPTIM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHINOLGY LADKRABANG

YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ การศึกษาผลของอุณหภูมิร้อนขาเข้าและปริมาณมอลต์เต็กซ์ตรินต่อคุณภาพ
ผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

โดย นางสาวจิราภรณ์ สิงหนนท์
นางสาวธนภรณ์ ต้วงใหญ่
นางสาวธนัฐชา สารจันทร์
นายปรีดี แสงทับทิม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วรีสา ชูวัฒนกุล

ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


(ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโถม)

หัวหน้าภาควิชา



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.วรีสา ชูวัฒนกุล)

หัวข้อโครงการ	การศึกษาผลของอุณหภูมิร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อคุณภาพผงนํ้านมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย
นักศึกษา	นางสาวจิราภรณ์ สิงหนนท์
	นางสาวธนภรณ์ ด้วงใหญ่
	นางสาวธนัฐชา สารจันทร์
	นายปรีดี แสงทับทิม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรีสา ชูวัฒนกุล

บทคัดย่อ

นํ้านมถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ได้รับความนิยม แต่เนื่องจากนํ้านมถั่วเหลืองเป็นอาหารที่เน่าเสียได้ง่าย การทำแห้งเพื่อยืดอายุของนํ้านมถั่วเหลืองจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง โดยวิธีการทำแห้งที่นิยมสำหรับอาหารเหลว คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอย และในปัจจุบันผู้คนหันมาให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพมากขึ้น เวย์โปรตีนก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ช่วยในการดูแลสุขภาพและเสริมสร้างกล้ามเนื้อ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อคุณภาพผงนํ้านมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีปัจจัยในการศึกษา คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 3 ระดับ 160 180 200 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 3 ระดับ คือ 10% 20% 30% (w/w) จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่าร้อยละผลิตผล (22.84-52.08 %) ปริมาณน้ำอิสระ (0.21-0.47) ปริมาณความชื้น (3.33-6.54 %) ความสามารถในการละลาย (359.10-717.00 วินาที) ความหนาแน่นรวม (0.16-0.28 g/cm³) ค่าความสว่าง (85.85-89.63) ค่าความเป็นสีแดง (-1.48-0.25) ค่าความเป็นสีเหลือง (8.95-15.86) และค่าดัชนีของความเหลือง (20.94-29.92) นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบพ่นฝอยนํ้านมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน ซึ่งมีร้อยละผลิตผลมากที่สุด ความสามารถในการละลายเร็วที่สุด ปริมาณความชื้นน้อยที่สุด และปริมาณน้ำอิสระน้อยที่สุด คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 30% (w/w)

Project Title	Study effect of temperature inlet air drying and maltodextrin volume on quality of soymilk powder mixed with whey protein in spray drying process.	
Students	Ms. Jiraphorn	Singhanon
	Ms. Thanaphorn	Duangyai
	Ms. Thanatcha	Sarachan
	Mr. Preedee	Sangtaptim
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Food Engineering	
Year	2022	
Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Varesa Chuwattanakul	

ABSTRACT

Soy milk is a perishable food, drying is another way to extend the product's shelf life. "Soy milk" is a well-known soybean product. In general, spray drying is used to dry liquid foods. Whey protein is a good factor to healthy and increase muscle currently as people care more and more attention to their health. Consequently, in this study. In the spray-dried study process, we study the effects of inlet air temperature and maltodextrin content on the quality of soymilk powder when combined with whey protein. The inlet temperature ranges from 160 °C to 200 °C and the maltodextrin concentration ranges from 10% to 30% (w/w). According to a study of the powder's physical and chemical properties, the yield (22.84-52.08%) and water activity (0.21-0.47), Brightness value (85.85-89.63), a* value (-1.48-0.25), b* value (8.95-15.86), solubility (359.10-717.00 seconds), bulk density (0.16-0.28 g/cm³), moisture content (3.33- 6.54%), and yellow index (20.94-29.92). Additionally, it was discovered that the optimum spray drying conditions for soy milk and whey protein were the highest powder yield with the fastest solubility, a minimum moisture content, and the minimum water activity, the conditions for a temperature of 160 °C. A 30% (w/w) maltodextrin content is included.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์และเอาใจใส่ ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรีสา ชูวัฒนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่อง รวมทั้งให้คำแนะนำองค์ความรู้ แนวทางในการศึกษาค้นคว้ามาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่เอื้อเฟื้อทั้งด้านสถานที่และอุปกรณ์ และคอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนสามารถทำให้โครงการในครั้งนี้ออกไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ถั่วเหลือง.....	3
2.1.1 ประวัติถั่วเหลือง	3
2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	3
2.1.3 โครงสร้างของเมล็ดถั่วเหลือง	5
2.1.4 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง	5
2.2 เวียโปรตีน.....	7
2.2.1 ประเภทของเวียโปรตีน	7
2.3 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)	9
2.3.1 จุดประสงค์ของกระบวนการห่อหุ้ม	9
2.3.2 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยกระบวนการห่อหุ้ม.....	9
2.4 ชนิดของสารห่อหุ้ม	11
2.4.1 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 โปรตีน (Protein).....	12
2.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	13
2.5.1 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	14
2.5.2 ประเภทของตัวทำละออง.....	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review).....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	19
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้.....	19
3.2 การวางแผนการทดลอง.....	19
3.3 ขั้นตอนการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน.....	20
3.4 กระบวนการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer).....	26
3.4.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย.....	26
3.4.2 ขั้นตอนการติดตั้งชุดเครื่องมือทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	26
3.5 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	26
3.6 ปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	27
3.7 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี.....	28
3.7.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้.....	28
3.7.2 การวัดของแข็งที่ละลายน้ำได้.....	28
3.7.3 การวัดค่าสี.....	29
3.7.4 การวัดปริมาณน้ำอิสระ.....	29
3.7.5 การวัดปริมาณความชื้น.....	29
3.7.6 ความสามารถในการละลาย.....	30
3.7.7 การวัดความหนาแน่นรวม.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	32
4.1 คุณสมบัติน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน	32
4.2 ร้อยละผลิตผล (%).....	34
4.3 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity).....	35
4.4 ปริมาณความชื้น (Moisture content).....	36
4.5 ความสามารถในการละลาย (Solubility).....	37
4.6 ความหนาแน่นรวม (Bulk density).....	38
4.7 ค่าความสว่าง (L*).....	39
4.8 ค่าความเป็นสีแดง (a*).....	40
4.9 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*).....	41
4.10 ค่าดัชนีของความเหลือง (Yellowness).....	42
4.11 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำห้แห้งน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน	43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	44
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก ก	48

สารบัญตาราง

ตารางที่.....	หน้า
2.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเมล็ดแห้ง (กรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้)	6
2.2 แสดงปริมาณกรดอะมิโนในถั่วเหลือง.....	6
2.3 แสดงปริมาณกรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลือง	7
2.4 แสดงลักษณะของเวย์โปรตีนแต่ละประเภท	8
2.5 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม	12
3.1 แผนการทดลอง.....	20
3.2 ตั้งค่าสถานะเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	27
4.1 ตารางแสดงผลสมบัติทางกายภาพและเคมี.....	33

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงส่วนประกอบหลักของถั่วเมล็ดแห้ง	5
2.2 เวย์โปรตีนประเภทต่าง ๆ	8
2.3 โครงสร้างของไมโครแคปซูล	9
2.4 ไมโครแคปซูลแบบ Single core	10
2.5 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-core หรือ matrix encapsulation	10
2.6 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-wall หรือ control	11
2.7 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	13
2.8 หัวฉีดแรงดันสูง	14
2.9 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง	15
2.10 หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด	15
2.11 การฉีดตามอากาศร้อน Co-current บนลงล่าง	15
2.12 การฉีดทวนอากาศร้อน Counter-current ล่างขึ้นบน	16
3.1 ขั้นตอนกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน	21
3.2 ล้างเมล็ดถั่วเหลืองและแช่ในน้ำสะอาด	22
3.3 ปั่นเมล็ดถั่วเหลืองกับน้ำสะอาด	22
3.4 กรองน้ำนมถั่วเหลืองด้วยผ้าขาวบาง	23
3.5 ต้มน้ำนมถั่วเหลืองจนมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	23
3.6 เติมเวย์โปรตีน	24
3.7 เติมมอลโตเด็กซ์ทริน	24
3.8 กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	25
3.9 ผลิตภัณฑ์ผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน	25
3.10 การชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ผง	28
3.11 Refractometer ยี่ห้อ Atago 0 - 32 %Brix.....	28
3.12 เครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color flex EZ และการประมวลผล.....	29
3.13 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระยี่ห้อ Aqua lab รุ่น Model SERIES 3TE, USA.....	29
3.14 ตู้อบลมร้อน memmert UFB400.....	30
3.15 เครื่อง Hotplate Stirrer HTS-1003.....	31

3.16	อุปกรณ์สำหรับหาค่า Bulk density	31
4.1	ลักษณะผลิตภัณฑ์ผงนํ้ามันถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน	32
4.2	อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อร้อยละผลิตผล	34
4.3	อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณนํ้าอิสระ	35
4.4	อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณความชื้น	36
4.5	อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความสามารถในการละลาย	37
4.6	อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความหนาแน่นรวม	38
4.7	อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าความสว่าง	39
4.8	อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าความเป็นสีแดง	40
4.9	อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าความเป็นสีเหลือง	41
4.10	อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าดัชนีของความเหลือง	42
4.11	แสดงสถานะที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนํ้ามันถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน	43
ก.1	หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม Minitab 21	49
ก.2	หน้าต่างหลังจากใส่ข้อมูล	49
ก.3	เรียกใช้คำสั่ง Stat ในการวิเคราะห์ข้อมูล	50
ก.4	เรียกใช้คำสั่ง Analyze Response Surface Design	50
ก.5	ภาพแสดงหน้าต่างหลังจากเรียกใช้ Analyze โดยที่ยังไม่ตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ	51
ก.6	ภาพแสดงหน้าต่างการตั้งค่าตัวแปร	51
ก.7	ภาพแสดงตัวอย่างการตั้งค่าตัวแปร	52
ก.8	หน้าต่างแสดงการตั้งค่าช่วงของตัวแปร	52
ก.9	หน้าต่างหลังจากตั้งค่าตัวแปรทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว	53
ก.10	หน้าต่างหลังจากเลือกตัวแปรเสร็จ	53
ก.11	หน้าต่างตั้งค่าช่วงความเชื่อมั่น	54
ก.12	ตัวอย่างหน้าต่างข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์	54
ก.13	การเรียกใช้คำสั่ง Contour plot	55
ก.14	หน้าต่างของคำสั่ง Contour plot	55
ก.15	ตัวอย่างหน้าต่างแสดงผล Contour plot	56
ก.16	หน้าต่างคำสั่งของ Surface plot	56
ก.17	ตัวอย่างของหน้าต่างแสดงผล Surface plot	57
ก.18	หน้าต่างคำสั่ง Response Optimizer	57
ก.19	หน้าต่าง Optimizer Plot	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

นํ้านมถั่วเหลือง หมายถึง เครื่องดื่มที่ได้จากการนำถั่วเหลืองที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ *Glycine max* (L.) Merrill มาล้างให้สะอาด แช่นํ้า บดกับนํ้าแล้วกรอง อาจมีการปรุงแต่งกลิ่นรสและเติมส่วนผสมอื่น ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองมีให้เลือกมากมายในตลาด แต่นํ้านมถั่วเหลืองยังได้รับความนิยมในหมู่ Gen Z และชาวม้งสวิสตีเนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพ นมถั่วเหลืองมีโปรตีน ไขมันอิ่มตัว และวิตามินเพียงพอ (USDA, 2015). อย่างไรก็ตาม มีปริมาณแคลเซียม น้ำตาล และวิตามินดีต่ำเมื่อเทียบกับนมวัว (Liu, 1997) ดังนั้นการเสริมคุณค่านํ้านมถั่วเหลืองด้วยวิตามินและแร่ธาตุจึงเป็นทางเลือกที่ดี นอกจากนี้ นมถั่วเหลืองเป็นนมทางเลือกจากพืชสำหรับผู้ที่แพ้โปรตีนจากนม แพ้แลคโตส และมีความต้องการอาหารพิเศษ

ในปัจจุบัน ผู้คนหันมาให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพร่างกายกันมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการคุมอาหาร ออกกำลังกาย หรือการเล่นกีฬา ล้วนเป็นสิ่งที่ดีต่อร่างกายและเวย์โปรตีนก็เป็นอีกหนึ่งสิ่งที่จะช่วยทำให้การดูแลสุขภาพและรูปร่าง ร่างกายของคุณราบรื่นมากขึ้น ซึ่งโปรตีนเป็นหนึ่งในสารอาหารที่จำเป็นและขาดไม่ได้สำหรับร่างกายเรา การกินเวย์โปรตีนช่วยเสริมสร้างกล้ามเนื้อและลดน้ำหนักจากการออกกำลังกายได้เป็นอย่างดี โดยในเวย์โปรตีนมีกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายสร้างเองไม่ได้และต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ซึ่งเรียกว่า Essential Amino Acids (EAA) นอกจากนี้ยังมี Conditionally Essential Amino Acids (CEAA) เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ชั่วคราว

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการทำให้แห้งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในการผลิตผงจากผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยการสัมผัสกับความร้อนอย่างรวดเร็ว (Shishir & Chen, 2017) อัตราการระเหยที่สูงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเหนือกว่าด้วยต้นทุนการแปรรูปที่ค่อนข้างต่ำ (Olufemi & Ayomoh, 2019) กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อผลิตผงจากนมถั่วเหลืองขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลายอย่าง เช่น อุณหภูมิอากาศเข้า อุณหภูมิอากาศออก อัตราการป้อน ความเร็วของหัวฉีด อัตราการระเหย และความสม่ำเสมอของสารละลายที่ป้อน (Saha et al., 2019). อุณหภูมิและสภาวะการทำแห้งที่เกิดจากละอองระหว่งการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีอิทธิพลสำคัญต่อคุณสมบัติของผง ดังนั้นการปรับพารามิเตอร์การทำแห้งแบบพ่นฝอยให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการจึงกลายเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดขั้นตอนหนึ่ง

หัวข้อโครงการวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนํ้านมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน ผงของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง วิจัยฉบับนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการทำ

แห่งของผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนด้วยการกำหนดตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้แก่ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า และสัดส่วนของสารที่ช่วยในการทำแห้ง ได้แก่ ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนที่ต้องการศึกษาได้แก่ สีของผลิตภัณฑ์ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการดูดกลับ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการศึกษา คือ ถั่วเหลืองเมล็ด ตราไร่ทิพย์
- 1.3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน
- 1.3.4 สมบัติของผลิตภัณฑ์ผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนที่ศึกษา ประกอบด้วย สีของผลิตภัณฑ์ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ และความสามารถในการละลาย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เข้าใจกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย
- 1.4.2 ทราบผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วเหลือง

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Glycine max* (L.) Merrill

ชื่อสามัญ : Soybean Soyabean

วงศ์ : Leguminosae

ชื่อท้องถิ่น : ได้แก่ Soja max, Phaseolus max, *Glycine hispida*

2.1.1 ประวัติถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองมีถิ่นกำเนิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน ที่ติดต่อกับแมนจูเรีย ชาวจีนค้นเคยในการเพาะปลูก และใช้ประโยชน์จากถั่วเหลืองมาเป็นเวลากว่า 5000 ปี ต่อจากนั้นก็ได้ขยายออกไปสู่ประเทศอื่นๆ เช่น เกาหลี และญี่ปุ่น และแพร่หลายไปถึงทวีปยุโรป และอเมริกา เมื่อประมาณร้อยกว่าปี ปัจจุบันประเทศที่ปลูกถั่วเหลืองมากที่สุดคือ สหรัฐอเมริกา รองลงมาได้แก่ บราซิล จีน และอาร์เจนตินา ตามลำดับ ประเทศเหล่านี้อยู่ในเขตอบอุ่น มีสภาพอากาศค่อนข้างเย็น เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตต่อไร่สูง

สำหรับประเทศไทย ไม่ปรากฏหลักฐานว่าเริ่มปลูกถั่วเหลืองเป็นครั้งแรกเมื่อใด แต่เชื่อกันว่านำเข้ามาโดยพวกพ่อค้า และชาวเขา ซึ่งเดินทางไปมาระหว่างจีนตอนใต้ และภาคเหนือของประเทศไทยแต่สมัยโบราณ ต่อมาจึงแพร่หลายไปในกลุ่มชาวไทยกว่า 200 ปี มาแล้ว แต่ไม่มีบันทึกเป็นหลักฐาน ในปี พ.ศ. 2473 จึงเริ่มมีหลักฐานว่าเจ้าหน้าที่ฝ่ายปกครองของจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ได้แนะนำให้เกษตรกรปลูกถั่วเหลืองหลังการทำนา โดยมีพันธุ์ที่นิยมปลูกในขณะนั้นอยู่ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์เมล็ดเล็กกับพันธุ์เมล็ดใหญ่ ในปี พ.ศ. 2479 ขุนกสิกรพิศาล ได้จำแนกพันธุ์ถั่วเหลืองที่ปลูกในประเทศไทยออกเป็น พันธุ์ไทย จีน และญี่ปุ่น พบว่า พันธุ์ไทยมีขนาดเมล็ดเล็กกว่าพันธุ์จีนและญี่ปุ่นมาก ทั้งยังมีปริมาณน้ำมันต่ำกว่าด้วยการที่มีผู้นิยมปลูกถั่วเหลืองกันมากขึ้นแต่ยังมีพันธุ์ไม่เหมาะสม Mr.Howard W. Ream ผู้เชี่ยวชาญด้านพืชไร่ของยูซอม (USOM; United States Operation Mission) ประจำประเทศไทย จึงได้นำพันธุ์ถั่วเหลืองจากต่างประเทศเข้ามาคัดเลือกเป็นจำนวนมาก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 เพื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ไทยที่ปลูกกันอยู่ ได้พันธุ์หลายพันธุ์ที่เกษตรกรนำไปใช้ปลูกติดต่อกันมาอีกหลายปี จนกระทั่งมีการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองอย่างจริงจังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 ทำให้มีถั่วเหลืองพันธุ์ดี อยู่เป็นจำนวนมากในปัจจุบัน ทั้งเพื่อใช้ผลิตเมล็ดแห้งและผลิตผักสด

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

เป็นพืชล้มลุก ทรงต้นเป็นพุ่ม มีความสูงระหว่าง 50 เซนติเมตรถึงสองเมตร บางพันธุ์ก็เลื้อยเป็นเถา ระบบรากประกอบด้วยรากแก้ว ซึ่งอาจหยั่งลึกลงไปถึง 2 เมตร ส่วนรากฝอยเกิดเป็นกระจุกประสานกัน

อยู่ใต้ ระดับผิวดิน บริเวณผิวรากมีปมของแบคทีเรียเกาะอยู่เห็นได้ชัดเจน ลำต้นแตกกิ่งจำนวน 3 – 8 กิ่ง มีขนสีขาวน้ำตาล หรือเทาคลุมอยู่ ใบเดี่ยวเลี้ยง เกิดสลับกัน เป็นใบรวม ประกอบด้วย ใบย่อย 3 ใบ รูปร่างกลมรี ช่อดอกเกิดจากมุมใบและปลายยอด ดอกมีขนาดเล็กสีขาวหรือม่วง จำนวน 3 – 15 ดอกต่อหนึ่งช่อดอกสมบูรณ์เพศมี อับเกสรตัวผู้และรังไข่อยู่ในดอกเดียวกัน การผสม เกสรเกิดขึ้นก่อนดอกบาน รังไข่จะเจริญเติบโต เป็นฝักรูปยาวและโค้ง ภายในมีเมล็ด 2 - 3 เมล็ด เรียงตัวอยู่ตามแนวนอน เปลือกหุ้มเมล็ดมีทั้งสีเหลือง เขียว น้ำตาล และดำ ภายในเมล็ดมีใบเลี้ยงสีเหลืองหรือเขียวสองใบหุ้มต้นอ่อนอยู่ภายใน

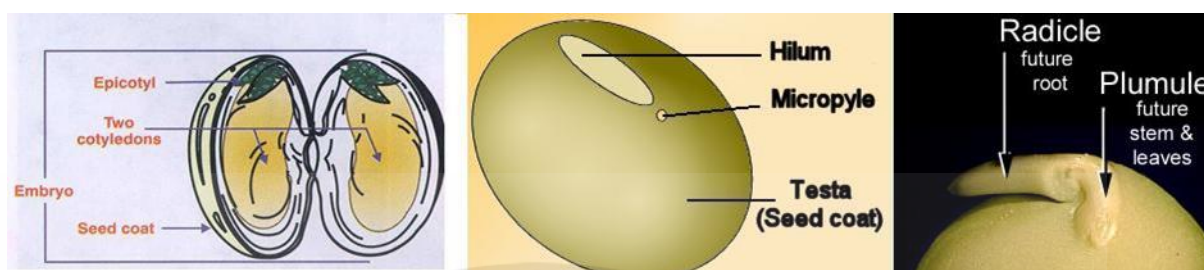
ในเขตอบอุ่นปลูกถั่วเหลืองได้ปีละครั้งในฤดูร้อน แต่ในเขตร้อน เช่น ประเทศไทย มีอุณหภูมิตลอดทั้งปีไม่แตกต่างกันมากนัก สามารถปลูกถั่วเหลืองได้ปีละสามครั้ง คือ ปลูกในช่วงต้นฤดูฝน และกลางฤดูฝนบนที่ดอน และครั้งที่สามในนา ที่มีระบบชลประทานหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าว ดังนั้น เกษตรกรนิยมปลูกถั่วเหลืองร่วม หรือสลับกับพืชไร่อื่นๆ

พันธุ์ถั่วเหลืองที่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ แนะนำให้ปลูก ได้แก่ พันธุ์ สจ.1 สจ.2 สจ.4 สจ.5 เชียงใหม่ 60 สุโขทัย 1 และนครสวรรค์ 1 รายละเอียดของพันธุ์ และคำแนะนำเกี่ยวกับการปลูกถั่วเหลืองหาได้จากหน่วยงานในกรมวิชาการเกษตร และสำนักงานเกษตรจังหวัด อำเภอ และตำบลในท้องถิ่น

ถั่วเหลืองขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด แต่ไม่ชอบดินที่มีปฏิกริยาเป็นกรดหรือด่างจัด ดินเค็ม และดินที่มีน้ำขังแฉะ การเตรียมดินปลูกถั่วเหลือง ก็คล้ายกับการปลูกพืชไร่ทั่วไป มีการไถพรวนดินให้ร่วนซุย เพื่อกำจัดวัชพืช และให้รากหยั่งลง ดินได้สะดวก ควรคลุกเมล็ดพันธุ์ด้วยจุลินทรีย์ดินก่อนปลูก เพื่อให้มีการสร้างปมที่รากดีขึ้น เพื่อให้จุลินทรีย์ดิน หรือแบคทีเรียในปมราก ช่วยจับไนโตรเจนจากอากาศมาสังเคราะห์เป็นปุ๋ยให้กับต้นถั่วเหลือง การปลูกมีหลายวิธี เช่น หว่านหรือโรยเมล็ดเป็นแถว หรือหยอดเป็นหลุม แต่วิธีที่แนะนำคือ หยอดเมล็ดหลุมละ 2 - 3 เมล็ด โดยให้มีระยะระหว่างแถวกว้าง 50 เซนติเมตร และระหว่างหลุม 20 เซนติเมตร ใช้เมล็ดพันธุ์ประมาณ 7 – 10 กิโลกรัมต่อไร่ ควรปลูกเมื่อดินได้รับความชุ่มชื้นหลังจากฝนตก หรือได้รับน้ำชลประทาน เมล็ดถั่วเหลืองจะงอกภายในเวลา 5 - 7 วัน ควรพรวนดิน ดายหญ้า ในระยะ 30 วันหลังงอก เพื่อลดการแข่งขันจากวัชพืช ต้นถั่วเหลืองเริ่มออกดอก เมื่อมีอายุได้ 35-40 วัน และฝักแก่เมื่อมีอายุได้ 85 -120 วัน (ขึ้นอยู่กับพันธุ์และฤดูปลูก) เมื่อฝักเริ่มแก่ จะเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง เริ่มจากโคนต้นไปหาปลายยอด เก็บเกี่ยว โดยตัดต้นถั่วเหลืองมากองหรือผูกรวมเป็นพ่อน ตากแดดให้แห้งสนิท แล้วจึงนวดโดยใช้ไม้ฟาด หรือใช้รถแทรกเตอร์เหยียบต้นถั่วเหลืองที่กองสุ่มกันอยู่ให้ฝักแตก หรือใช้เครื่องนวดข้าวติดเครื่องยนต์ นวดแยกเมล็ดออกจากเศษของลำต้น ทำความสะอาดตากเมล็ดให้แห้งสนิท ก่อนเก็บใส่กระสอบ หรือภาชนะอื่นๆ เพื่อจำหน่ายต่อไป ผลผลิตถั่วเหลืองของไทยอยู่ระหว่าง 120 - 350 กิโลกรัมต่อไร่ แต่โดยเฉลี่ยประมาณ 121 กิโลกรัมต่อไร่

2.1.3 โครงสร้างของเมล็ดถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลืองมีโครงสร้างแบบถั่วเมล็ดแห้ง โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบหลักของถั่วเมล็ดแห้ง

ที่มา: www.foodnetworksolution.com

2.1.3.1 เปลือกนอกเมล็ด (seed coat หรือ testa)

เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ สีของเปลือกนอกมีหลายสีด้วยกัน เช่น สีเหลืองอ่อน สีเหลืองเข้ม สีเหลืองแกมเขียว สีเขียว สีน้ำตาลอ่อน และสีดำ ทางด้านเว้าของเมล็ดจะพบ hilum หรือ seed scar ซึ่งเป็นจุดที่เมล็ดติดกับฝัก มีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ เช่น สีดำ สีน้ำตาล และสีเหลืองเข้ม ทางปลายด้านหนึ่งของ hilum มีรูเล็กๆ เรียกว่า micropyle ซึ่งเป็นทางออกของ radicle ซึ่งงอกเป็นราก

2.1.3.2 ต้นอ่อนขณะอยู่ในเมล็ด (embryo) ประกอบด้วย

1. ใบเลี้ยง (cotyledon) จำนวน 2 ใบ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเปลือก นอกเข้าไป มีขนาดใหญ่ ทำหน้าที่ในการสะสมอาหาร ซึ่งอุดมไปด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และมีน้ำมันสูง ทำให้ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมัน และยังมีวิตามิน เกลือแร่ และสารอาหารที่มีประโยชน์กับมนุษย์และสัตว์อีกหลายชนิด ส่วนนี้จะหายไปเมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโต

2. ส่วนยอดของต้นอ่อน ขณะอยู่ในเมล็ด (plumule) เป็นจุดเจริญ ซึ่งจะเจริญต่อไปเป็นใบจริง และลำต้นต่อไปเอพิคอทิล (epicotyl) คือส่วนที่อยู่เหนือตำแหน่งที่ยึดติดกับใบเลี้ยง ส่วนนี้เมื่อเจริญเติบโตต่อไปจะเป็นลำต้น ใบและดอก

3. ไฮโพคอทิล (hypocotyl) คือ ส่วนที่อยู่ระหว่างตำแหน่งที่ติดของใบเลี้ยง กับตำแหน่งของรากแก้ว ส่วนนี้เมื่อเจริญเติบโตต่อไปจะเป็นส่วนหนึ่งของลำต้น และเรดิเคิล (radicle) เป็นส่วนล่างสุดของเอ็มบริโอ อยู่ต่อจากไฮโพคอทิลลงมาต่อไปจะเจริญเป็นรากแก้ว

2.1.4 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลือง เป็นถั่วเมล็ดแห้ง ที่มีอุดมด้วยสารอาหารหลายชนิด โดยสะสมอยู่ในส่วนของใบเลี้ยง ซึ่งเป็นส่วนเนื้อในของถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีนสูง และน้ำมันสูง เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเมล็ดแห้งชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีวิตามินและแร่ธาตุ

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเมล็ดแห้ง (กรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้)

เมล็ดถั่ว	แคลอรี (Cal)	ความชื้น	โปรตีน	น้ำมัน	แร่ธาตุ	คาร์โบไฮเดรต
ถั่วเหลือง (Soybean)	335	8	38	18	4.7	31.3
ถั่วลิสง (Peanut)	343	5	25.6	43.4	2.5	23.4
ถั่วเขียว (Mungbean)	340	11	23.9	1.3	3.4	60.4
ถั่วแดง (Red kidney bean)	341	1	22.1	1.7	3.8	61.4
ถั่วพุ่ม (Cowpea)	342	11	23.4	1.8	4.3	60.3

2.1.4.1 โปรตีน

ถั่วเหลืองประกอบไปด้วย โปรตีนร้อยละ 35-50 โปรตีนในเมล็ดถั่วเหลืองเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดี สามารถทดแทนเนื้อสัตว์ได้เพราะมีกรดแอมิโนที่จำเป็น (essential amino acid) ทั้งชนิดและปริมาณที่สมดุลมากกว่าถั่วชนิดอื่น แต่กรดแอมิโนที่มีในปริมาณจำกัด (limiting amino acid) ในถั่วเหลืองคือ เมไทโอนีน (methionine)

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณกรดอะมิโนในถั่วเหลือง

กรดแอมิโน (Amino acid)	FAO/WHO มก./ก. โปรตีน	ถั่วเหลือง มก./ก. โปรตีน
Leucine	40	37
Isoleucine	70	74
Lysine	55	59
Methionine + Cystine	35	22
Phenylalanine + tyrosine	60	64
Threonine	40	42
Tryptophan	10	15
Valine	50	50

2.1.4.2 น้ำมัน

ถั่วเหลืองมีน้ำมันสูง มีน้ำมันร้อยละ 12-20 น้ำมันจากถั่วเหลือง มีส่วนประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acid) ต่อร่างกาย ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันโอเมกา-3 (omega-fatty acid) และกรดลิโนเลนิก (linolenic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันโอเมกา-6 (omega-6 fatty acid) ในปริมาณสูง สร้างความสมบูรณ์ให้แก่ผิวหนัง และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของทารกและเด็ก จึงเป็นน้ำมันที่ดีต่อสุขภาพ นอกจากนี้มีวิตามินอี(vitamin E) ซึ่งเป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำมันปริมาณกรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลือง

ตารางที่ 2.3 แสดงปริมาณกรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลือง

กรดไขมัน (Fatty acid)	น้ำมันถั่วเหลือง (ร้อยละ)
กรดไขมันอิ่มตัว	114
Palmitic acid (C16 : 0)	
Stearic acid (C18 : 0)	
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	
Oleic acid	23
Linoleic acid	51
Linolenic acid	7

ในเมล็ดถั่วเหลืองมีสารยับยั้งเอนไซม์โปรตีเอส (protease) การย่อยของโปรตีน ซึ่งสามารถจัดให้หมดได้โดยการนำไปผ่านความร้อนก่อนนำไปแปรรูป

ถั่วเหลืองเป็นอาหารก่อภูมิแพ้ (food allergen) อาหารที่มีถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบจะต้องระบุอยู่ในฉลากอาหาร (food labelling)

2.2 เวย์โปรตีน

เวย์โปรตีน คือ แหล่งของโปรตีนคุณภาพสูง ที่เต็มไปด้วยสารสำคัญ และกรดอะมิโนจำเป็น ที่สกัดได้จากนมวัว โดยการสกัดนี้ได้เอาคาร์โบไฮเดรตและไขมันออกไป ให้เหลือแค่เพียงโปรตีน เพื่อให้ร่างกายได้รับโปรตีนที่ครบถ้วนต่อความต้องการในแต่ละวัน จากนั้นจึงนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้ง เพื่อให้เป็นผง และสามารถเก็บไว้ได้นานรวมทั้งสามารถชงทานได้อย่างง่ายดาย

เวย์โปรตีนเป็นอาหารโปรตีนที่ดีมากสำหรับมนุษย์ ช่วยเสริมสร้างกล้ามเนื้อและลดน้ำหนักจากการออกกำลังกายได้เป็นอย่างดี โดยในเวย์โปรตีนมีกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายสร้างเองไม่ได้และต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ซึ่งเรียกว่า Essential Amino Acids (EAA) นอกจากนี้ยังมี Conditionally Essential Amino Acids (CEAA) เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ชั่วคราว เช่น เมื่อเราเจ็บป่วยหรือร่างกายสร้างไม่เพียงพอ เราก็จำเป็นต้องรับกรดอะมิโนนี้จากอาหารเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีกรดอะมิโนบางกลุ่มอีกด้วยที่ผู้ออกกำลังกายอย่างหนักจำเป็นต้องใช้ ซึ่งก็คือ กรดอะมิโนในกลุ่ม Branched – Chain Amino Acids (BCAAs) และ Glutamine อีกทั้งยังมีกรดอะมิโน Cysteine ที่ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระ ต้นเหตุของปัญหาหามะเร็งอีกด้วย ดังนั้นโปรตีนที่ดีสำหรับมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคนที่ออกกำลังกายนั้นก็คือ โปรตีนที่มีสัดส่วนของกรดอะมิโนจำเป็นชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง EAA และ CEAA อยู่อย่างพอเหมาะ และมีปริมาณของ BCAAs, Glutamine และ Cysteine อยู่มากนั่นเอง

2.2.1 ประเภทของเวย์โปรตีน

2.2.1.1 เวย์โปรตีน คอนเซนเทรท

เวย์โปรตีนชนิดนี้จะมีความเข้มข้นอยู่ประมาณ 70-80% เป็นผงสีครีมอ่อน และมีกลิ่นรสตามธรรมชาติแบบนม เต็มไปด้วยกรดอะมิโนครบทั้ง 20 ชนิด และกรดอะมิโนจำเป็นอีก 8 ชนิดที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ ทำให้กล้ามเนื้อใหญ่ขึ้น และเสริมภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย

2.2.1.2 เวย์โปรตีน ไอโซเลต

เวย์โปรตีนชนิดนี้ได้จากการนำเวย์โปรตีน คอนเซนเทรทมาผ่านกระบวนการผลิตเพิ่มเติม โดยการแยกแลคโตสและไขมันออกจนหมด ทำให้มีความเข้มข้นของโปรตีนสูงขึ้นไปอีก มากกว่า 90% เป็นผงสีครีมอ่อน และมีกลิ่นธรรมชาติแบบนมเหมือนกัน

2.2.1.3 เวย์โปรตีน ไฮโดรไลซ์

เป็นเวย์โปรตีนแบบที่ 1 และ 2 ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซ์ ทำให้โมเลกุลของเวย์โปรตีนที่มีขนาดใหญ่ ถูกย่อยจนเป็นเปปไทด์ ทำให้มีโปรตีนบริสุทธิ์สูงถึง 100% ซึ่งมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์บอกว่า เวย์โปรตีนในรูปแบบของเปปไทด์นั้นร่างกายจะดูดซึมได้ดีที่สุด ซึ่งมีงานวิจัยทางคลินิกแสดงให้เห็นว่าเวย์โปรตีน สามารถช่วยส่งเสริมภาวะโภชนาการ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน และทำให้คุณภาพชีวิตของผู้ป่วยโรคมะเร็งดีขึ้นได้

ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะของเวย์โปรตีนแต่ละประเภท

	คอนเซนเทรท (WPC)	ไอโซเลต (WPI)	ไฮโดรไลซ์ (WPH)
โปรตีน (%)	70-80 %	90 %	90 %
คาร์โบไฮเดรต ไขมัน	มีบ้าง	มีน้อย	ไม่มีเลย
แล็กโตส	มีบ้าง	มีน้อย หรือ ไม่มีเลย	ไม่มีเลย
การย่อย	ช้า	เร็ว	เร็วที่สุด
การดูดซึม	ยากบางครั้ง	ง่าย	ง่าย

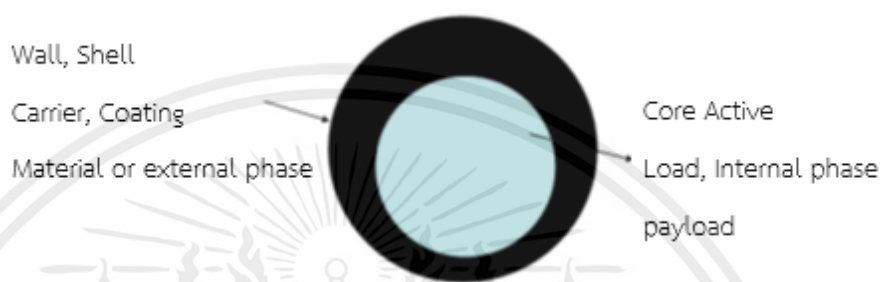


รูปที่ 2.2 เวย์โปรตีนประเภทต่าง ๆ

ที่มา : <https://www.omgthailand.net/whey-protein-good-for-you/>.

2.3 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)

เอนแคปซูลชันเป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น สารที่ถูกเคลือบ (Coated) หรือ ถูกยึดจับไว้ (Entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็น ของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปเช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไมโครแคปซูล

ที่มา : [http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FY463\(50\)/FY463-4.pdf](http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf).

2.3.1 จุดประสงค์ของกระบวนการห่อหุ้ม

2.3.1.1 ป้องกันการสลายตัวของสารที่ถูกกักเก็บไว้ โดยลดการทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อน แสง ความชื้น และอากาศ

2.3.1.2 ช่วยรักษากลิ่น

2.3.1.3 ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน

2.3.1.4 ลดการระเหยหรืออัตราการถ่ายเทมวลสารที่ถูกกักเก็บกับสิ่งแวดล้อมภายนอก

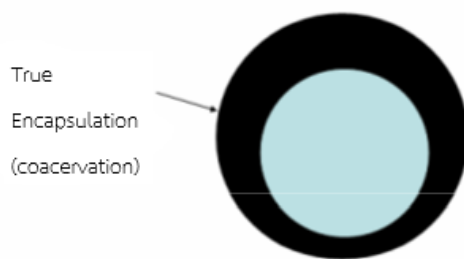
2.3.1.5 เพิ่มอายุการเก็บรักษา

2.3.2.6 ความคุมการปลดปล่อยของสารที่ถูกกักเก็บ

2.3.2 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยกระบวนการห่อหุ้ม

2.3.2.1 Single core (True encapsulation)

Single core (True encapsulation) เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูลเลทโดยใช้เทคนิค coacervation

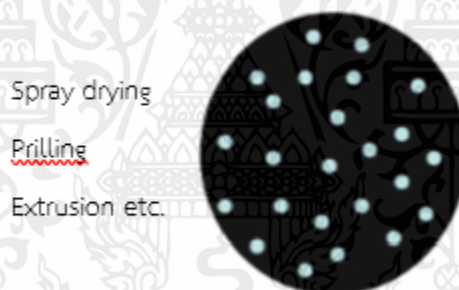


รูปที่ 2.4 ไมโครแคปซูลแบบ Single core

ที่มา : [http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FY463\(50\)/FY463-4.pdf](http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf)

2.3.2.2 Multi-core หรือ matrix encapsulation

Multi-core เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย สเปรย์ซิลลิง สเปรย์คูลลิ่ง เอ็กซ์ทรูชันในการเอนแคปซูเลท

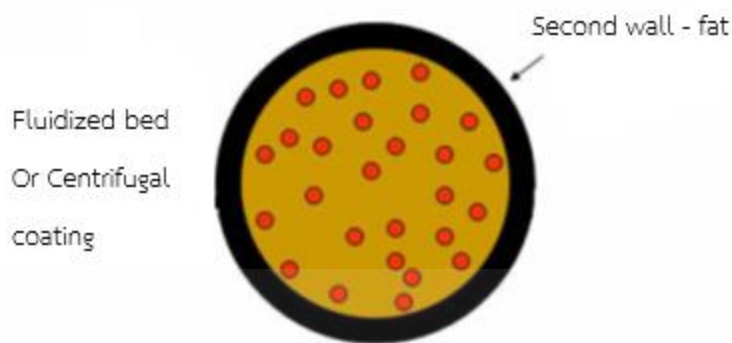


รูปที่ 2.5 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-core หรือ matrix encapsulation

ที่มา : [http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FY463\(50\)/FY463-4.pdf](http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf)

2.3.2.3 Multi-wall หรือ control release

Multi-wall เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่มีการเคลือบผิวครั้งที่สองโดยใช้เทคนิค fluidized bed หรือ centrifugal coating ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสาร ให้กลิ่นรสในสภาวะที่ต้องการได้



รูปที่ 2.6 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-wall หรือ control

ที่มา : [http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FY463\(50\)/FY463-4.pdf](http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf)

2.4 ชนิดของสารทอหุ้ม

2.4.1 คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตถูกนำมาใช้เป็นสารทอหุ้มในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ สตาร์ช (starch), มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), สารสกัดจากเมล็ดข้าวโพด และ gum acacia โดยคาร์โบไฮเดรตมีคุณสมบัติ เช่น ความหนืดต่ำที่มีปริมาณของแข็งสูงและความสามารถในการละลายได้ดีซึ่งเป็นที่ต้องการในสารทอหุ้ม

2.4.1.1 สตาร์ช (Starch)

สตาร์ช คือ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่พบในพืช เช่น เมล็ดธัญพืช พืชหัว และถั่ว เมล็ดแห้ง โดยผลผลิตที่ได้จากสตาร์ช เช่น สตาร์ชดัดแปลง (modified starch), มอลโตเดกซ์ทริน และ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (Beta-cyclodextrin) มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อรักษาและปกป้องสารประกอบระเหยง่าย โดยสตาร์ชสามารถทำหน้าที่เป็นตัวพาสำหรับการทอหุ้มอโรมา สารทดแทนไขมัน และความคงตัวของอิมัลชัน

2.4.1.2 มอลโตเดกซ์ทริน

มอลโตเดกซ์ทริน เป็นสารที่เกิดจากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดบางส่วนด้วยกรดหรือเอนไซม์ โดยมีค่า DE (Dextrose equivalents) ที่บ่งบอกคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ เช่น ความสามารถในการละลาย ความหนืด เป็นต้น โดย DE value เป็นการวัดระดับการย่อยสลายพอลิเมอร์สตาร์ช ซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์ มีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบ ความสามารถในการละลายน้ำของมอลโตเดกซ์ทรินขึ้นอยู่กับค่า DE และชนิดของอาหารที่นำมาใช้ มอลโตเดกซ์ทริน DE ต่ำจะมีคุณสมบัติไม่ดูดความชื้น มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า DE สูงและมวลต่ำ ถูกใช้ในการเพิ่มความหนาแน่น เพื่อการยืดอายุการเก็บรักษา แต่ถ้ามวลโมเลกุลต่ำ อุณหภูมิทรานซิชันจะต่ำลง ทำให้ผงมอลโตเดกซ์ทรินดูดความชื้นมากขึ้น มีรายงานว่ามอลโตเดกซ์ทริน DE10 มีความสามารถในการเก็บรักษาที่ดีที่สุด

2.4.1.3 กัม (Gum)

Gum arabic เป็นกัมที่ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบเนื่องจากสามารถละลายได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้

2.4.2 โปรตีน (Protein)

โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ของสารเคลือบ เช่น ค่าการละลาย (Solubility), ความหนืด (Viscosity), emulsification และ คุณสมบัติของการทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน ระหว่างการเกิดอิมัลชันโมเลกุลของโปรตีนจะดูดซับที่บริเวณ oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด stericstabilizing layer ชั้นทันทีจึงสามารถปกป้องหยดน้ำมัน (Oil droplets)จากการกลับมา รวมตัวอีกครั้ง (Recoalescence) ทำให้เกิดความเสถียรทางกายภาพของอิมัลชันระหว่าง กระบวนการผลิตและการเก็บรักษา

2.4.2.1 เวย์โปรตีน (Whey protein)

เวย์โปรตีนจะให้คุณสมบัติทางหน้าที่ (Functional properties) ที่ต้องการในการใช้เป็นสารเคลือบ (Amrita et al., 1999) เวย์โปรตีนที่จัดจำหน่ายจะอยู่ในรูปของ whey protein isolates (มีปริมาณโปรตีน 95-96%) หรือ whey protein concentrate (WPC-50, WPC-70) เวย์โปรตีนเป็นสารเคลือบที่สามารถต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์ม

2.4.2.2 โปรตีนชนิดอื่นๆ

Protein-based material เช่น polypeptone, โปรตีนถั่วเหลือง (Soy protein) หรืออนุพันธ์ของเจลาติน (Gelatin derivative) มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรกับสารให้กลิ่นรส

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม

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

2.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการพ่นผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวออกไปสัมผัสกับอากาศร้อน โดยเปลี่ยนหยดละอองของเหลวให้เป็นอนุภาคของแข็งที่ละเอียด กระบวนการนี้พบในการใช้งานหลายอย่าง ในการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะการผลิต ผงอาหารสำเร็จรูป (Chagini and Ghobadian,2005 ; Goula and Adamopoulos, 2008). กระบวนการนี้มักใช้เพื่อให้ได้ผงจากนม เวีย ยีสต์ และผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง อื่นๆ เนื่องจากมีคุณภาพผงของผลิตภัณฑ์ที่ดี (Ratti, 2013). สารละลายหรือสารแขวนลอยที่ละลายน้ำ ได้ที่สามารถถูกปั๊มได้ จะถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้องทำแห้งโดยใช้หัวฉีด หัวฉีดจะทำให้เกิดเป็นละอองฝอยไหล ไปสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อขจัดความชื้นออกจากอนุภาค การแยกอนุภาคของผลิตภัณฑ์ออกจากกระแส อากาศจะถูกรวบรวมไว้ในไซโคลน และได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงสามารถนำไปใช้ได้



รูปที่ 2.7 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ข้อดีของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. คุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. อาหารที่ไวต่อความร้อน ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ และยาสามารถทำแห้งได้ที่สภาวะความดันบรรยากาศและอุณหภูมิต่ำ
3. เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องอุปกรณ์ที่ใช้ค่อนข้างเรียบง่าย
4. เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสกับพื้นผิวของอุปกรณ์อยู่ในสภาวะปราศจากน้ำ ปัญหาการกัดกร่อน จึงค่อนข้างน้อย
5. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอนุภาคเป็นทรงกลม ผงที่ได้ค่อนข้างสม่ำเสมอ และมีสารประกอบ (ในส่วนที่ไม่ระเหย) ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนเข้าสู่กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ข้อเสียของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. ไม่เหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์ผงที่มีความหนาแน่นสูง
2. ความยืดหยุ่นต่ำ เนื่องจากหัวพ่นของตัวทำละออง ไม่สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความหยابหรือละเอียดกว่าได้
3. อัตราการทำแห้งค่อนข้างสูง จึงต้องป้อนผลิตภัณฑ์เหลวในอัตราที่ค่อนข้างสูง ทำให้ปั๊มที่ใช้ต้องมีแรงมากพอจึงทำให้ใช้พลังงานสูง
4. ต้นทุนการทำแห้งค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการทำแห้งด้วยวิธีอื่น

2.5.1 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง ของเหลวที่สามารถปั๊มได้จะถูกพ่นละอองออกไปผสมกับอากาศร้อนภายในห้องทำแห้ง ทำให้เกิดการระเหย และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง มีขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอน คือ

2.5.1.1 ขั้นตอนทำให้เกิดละออง (Atomization)

กระบวนการพ่นให้เกิดเป็นละอองจะใช้หัวฉีด (Atomizer) ถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ประเภทของหัวฉีดที่ใช้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเหลวและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ได้แก่ มี 3 ชนิด คือ

1. หัวฉีดแรงดันสูง (Pressure nozzle Atomizers) ของเหลวไหลผ่านหัวฉีดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 – 4 มิลลิเมตร อนุภาคที่สามารถทำได้มีขนาด 50 – 100 ไมครอน ขนาดอนุภาคแปรผันตรงกับอัตราการไหล แต่แปรผกผันกับแรงดันที่ป้อน



รูปที่ 2.8 หัวฉีดแรงดันสูง

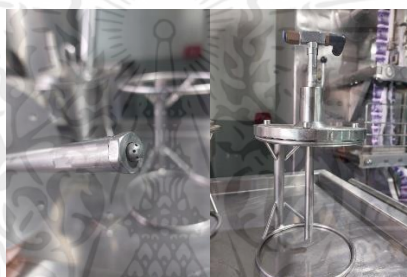
ที่มา : <https://www.eurobest.co.th/knowledge/spray-dryer/>

2. หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers) ของเหลวถูกป้อนเข้าสู่เครื่องไหลลงบนจานหมุน จานหมุนมีความเร็วรอบของแรงเหวี่ยงประมาณ 5,000-60,000 รอบต่อนาที ของเหลวถูกเหวี่ยงออกด้านข้างและเกิดเป็นละออง การกระจายของละอองมีขนาดที่แคบกว่าหัวฉีดประเภทอื่น ลดการสูญเสียส่วนประกอบในขั้นตอนการระเหยเพื่อคงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ อนุภาคที่สามารถทำได้มีขนาด 20 – 150 ไมครอน



รูปที่ 2.9 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง

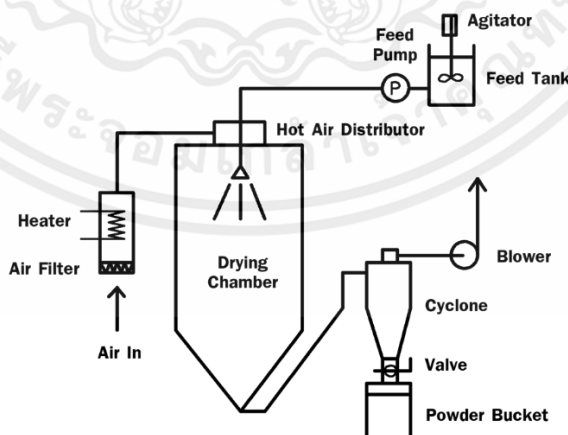
3. หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two – Fluid Atomizers) ประกอบด้วยท่อที่มีการไหลของอากาศ และของเหลว ของเหลวที่ถูกป้อนเข้ามาด้วยปั๊มความดันต่ำสามารถผสมกับอากาศได้ทั้งภายในและภายนอก หัวฉีด ของเหลวจะแตกเป็นละอองเมื่อสัมผัสกับอากาศที่มีความเร็วสูง อนุภาคที่สามารถทำได้มีขนาด 1 – 10 ไมครอน



รูปที่ 2.10 หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด

2.5.1.2 ขั้นตอนที่ยืดของเหลวสัมผัสกับอากาศ (droplet air contact)

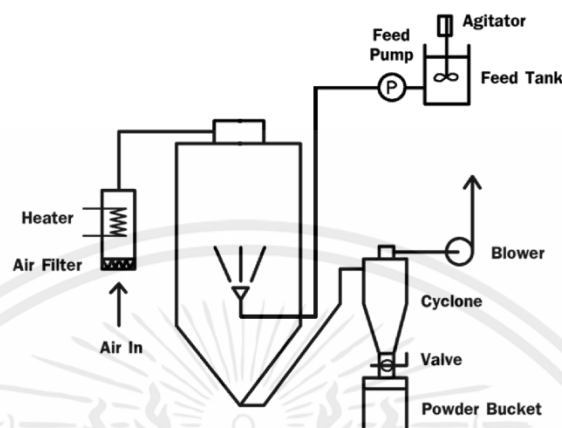
1. การไหลทางเดียวกัน (Co-current flow) หัวฉีดติดตั้งอยู่ด้านบนห้องทำแห้ง หยดของเหลวจะถูกพ่นจากบนลงล่าง หยดของเหลวและอากาศร้อนไหลไปในทิศทางเดียวกัน อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศร้อนขาออก เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน



รูปที่ 2.11 การฉีดตามอากาศร้อน Co-current บนลงล่าง

ที่มา : <https://www.eurobest.co.th/knowledge/spray-dryer/>

2. การไหลสวนทางกัน (Counter-current flow) หัวฉีดติดตั้งอยู่ช่วงกลางหรือช่วงล่างห้องทำแห้ง หยดของเหลวจะถูกพ่นจากล่างขึ้นบน หยดของเหลวและอากาศร้อนไหลสวนทางกัน อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศร้อนขาออก เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน



รูปที่ 2.12 การฉีดพ่นอากาศร้อน Counter-current ล่างขึ้นบน

ที่มา : <https://www.eurobest.co.th/knowledge/spray-dryer/>

3. การไหลแบบผสม (Mixed flow) หยดของเหลวและอากาศร้อนถูกพ่นเข้าในห้องทำแห้งทั้งด้านบนและด้านล่าง

2.5.1.3 ขั้นตอนการระเหยของหยดของเหลว (Evaporation)

เมื่อละอองฝอยของหยดของเหลวสัมผัสกับอากาศร้อน อุณหภูมิละอองฝอยของหยดของเหลวจะสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนเล็กน้อย เกิดการระเหยที่ชั้นไออิมิตัวที่ผิวของละอองของเหลวอย่างรวดเร็ว เข้าสู่ช่วงอัตราการระเหยคงที่ จนความชื้นต่ำไม่สามารถแพร่เข้าสู่ผิวหน้าเกิดเป็นชั้นผิวที่แห้ง และอัตราการระเหยก็จะลดลง การควบคุมอุณหภูมิของการทำแห้งในอัตราคงที่ จะช่วยลดการสูญเสียส่วนประกอบที่ระเหยง่ายหรือการเสื่อมสภาพจากความร้อนของผลิตภัณฑ์

2.5.1.4 ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์ได้จากการทำแห้ง (recovery of dried product)

ผงที่แยกตัวออกจากอากาศนั้น จะมีผงผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่จะตกลงสู่ไซโคลน (cyclone) ส่วนผงผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กและละเอียดจะถูกดูดไปยังถุงกรอง (bag filter)

2.5.2 ประเภทของตัวทำละออง

การทำละอองเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของกระบวนการและคุณสมบัติของผง ของเหลวถูกทำให้เป็นละอองในห้องทำแห้งเป็นหยดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2 ถึง 600 ไมโครเมตร (Bhandari, 2008) อัตราการระเหยเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวของหยด หยดที่มีขนาดเล็กส่งผลให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลดีขึ้น และเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของผง เช่น ความหนาแน่นรวม การเปียกน้ำ การกระจายตัว และการละลาย ประเภทของหัวฉีดที่ใช้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเหลวและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ได้แก่

2.5.2.1 หัวฉีดแรงดันสูง (Pressure nozzle Atomizers)

การดำเนินการทำได้ง่าย มีการใช้พลังงานต่ำ ลดการรวมตัวของอากาศในอนุภาค และตะกอนที่ผนังด้านล่าง ข้อเสีย ความจุกัก สึกกร่อนเร็ว หัวฉีดไวต่อการอุดตันและการอุดตัน และไม่สามารถใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงได้ (Bhandari, 2008; Miller et al., 2016; O'Sullivan et al., 2019).

2.5.2.2 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers)

ใช้ในระบบที่มีความจุสูง และผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง การกระจายขนาดของอนุภาคจะแคบ ควบคุมง่าย ข้อเสีย เกิดคราบผนัง (ที่เกิดจากสเปรย์กว้าง) ใช้พลังงานและค่าบำรุงรักษาที่สูง (Kim, 2008 ; Cal and Sollohub, 2010 ; O'Sullivan et al., 2019)

2.5.2.3 หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two – Fluid Atomizers)

เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาหนืด และมีฤทธิ์กัดกร่อน มีความยืดหยุ่นมากและสามารถควบคุมขนาดของอนุภาค ได้ขนาดอนุภาคที่ละเอียด แต่มีการใช้พลังงานสูงเนื่องจากต้นทุนของอากาศอัด (O'Sullivan et al., 2019).

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

Bindu Bazaria (2016) ศึกษาผลกระทบจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำปีทรูทสกัดเข้มข้นผสมเวย์โปรตีน กำหนดให้ความเข้มข้นของเวย์โปรตีนอยู่ที่ 5-15% อุณหภูมิอากาศขาเข้า 160-180 °C และอัตราการไหล 400-600 ml/h โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตผงน้ำปีทรูทเข้มข้น 25% (w/w) ผสมเวย์โปรตีน จากนั้นนำผงที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ปริมาณความชื้น ความหนาแน่นรวม และค่า a (ค่าความเป็นสีเขียวและสีแดง) จากผลการวิจัยพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลทำให้ความหนาแน่นรวม ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และบีตาเลนลดลงจาก 0.590 เป็น 0.482 g/ml, 74.75 เป็น 68.85%, 22.23 เป็น 19.36 mg GAE/100 g และ 268.54 เป็น 267.45 mg/100 g ตามลำดับ

Priya Singh (2022) ศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับนมถั่วเหลืองที่มีกรดโอเลอิกเข้มข้น 72-75% โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเป็น 120-160 °C ความเร็วรอบของ

ปั๊ม 32-38 m³/h และอัตราการป้อน 3-7 ml/min (10-20%) และออกแบบสูตรคำนวณพารามิเตอร์ของการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยวิธี Central Composite design (CCD) ของ Response Surface Methodology (RSM) โดยมีพารามิเตอร์คือ อุณหภูมิลมร้อนขาออก (°C) เวลาในการทำแห้ง (นาท) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ผง ซึ่งประกอบไปด้วย ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ (%), ค่า pH ค่าสี (L*, a*, b*, delta E และ chroma), ความสามารถในการไหล (m/s), ความสามารถในการเปียกน้ำ (นาท), ปริมาณความชื้น (%) และความสามารถในการกระจายตัวผงเมื่ออยู่ในน้ำ จากผลการทดลองและคำนวณด้วยวิธีการ RSM พบว่า ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 140°C, ความเร็วรอบของปั๊ม 35 m³/h (90%) และอัตราการป้อน 5 ml/min (15%) ได้ผลลัพธ์คุณภาพผงด้านต่าง ๆ ดีที่สุด

Jayani Chandrapala (2020) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (180 และ 200 °C) และอุณหภูมิลมร้อนขาออก (80, 90 และ 100 °C) อุณหภูมิการเก็บรักษา (22 และ 40 °C และ 11%, 23% และ 54% RH เป็นเวลา 6 เดือน) ต่อคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของนมผงสำหรับทารก โดยการรวมตัวกันของอุณหภูมิกายนอกกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะมีผลต่อความชื้น ค่า Water activity ของน้ำ ขนาดอนุภาค และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะผลึก (Tg) ในนมผง ในขณะที่โครงสร้างภายในและสัณฐานวิทยาไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากผลการวิจัยพบว่า นมผงสามารถคงตัวอยู่ที่ 11 และ 23% RH ได้เป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 22 และ 40 °C แต่การเก็บรักษาที่ 54% RH อุณหภูมิ 22 และ 40 °C ผงจะดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น อุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา ซึ่งจะไปเหนี่ยวนำให้เกิดผลึกแลคโตส และเพิ่มไขมันบนผิวทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของผง ความสามารถในการละลายลดลง จากการศึกษาข้างต้นจึงสรุปได้ว่าการรวมตัวกันของอุณหภูมิกายนอกกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีผลต่อความชื้นเริ่มต้นและความคงตัวของผงระหว่างการเก็บรักษา

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงน้ำมันถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า 160, 180, 200 °C และปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตริน 10 DE 10%, 20%, 30% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

- 3.1.1 ถั่วเหลืองเม็ด ตรา ไร่ทิพย์
- 3.1.2 เวย์โปรตีนไอโซเลท (WPI) ยี่ห้อ MATELL
- 3.1.3 มอลโตเด็กซ์ตริน Dextrose equivalent 10 (MD DE100) ตรา DONGXIAO
- 3.1.4 เครื่องปั่น ยี่ห้อ Panasonic MX-J210GN
- 3.1.5 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย รุ่น JCM Minilab SDE-10
- 3.1.6 เต้าไฟฟ้า
- 3.1.7 ตะหลิว
- 3.1.8 หม้อ
- 3.1.9 เครื่องชั่ง
- 3.1.10 ปีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
- 3.1.11 ผ้าขาวบาง
- 3.1.12 ถุงลามีเนต
- 3.1.13 ถุงอะลูมิเนียมฟอยด์
- 3.1.14 Refractometer
- 3.1.15 Anemometer
- 3.1.16 Thermometer
- 3.1.17 Temperature Humidity Meter
- 3.1.18 น้ำสะอาด

3.2 การวางแผนการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียล 3^k full factorial design โดยมีปัจจัยในการศึกษา 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า 160, 180, 200 °C และปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตริน 10 DE 10%, 20%, 30% (w/w) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ รวม 27 การทดลอง

ตารางที่ 3.1 แผนการทดลอง

การทดลอง	อุณหภูมิอากาศขาเข้า (°C)	ปริมาณของมอลโตเด็กซ์ทริน % (w/w)
1	160	10%
2	180	10%
3	200	10%
4	160	20%
5	180	20%
6	200	20%
7	160	30%
8	180	30%
9	200	30%

3.3 ขั้นตอนการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน

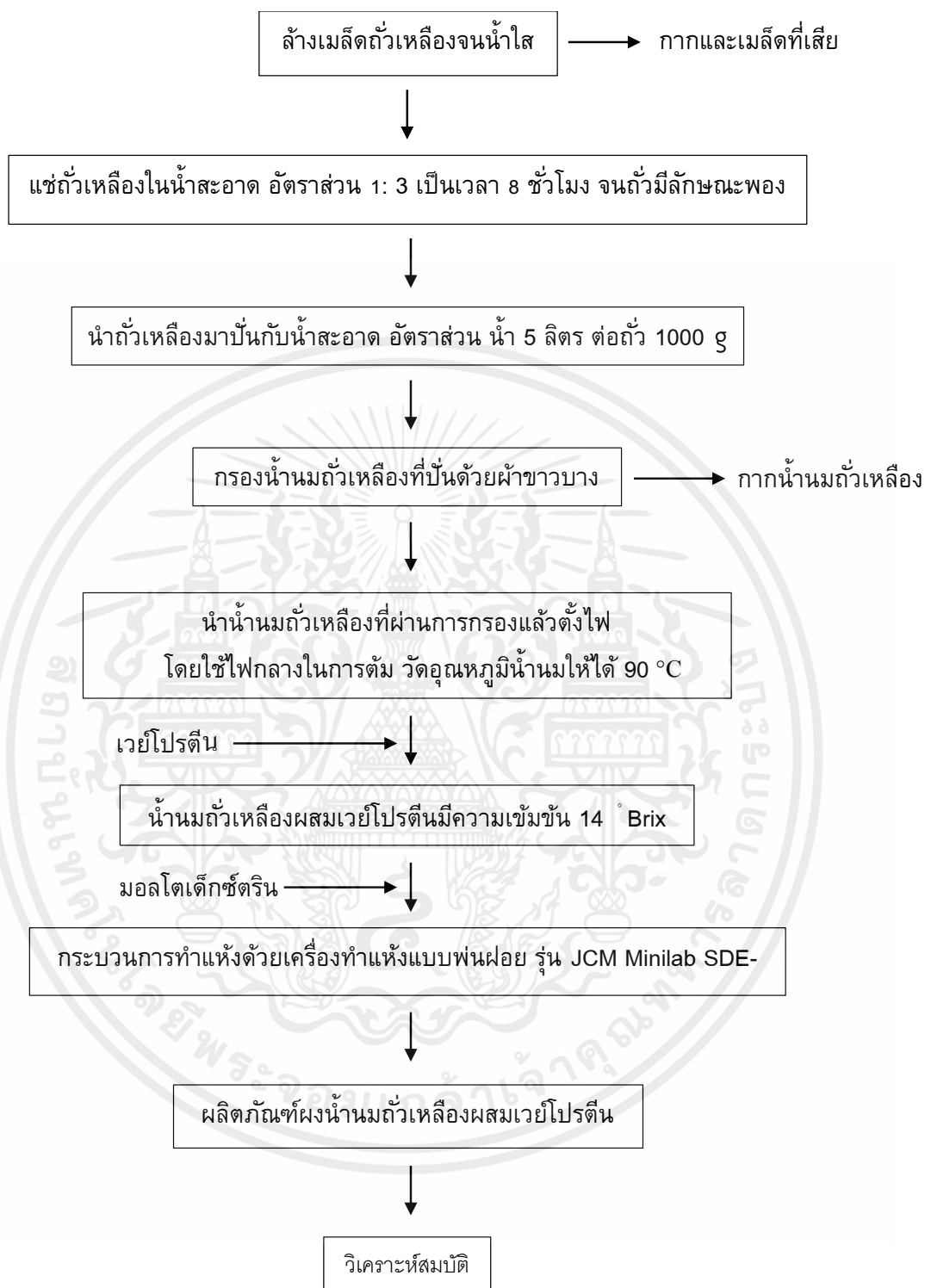
3.2.1 นำเมล็ดถั่วล้างน้ำจนกว่าน้ำจะใส ทำการแยกเศษที่ปนมากับถั่วออก แช่ถั่วในน้ำอุณหภูมิห้องอัตราส่วน 1:3 แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

3.2.2 หลังจากแช่ถั่วจนมีลักษณะพองตัวแล้ว นำมาปั่นกับน้ำสะอาดหรือน้ำกรอง โดยใช้ น้ำ 5 ลิตร ต่อถั่ว 1000 กรัม ปั่นจนถั่วทั้งหมดมีเนื้อละเอียด

3.2.3 หลังจากปั่นจนละเอียดนำน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้มากรองกับผ้าขาวบางแล้วบีบน้ำนมถั่วเหลืองออก

3.2.4 นำน้ำนมถั่วเหลืองที่กรองแยกกากออกแล้วตั้งไฟ โดยใช้ไฟกลางในการต้ม วัดอุณหภูมิของน้ำนม ถ้าวได้ 90 องศาเซลเซียส แล้วทำการต้มต่ออีก 10 นาที

3.2.5 นำน้ำถั่วเหลืองที่ได้ผสมกับเวย์โปรตีน 75 กรัม



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน



รูปที่ 3.2 ถังเมล็ดถั่วเหลืองและแซในน้ำสะอาด



รูปที่ 3.3 ปั่นเมล็ดถั่วเหลืองกับน้ำสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 กรองน้ำนมถั่วเหลืองด้วยผ้าขาวบาง



รูปที่ 3.5 ต้มน้ำนมถั่วเหลืองจนมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

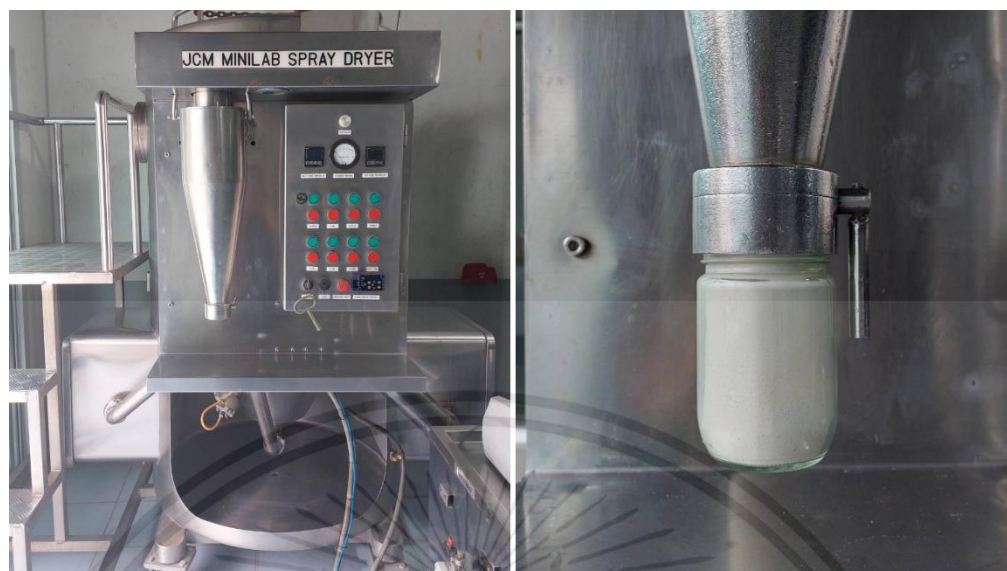


รูปที่ 3.6 เดิมเวย์โปรตีน



รูปที่ 3.7 เดิมมอลโตเด็กซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ 3.9 ผลิตภัณฑ์ผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 กระบวนการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

3.4.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย

1. ห้องทำแห้ง (Drying chamber)
2. หัวทำละอองหัวฉีดชนิด 2 ของไหลหรือหัวฉีดแบบของไหลสองกระแส
3. ถังเก็บวัตถุดิบ วัตถุดิบที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นของเหลวที่สามารถบีบได้
4. ท่อลำเลียง
5. พัดลม หน้าที่ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในเครื่องทำแห้ง
6. ไชโคลน (cyclone)
7. ชุดทำความร้อน (heater)
8. บีบ (Peristaltic pump)
9. ชุดแมกเนติกสแตทเลอร์
10. ท่อขาเข้าของลมร้อน ท่อขาออกของลมร้อนและผลิตภัณฑ์ที่เป็นผง
11. ภาชนะเก็บผลิตภัณฑ์ผง

3.4.2 ขั้นตอนการติดตั้งชุดเครื่องมือทำแห้งแบบพ่นฝอย

นำส่วนประกอบทั้งหมดมาประกอบ ตรวจสอบข้อต่อของตัวเครื่องให้ราบเรียบ และเริ่มการทำงานของตัวเครื่องได้ดังนี้

1. เปิดเบรกเกอร์ตัวจ่ายไฟให้กับเครื่องทำแห้งพ่นฝอยและบีบลม
2. เปิดเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย บีบลม และตัวจ่ายไฟให้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
3. เปิดอุปกรณ์ดูด (Blower) ให้เกิดลมที่ใช้ในการดูดผลิตภัณฑ์ผงในห้องทำแห้ง
4. ทำการตั้งค่าความเร็วรอบอุปกรณ์เป่าที่ 2,400 rpm
5. นำ Peristaltic pump มาเสียบปลั๊กเข้ากับตัวจ่ายไฟของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
6. ทำการตั้งค่าความเร็วรอบบีบไว้ที่ 22 รอบ/นาที
7. นำสายลมต่อเข้ากับบีบลม และเสียบสายลมเข้ากับหัวทำละอองฝอย
8. นำสายที่ใช้ส่งน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนต่อเข้ากับหัวทำละอองฝอยและต่อกับ Peristaltic pump
9. เปิดบีบลม ,กดปุ่ม pump และเปิดชุดทำความร้อนที่ตัวเครื่องเพื่อให้ได้ความร้อนที่ต้องการ จากนั้นเครื่องจะเริ่มทำงาน

3.5 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.5.1 ทำการตั้งค่าสถานะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยให้เป็นไปตามเงื่อนไขของแผนการทดลองที่กำหนดไว้ รอเครื่องทำงานจนถึงสถานะที่ตั้งไว้

3.5.2 ป้อนผลิตภัณฑ์เหลวที่เตรียมไว้ โดยใช้บีบเป็นอุปกรณ์ในการป้อน

3.5.3 ผลิตภัณฑ์เหลวถูกบีบส่งมาผ่านท่อลำเลียงไปยังหัวฉีดแบบของไหลสองกระแส และมีลมที่มาจากท่อลมที่ต่อกับหัวฉีดแบบของไหลสองกระแส ลมดันผลิตภัณฑ์เหลวออกมาจากรูของหัวฉีดกลายเป็นละอองฝอย

3.5.4 อากาศภายนอกถูกดูดผ่านเครื่องทำความร้อน ผ่านตัวกรองเพื่อกรองฝุ่นออก ลมร้อนถูกส่งผ่านไปช่องทางออกที่ฝาปิดของห้องทำแห้ง

3.5.5 ลมร้อนและละอองฝอยสัมผัสกันในห้องทำแห้ง เกิดการระเหยออกของน้ำที่อยู่ในละอองฝอย

3.5.6 อุปกรณ์ดูด (Blower) จะทำการดูดผลิตภัณฑ์ผงที่อยู่ข้างล่างของห้องทำแห้งไปยังไซโคลน ผลิตภัณฑ์จะเกิดการหมุนวนอยู่ในไซโคลน ผลิตภัณฑ์ผงที่มีขนาดเล็กจะตกลงไปในภาชนะเก็บผลิตภัณฑ์ผง ส่วนผลิตภัณฑ์ผงที่มีขนาดใหญ่กับลมร้อนจะลอยออกขึ้นไปทางด้านบนของไซโคลนและถูกส่งออกไปยังท่อขาออกของลมร้อน

3.5.7 นำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ใส่ถุงซีล เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผง

3.6 ปัจจัยที่ทำการศึกษา

1. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส
2. มอลโตเด็กซ์ตริน 10DE 3 ระดับคือ 10%/ 20%/ 30% (w/w)

ตารางที่ 3.2 ตั้งค่าสถานะเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

สถานะที่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	ตัวแปรที่กำหนด
อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า	160, 180, 200 °C
อุณหภูมิอากาศร้อนขาออก	75 °C
อุณหภูมิของอาหารเหลวที่ป้อน	45 °C
อัตราการป้อนของอาหารเหลว	39.47 ml/min
ความเข้มข้นของสารละลาย	14 °Brix
อัตราเร็วลมที่ใช้ในการดูดผลิตภัณฑ์	2400 rpm
อัตราการป้อนของปัม	22 rpm
ความเร็วลม	9 m/s

3.7 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

3.7.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Yield)

นำผลิตภัณฑ์ผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนที่ได้มาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เทียบเป็นอัตราส่วนกับน้ำหนักตอนเริ่มต้น และคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ (กรัม)}}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$



รูปที่ 3.10 การชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ผง

3.7.2 การวัดของแข็งที่ละลายน้ำได้

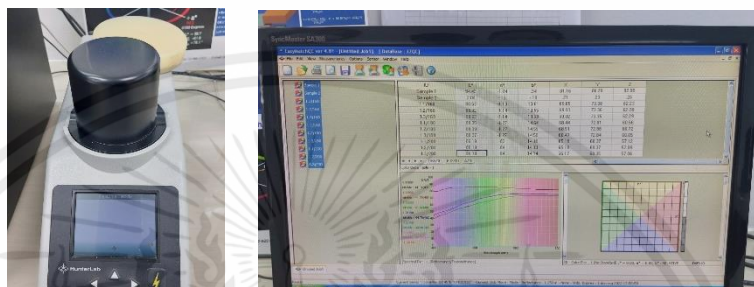
โดยใช้เครื่อง Refractometer ยี่ห้อ Atago ปรับเทียบมาตรฐานเครื่องมือโดยหยดน้ำกลั่น เช็ดทำความสะอาดด้วยทิชชู แล้ววัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของตัวอย่าง วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และบันทึกผลในหน่วยองศาบริกซ์ (°Brix)



รูปที่ 3.11 Refractometer ยี่ห้อ Atago 0 - 32 %Brix

3.7.3 การวัดค่าสี

ใช้เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color flex EZ โดยใช้ระบบ CIE L* a* b* โดยใช้แทนสำหรับวางตัวอย่างขนาด 0.75 นิ้ว ปรับเทียบค่าสีก่อนการตรวจวัดด้วย Black glass standard และ White tile standard ตามลำดับ จากนั้นวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ผงนํ้านมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน โดยวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ บันทึกค่าสีในระบบ CIE ในเทอมของ L* (ค่าความสว่าง) a* (ค่าความเป็นสีแดง) และ b* (ค่าความเป็นสีเหลือง)



รูปที่ 3.12 เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color flex EZ และการประมวลผล

3.7.4 การวัดปริมาณน้ำอิสระ

ใช้เครื่อง Water Activity ยี่ห้อ Aqua Lab ปรับเทียบมาตรฐานเครื่องมือโดยกด Reset ให้ขึ้นค่าเป็น 0 แล้ววัดค่าปริมาณน้ำอิสระของตัวอย่างโดยนำผลิตภัณฑ์ผงนํ้านมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน 3-5 กรัมใส่ลงในภาชนะ วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และบันทึกผลในหน่วย Aw



รูปที่ 3.13 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระยี่ห้อ Aqua lab รุ่น Model SERIES 3TE, USA

3.7.5 การวัดปริมาณความชื้น (Moisture content) AOAC 2000

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยดัดแปลงจากวิธีของ AOAC 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อบอุ่นอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UFB 400 ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำออกจากตู้อบใส่ไว้ใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง
2. ชั่งผลิตภัณฑ์ผงน้ำหนักแก้วเหลืองผสมเวียโปรตีนให้ได้น้ำหนัก 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมงนำออกจากตู้อบใส่ไว้ใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกผลที่ได้
3. อบอุ่นได้ผลต่างของน้ำหนักคงที่ (± 0.001 กรัม)
สามารถคำนวณปริมาณความชื้นได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$



รูปที่ 3.14 ตู้อบลมร้อน memmert UFB400

3.7.6 ความสามารถในการละลาย

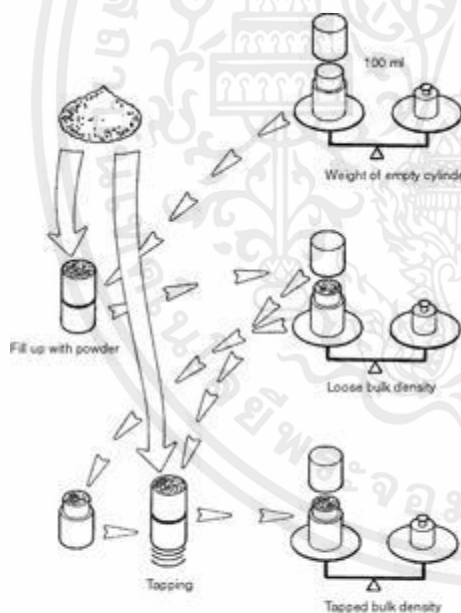
ชั่งผลิตภัณฑ์ผงน้ำหนักแก้วเหลืองผสมเวียโปรตีน 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง กวนผสมด้วยเครื่องกวนสารละลายที่ความเร็วคงที่ จับเวลาในการละลายอย่างสมบูรณ์ ละลายผลิตภัณฑ์ผงน้ำหนักแก้วเหลืองผสมเวียโปรตีนละ 3 ชั่วโมง บันทึกผล



รูปที่ 3.15 เครื่อง Hotplate Stirrer HTS-1003

3.7.7 การวัดความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ใช้เครื่องมือ Bulk Density Apparatus โดยทำการชั่งกระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร เทผลิตภัณฑ์ผงน้ำมันถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนปริมาณ 3 กรัม ลงในกระบอกตวงผ่านกรวย หลังจากนั้น ชั่งกระบอกตวงที่บรรจุตัวอย่างและบันทึกปริมาณตัวอย่าง วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และนำไปคำนวณค่าความหนาแน่นรวมต่อไป



การหาความหนาแน่นรวม (bulk density) ของนมผง



ตัวอย่างอุปกรณ์สำหรับหา bulk density

<http://www.niro.com/niro/cms.doc.nsf/WebDoc/ndkw5y8fg9Library>

รูปที่ 3.16 อุปกรณ์สำหรับหาค่า Bulk density

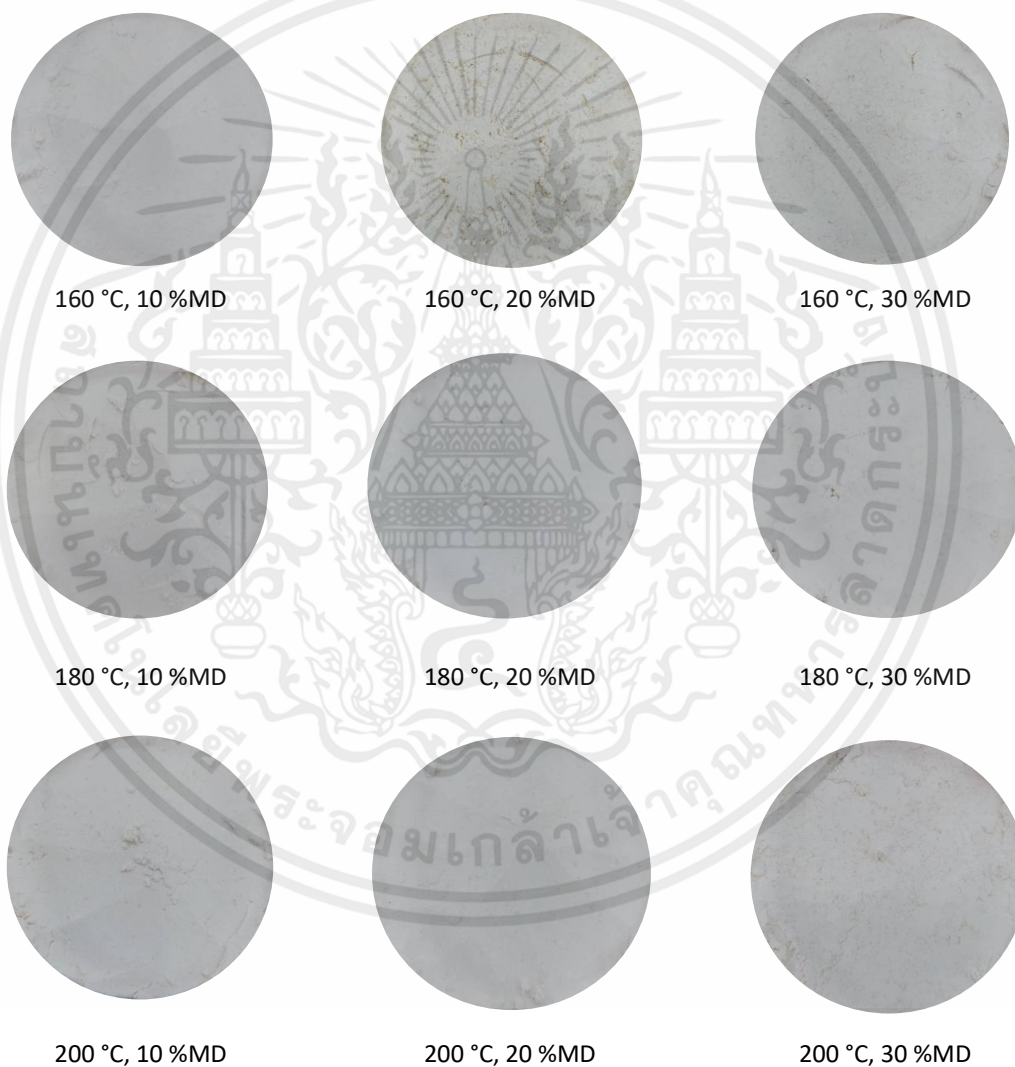
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติแน่นม้วนถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน

การเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน ทำได้โดยนำถั่วเหลืองมาล้างน้ำให้สะอาด และแช่ในน้ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำถั่วเหลืองมาปั่นกับน้ำสะอาด กรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำไปต้มด้วยไฟกลาง วางทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วจึงเติมเวย์โปรตีน ซึ่งมีค่าบริกซ์เฉลี่ยเท่ากับ 14 องศาบริกซ์



รูปที่ 4.1 ลักษณะผลิตภัณฑ์ผงบ่มถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลสมบัติทางกายภาพและเคมี

Temp inlet (°C)	Maltodextrin (% w/w)	Yield (%)	Moisture content (% wet basis)	Water activity (Aw)	Bulk density (g/mL)	Solubility (sec)	Colour parameters			
							L*	a*	b*	Yellowness
160	10	26.73 ± 0.98	5.24 ± 0.16	0.40 ± 0.03	0.20 ± 0.07	437.25 ± 78.15	88.84 ± 0.76	-0.69 ± 0.10	10.77 ± 1.58	22.84 ± 1.86
	20	27.94 ± 4.43	4.45 ± 0.39	0.29 ± 0.08	0.23 ± 0.02	377.10 ± 4.50	87.61 ± 1.52	-0.68 ± 0.81	14.23 ± 1.04	26.72 ± 2.79
	30	42.76 ± 7.21	4.34 ± 0.23	0.31 ± 0.07	0.27 ± 0.00	430.65 ± 1.05	88.88 ± 0.26	-1.22 ± 0.36	12.74 ± 0.85	23.27 ± 1.23
180	10	39.53 ± 2.13	4.81 ± 1.58	0.37 ± 0.09	0.20 ± 0.02	487.50 ± 4.80	88.29 ± 1.78	-0.60 ± 0.58	12.80 ± 1.20	24.05 ± 3.00
	20	40.13 ± 5.36	6.02 ± 0.48	0.38 ± 0.09	0.21 ± 0.03	606.45 ± 110.55	89.27 ± 0.48	-0.87 ± 0.30	12.90 ± 0.11	22.33 ± 0.41
	30	49.76 ± 2.11	4.64 ± 0.20	0.35 ± 0.03	0.23 ± 0.00	582.75 ± 80.55	89.18 ± 0.09	-0.73 ± 0.08	11.72 ± 0.25	21.82 ± 0.51
200	10	42.99 ± 1.44	4.11 ± 0.59	0.38 ± 0.09	0.24 ± 0.02	510.15 ± 82.35	88.42 ± 0.48	-0.64 ± 0.21	12.62 ± 0.98	23.64 ± 1.78
	20	34.04 ± 4.25	5.56 ± 0.89	0.41 ± 0.04	0.25 ± 0.05	558.90 ± 6.30	89.10 ± 0.34	-0.67 ± 0.15	11.58 ± 0.33	21.62 ± 0.72
	30	44.56 ± 5.48	4.90 ± 1.08	0.33 ± 0.01	0.27 ± 0.02	686.55 ± 8.25	87.93 ± 0.91	-1.15 ± 0.16	14.43 ± 1.34	26.51 ± 2.67

4.2 ร้อยละผลิตผล (%)

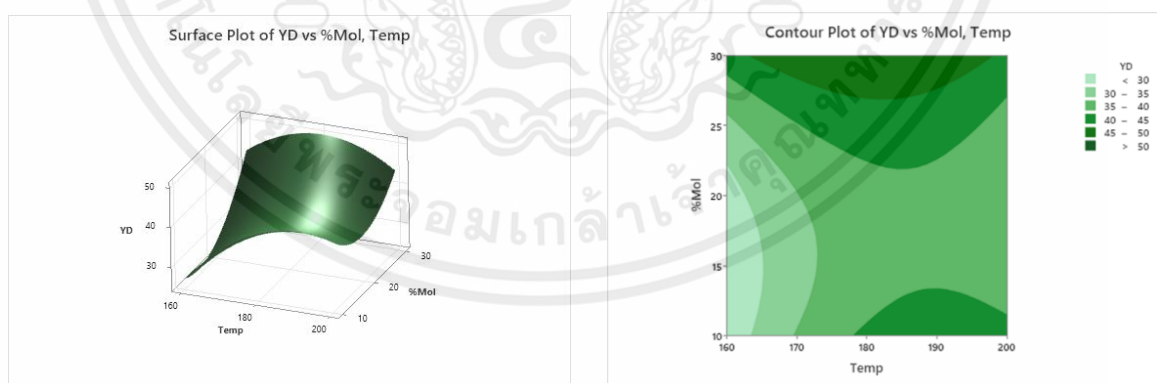
จากการวิเคราะห์ผลผลิตถั่วงอกที่ได้พบว่าปริมาณผลิตถั่วงอกที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 22.84 % ถึง 52.08 % เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$Y = -582 + 6.53X_1 + 0.91X_2 - 0.01659X_1^2 + 0.0701X_2^2 - 0.01807X_1X_2$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.7992, \text{ S.E.} = 4.0850, p < 0.05$$

จากกรณีศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละผลิตผล จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละผลิตผลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละผลิตผลที่ได้เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 30 % (w/w) จะมีค่าร้อยละผลิตผลมากที่สุด เท่ากับ 52.08 %

ผลผลิตที่สูงขึ้นพร้อมกับมอลโตเด็กซ์ตรินที่สูงขึ้นเป็นไปได้มากที่สุดเนื่องจากการถ่ายโอนอย่างรวดเร็วที่ต้องการไปยังส่วนต่อประสานของสารละลายป้อนและการก่อตัวของผิวคล้ายแก้วเมื่อแห้ง ดังนั้นจึงเอาชนะการยัดเกาะและความเหนียวระหว่างหยดและผนังห้อง (Fang & Bhandari, 2555) และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลผลิตสูงขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพที่มากขึ้นของกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวล (Cai and Corke, 2543).



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อร้อยละผลิตผล

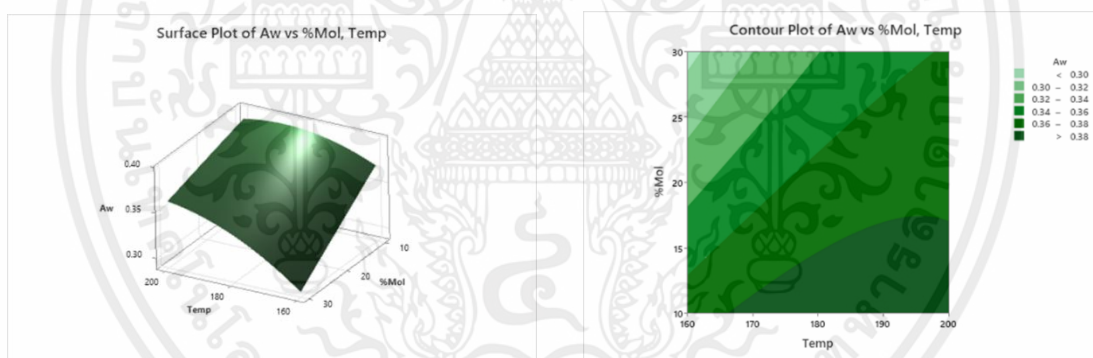
4.3 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity)

จากการวิเคราะห์ผลผลิตถั่วงอกที่ได้พบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 0.21 ถึง 0.47 เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$Aw = -0.51 + 0.0105X_1 - 0.0134X_2 - 0.000029X_1^2 - 0.000003X_2^2 + 0.000060X_1X_2$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.1905, \text{ S.E.} = 0.0690192, \text{ p} > 0.05$$

จากกรณีศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบบระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จะพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระ จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระที่ได้ลดลง และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 20 % (w/w) จะมีค่าปริมาณน้ำอิสระที่น้อยที่สุด เท่ากับ 0.21



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณน้ำอิสระ

4.4 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

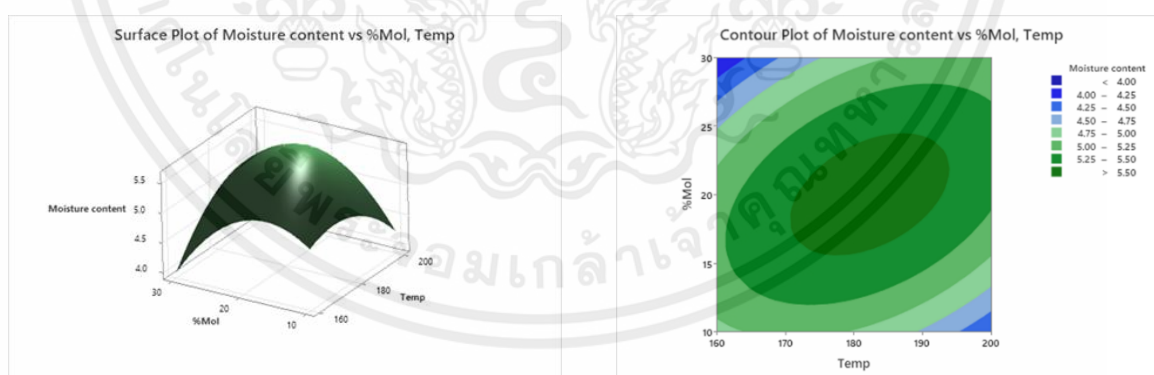
จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่าค่าปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 3.33 % ถึง 6.54 % เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$MC = -21.9 + 0.315X_1 - 0.118X_2 - 0.000979X_1^2 - 0.00670X_2^2 + 0.00212X_1X_2$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.3008, \text{ S.E.} = 0.811194, p < 0.05$$

จากกรณีศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลการระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จะพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น จากรูปที่ 4.3 พบว่าที่อุณหภูมิขาเข้า 160 เมื่อมีปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นที่ได้ลดลง และที่อุณหภูมิขาเข้าที่ 200 องศาเซลเซียส เมื่อมีปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินลดลง ส่งผลให้ปริมาณความชื้นที่ได้ลดลง และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 10 % (w/w) จะมีค่าปริมาณน้ำความชื้นที่น้อยที่สุด เท่ากับ 3.33 %

จากการเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ลดลง ส่งผลให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีค่าความชื้นลดลง (พริททิพย์ และมาฤดี, 2560) ขณะที่มอลโตเด็กซ์ตรินช่วยเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ผงและลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ (สโรบลและชัยรัตน์, 2554)



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อปริมาณความชื้น

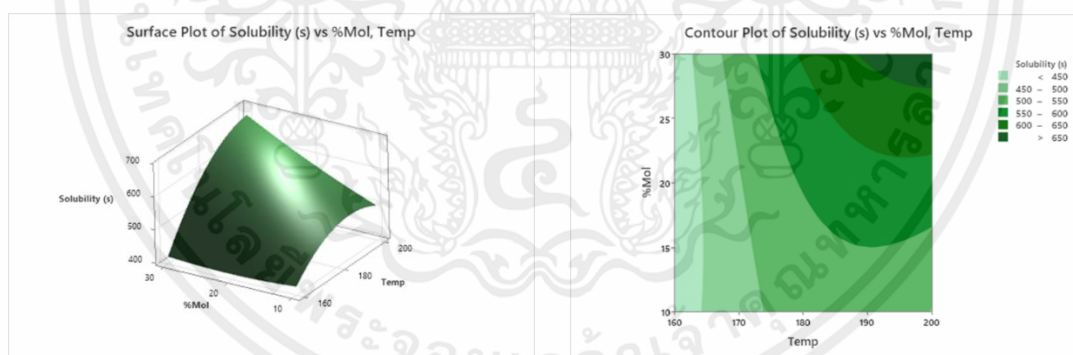
4.5 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่าความสามารถในการละลายที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 359.10 วินาที ถึง 717.00 วินาที เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\text{Sol} = -4207 + 52.6X_1 - 40.1X_2 - 0.1470X_1^2 + 0.083X_2^2 + 0.2288X_1X_2$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.7186, \text{ S.E.} = 62.8466, p < 0.05$$

จากกรณีศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบบระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการละลาย จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการละลายลดลง นอกจากนี้เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการละลายที่ได้ลดลง และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 10 % (w/w) จะมีความสามารถในการละลายเร็วที่สุด เท่ากับ 359.10 วินาที ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ผงขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคที่รวมกับมอลโตเด็กซ์-ทรินและเวทย์โปรตีนจนเกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ และมีลักษณะเป็นผลึกทำให้สัมผัสน้ำได้ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ผงลดลง (Zhi-Hong et al., 2019)



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความสามารถในการละลาย

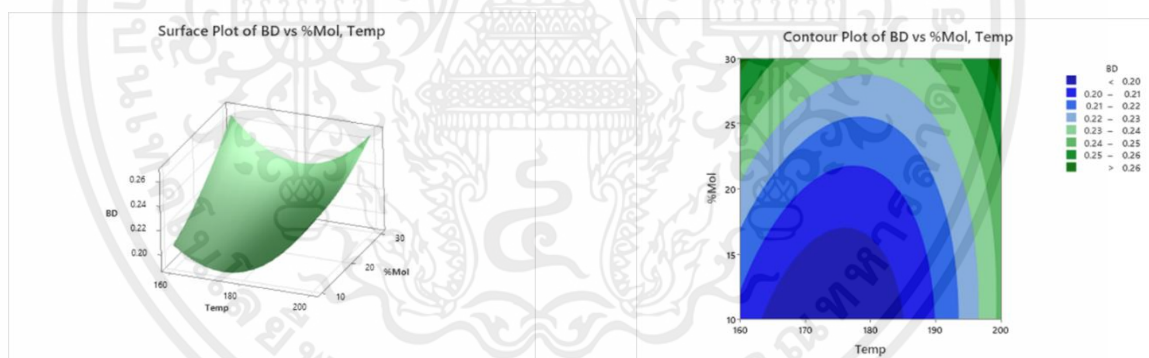
4.6 ความหนาแน่นรวม

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่าความหนาแน่นรวมที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 0.16 g/cm^3 ถึง 0.28 g/cm^3 เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$BD = 2.49 - 0.0269X_1 + 0.00689X_2 + 0.000078X_1^2 + 0.000073X_2^2 - 0.000043X_1X_2$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.4457, \text{ S.E.} = 0.031, p < 0.05$$

จากกรณีศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบบetween อุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวม จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นรวมที่ได้เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 10 % (w/w) จะมีความหนาแน่นรวมมากที่สุด เท่ากับ 0.28 g/cm^3 ความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เมื่อมอลโตเด็กซ์ทรินสูงขึ้น พฤติกรรมนี้สามารถแสดงให้เห็นว่า มอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มการเกาะติดของอนุภาค และยังรวมถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาตรอากาศที่กักอยู่ในอนุภาค เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินเป็นวัสดุที่ก่อตัวเป็นผิวหุ้ม (Suhag & Nanda, 2558)



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความหนาแน่นรวม

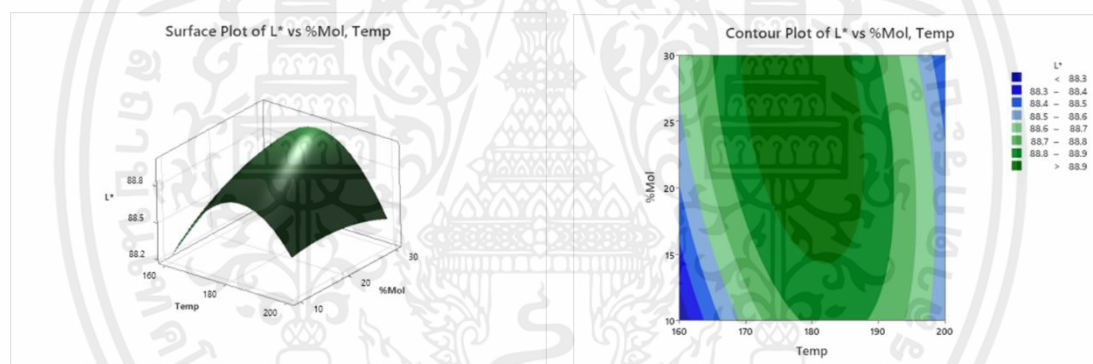
4.7 ค่าความสว่าง (L^*)

จากการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์ผงที่ได้พบว่าค่าความสว่างที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 85.85 ถึง 89.63 เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$L^* = 49.6 + 0.419X_1 + 0.153X_2 - 0.00113X_1^2 - 0.00069X_2^2 - 0.00065X_1X_2$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.0668, \text{ S.E.} = 1.0175, p > 0.05$$

จากกรณีศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบบระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จะพบว่าไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 20 % (w/w) จะมีค่าความสว่างที่สุด เท่ากับ 89.63



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าความสว่าง

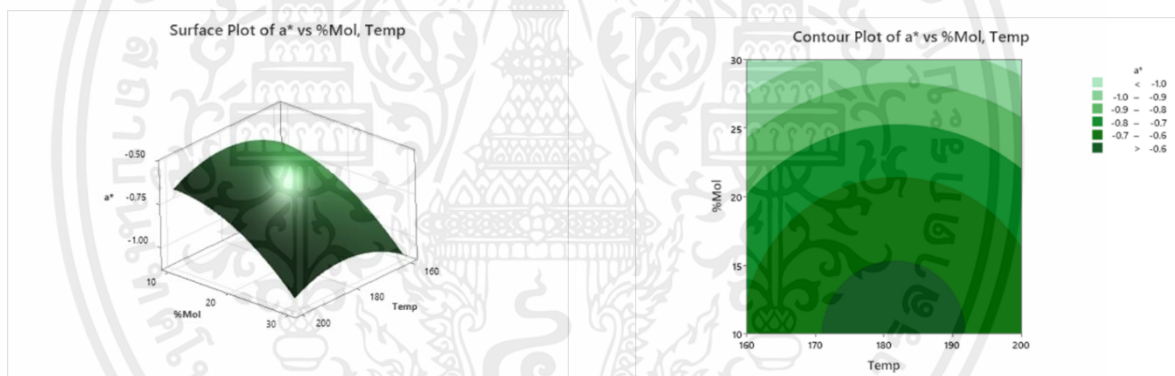
4.8 ค่าความเป็นสีแดง (a^*)

จากการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ที่ได้พบว่าค่าความเป็นสีแดงที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง -1.48 ถึง 0.25 เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$a^* = -9.3 + 0.096X_1 + 0.015X_2 - 0.000264X_1^2 - 0.00097X_2^2 + 0.000025X_1X_2$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.2128, \text{ S.E.} = 0.3814, p > 0.05$$

จากกรณีศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบบระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดงที่ได้ลดลง และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 10 % (w/w) จะมีค่าความเป็นสีแดง เท่ากับ 0.25



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าความเป็นสีแดง

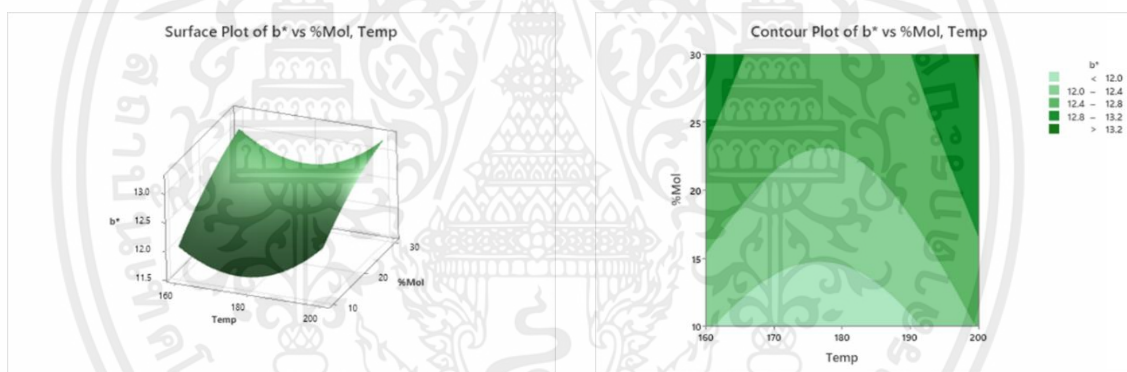
4.9 ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)

จากการวิเคราะห์ผลิตรถยนต์ที่ได้พบว่าค่าความเป็นสีเหลืองที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 8.95 ถึง 15.86 เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบสมการพหุนามกำลังสอง สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$b^* = 51.3 - 0.461X_1 + 0.128X_2 + 0.00131X_1^2 - 0.00118X_2^2 - 0.00020X_1X_2$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.1117, \text{ S.E.} = 0.14787, p > 0.05$$

จากกรณีศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบบetween อุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นสีเหลืองที่ได้เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 200 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 30 % (w/w) จะมีค่าความเป็นสีเหลือง เท่ากับ 15.86



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าความเป็นสีเหลือง

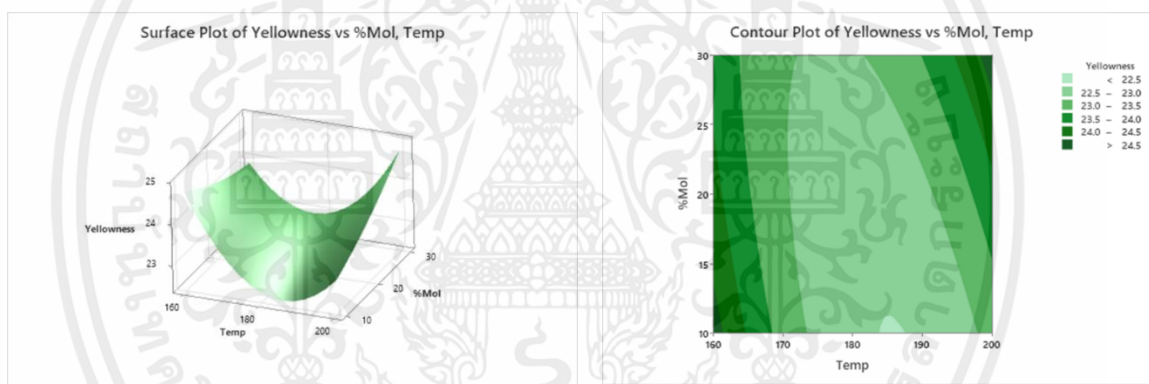
4.10 ค่าดัชนีของความเหลือง (Yellowness)

จากการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ที่ได้พบว่าค่าดัชนีของความเหลืองที่ได้จากการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 20.94 ถึง 29.92 เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบสมการพหุนามเมื่อยกกำลังสอง สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\text{Yellowness} = 146.1 - 1.300X_1 - 0.583X_2 + 0.00342X_1^2 + 0.0013X_2^2 + 0.00304X_1X_2$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.1130, \text{ S.E.} = 2.5125, p > 0.05$$

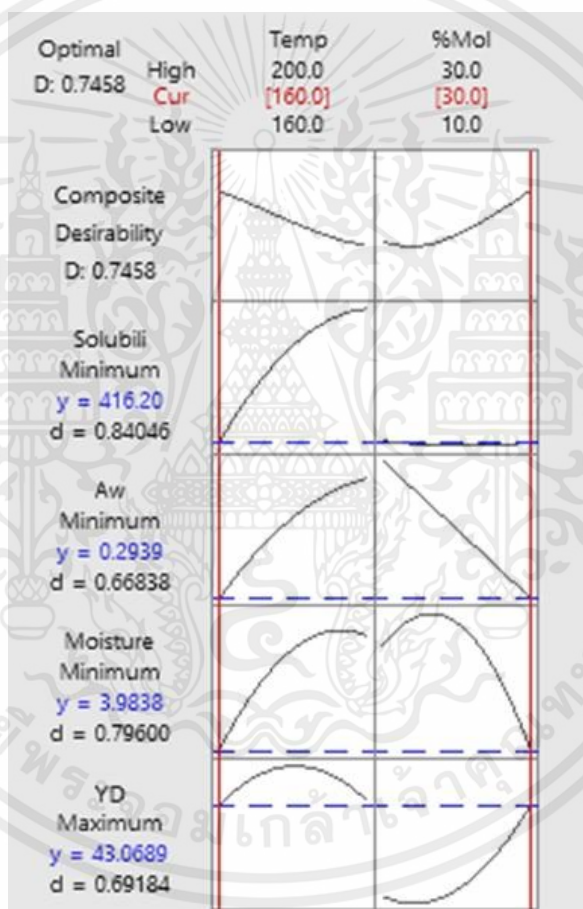
จากกรณีศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R^2 , S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบบระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 20 % (w/w) จะมีค่าดัชนีของความเหลือง เท่ากับ 29.92



รูปที่ 4.10 อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อค่าดัชนีของความเหลือง

4.11 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งน้ำมันถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน

เมื่อนำกราฟพื้นผิว (Response surface) ของคุณสมบัติต่างๆ มาพล็อตรวมกัน โดยใช้เกณฑ์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ร้อยละผลิตผลมากที่สุด ความสามารถในการละลายเร็วที่สุด ปริมาณความชื้นน้อยที่สุด และปริมาณน้ำอิสระน้อยที่สุด โดยใช้คำสั่ง response optimizer ของโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 21 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำมันถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่ 160 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 30 % (w/w)



รูปที่ 4.11 แสดงสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำมันถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการทำแห้งน้ำมันเมล็ดเหลืองผสมเวย์โปรตีนด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า 160, 180, 200 °C และปริมาณของมอลโตเด็กซ์ทริน 10 DE 10%, 20%, 30% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ พบว่า

เมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละผลผลิต และปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการละลายมีค่าลดลง และเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละผลผลิต ความหนาแน่นรวม ค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ ปริมาณน้ำอิสระ ความสามารถในการละลาย และค่าความสว่างมีค่าลดลง

โดยอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงน้ำมันเมล็ดเหลืองผสมเวย์โปรตีน ดังนี้

5.1.1 ร้อยละผลผลิตพบว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละผลผลิตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 30 % (w/w) จะมีค่าร้อยละผลผลิตมากที่สุด

5.1.2 ปริมาณน้ำอิสระพบว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระที่ได้ลดลง และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 20 % (w/w) จะมีค่าปริมาณน้ำอิสระที่น้อยที่สุด

5.1.3 ปริมาณความชื้นพบว่าที่อุณหภูมิขาเข้า 160 องศาเซลเซียส เมื่อมีปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นที่ได้ลดลง และที่อุณหภูมิขาเข้าที่ 200 องศาเซลเซียส เมื่อมีปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินลดลง ส่งผลให้ปริมาณความชื้นที่ได้ลดลง และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 10 % (w/w) จะมีค่าปริมาณน้ำความชื้นที่น้อยที่สุด

5.1.4 ความสามารถในการละลายพบว่าเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการละลายลดลง นอกจากนี้เมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการละลายที่ได้ลดลง และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 10 % (w/w) จะมีความสามารถในการละลายเร็วที่สุด

5.1.5 ความหนาแน่นรวมพบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นรวมที่ได้เพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ 10 % (w/w) จะมีความหนาแน่นรวมมากที่สุด

5.1.6 ค่าความสว่างจะพบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 20 % (w/w) จะมีค่าความสว่างที่สุด

5.1.7 ค่าความเป็นสีแดงพบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดงที่ได้ลดลงและอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 10 % (w/w) จะมีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด

5.1.8 ค่าความเป็นสีเหลืองพบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นสีเหลืองที่ได้เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 200 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 30 % (w/w) จะมีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด

5.1.9 ดัชนีของความเหลืองพบว่าอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีของความเหลือง และที่อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 20 % (w/w) จะมีค่าดัชนีของความเหลืองมากที่สุด

เมื่อนำกราฟพื้นผิว (Response surface) ของคุณสมบัติต่างๆมาพล็อต พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน คือ อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า ที่ 160 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 30 % (w/w)

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเก็บรักษาผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีนควรเก็บในถุงสุญญากาศที่มิดชิดเพื่อป้องกันปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อคุณภาพผงน้ำนมถั่วเหลืองผสมเวย์โปรตีน

5.2.2 ควรมีอุปกรณ์หรือเครื่องมือในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้คงที่ตลอดทุกครั้งในการทดลอง

บรรณานุกรม

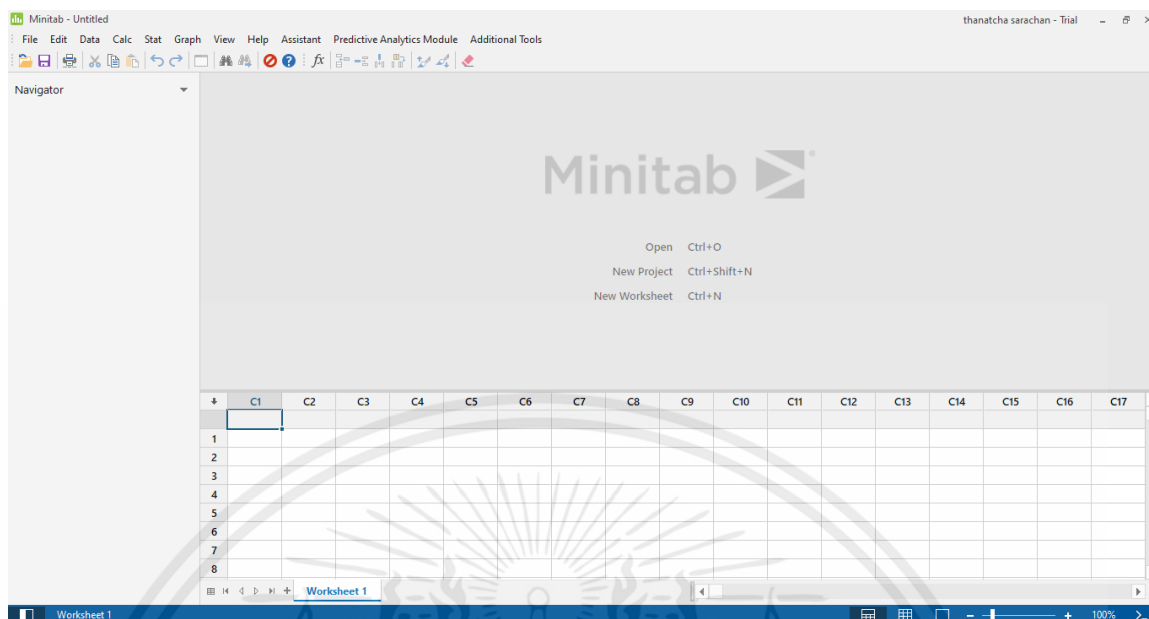
- กษมา ชุมคง, วนิสา สารการโกศล. (2561). การศึกษาผลกระทบจากการเติมเวย์โปรตีนและอนุภูมิโกลมร้อนชาเข้าต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมมะละกอ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- เบญญา ชูตินทราศี. (2565). เทคโนโลยีส่วนผสมอาหารสังเคราะห์. สืบค้นเมื่อ 24 สิงหาคม 2565. สืบค้นจาก [http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FY463\(50\)/FY463-4.pdf](http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf).
- พรทิพย์ สุริยะจันทร์หอม, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์. 2560. "ผลของอนุภูมิโกลมการแห้ง มอลโตเด็กซ์ทรินและกัมอะราบิกต่อลักษณะทางเคมีกายภาพของฟักข้าวผงที่ผลิต โดยวิธีการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ", คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สรโรบล สโรชวิสิทธิ์, ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี. 2554. "ผลของอนุภูมิโกลมการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับประรดผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย.", วารสารวิจัยและพัฒนา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Bhandari. (2008). Spray drying and powder properties. Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications, DEStech Publications, Inc., Lancaster, PA, USA, pp. 215-249.
- Cai, Y. Z., & Corke, H. (2004). Production and properties of spray-dried Amaranthus betacyanin pigments. Journal of Food Science, 65, 1248–1252.
- Chegini and Ghobadian. (2005). Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder Drying Technol., 23, pp. 657-668.
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2005). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. Food Research International, 4, 478–483.
- Goula and Adamopoulos. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. Drying kinetics and product recovery Drying Technol., 26 (6), pp. 714-725.
- Liu, K. (1997). Soybeans: Chemistry, technology, and utilization Edited by Keshun Liu (Hartz Seed). Journal of Natural Products, 60(11), 1218-1218.
- Miller et al. (2016). Spray-drying technology. Formulating Poorly Water Soluble Drugs, Springer (2016), pp. 437-525.
- O'Sullivan et al. (2019). Atomisation technologies used in spray drying in the dairy industry: a review. J. Food Eng., 243, pp. 57-69.
- Ratti. (2013). Freeze drying for food powder production .Handbook of Food Powders: Processes and Properties, Woodhead Publishing, pp. 57-84.

- Shri K. Sharma, Steven J. Mulvaney, Syed S. H. Rizvi. (2000). Food Process Engineering : Theory and Laboratory Experiments. USA: A John Wiley & Sons Publication.
- Suhag, Y., & Nanda, V. (2015). Optimization of process parameters to develop nutritionally rich spray-dried honey powder with vitamin C content and anti-oxidant properties. International Journal Food Science and Technology (pp. 1–7), 1–7.
- USDA, (2015). Composition of foods raw, processed, prepared. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28 (2015).
- Zhi-Hong Zhang, Huadong Peng, Haile Ma, Xin-An Zeng. (2019) "Effect of inlet air drying temperatures on the physicochemical properties and antioxidant activity of whey protein isolate-kale leaves chlorophyll(WPI-CH) microcapsules."





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม Minitab 21

เมื่อเราทำการเปิดโปรแกรม Minitab 21 เราจะพบหน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม แบ่งเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย 1.Program tabs ที่รวบรวมคำสั่งต่าง ๆ ที่เราสามารถใช้งานได้ 2.Session ซึ่งเป็นส่วนแสดงผลข้อมูลที่โปรแกรมวิเคราะห์ให้ 3.Worksheet เป็นส่วนของตารางที่เรานำข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ไปใส่และ 4.Navigator เป็นส่วนนำทางให้เราสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว โดยเราสามารถเลือกไปยังจุดที่สนใจได้

The screenshot shows the Minitab software interface. The 'Stat' menu is open, displaying various statistical analysis options. Below the menu, a data table is visible with columns labeled C1 through C16. The data table contains 8 rows of numerical values.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	Temp	%Mol	X1	X2	YD	Moisture content	Aw	Solubility (s)	BD	L*	a*	b*	Yellowness			
1	160	10	-1	-1	27.8144	5.0526	0.3680	515.40	0.1690	87.9733	-0.80333	8.9533	24.9470			
2	160	20	-1	0	30.6684	4.0538	0.2060	372.60	0.2410	85.8533	0.25333	15.4167	29.9150			
3	160	30	-1	1	37.1853	4.5518	0.3770	429.60	0.2708	88.6733	-0.81333	11.8033	21.9865			
4	180	10	0	-1	41.5731	3.3293	0.2780	492.30	0.2113	86.2267	0.06000	14.1833	27.5059			
5	180	20	0	0	44.6010	5.5791	0.2840	495.90	0.2310	88.7233	-0.53000	12.0733	22.6982			
6	180	30	0	1	49.2214	4.4554	0.3200	502.20	0.2245	89.2300	-0.78000	11.4800	21.3404			
7	200	10	1	-1	41.3387	3.4244	0.2880	592.50	0.2540	88.0233	-0.83333	13.6100	25.3290			
8	200	20	1	0	30.8458	4.6184	0.3680	565.20	0.2754	89.0233	-0.80333	11.5833	21.5386			

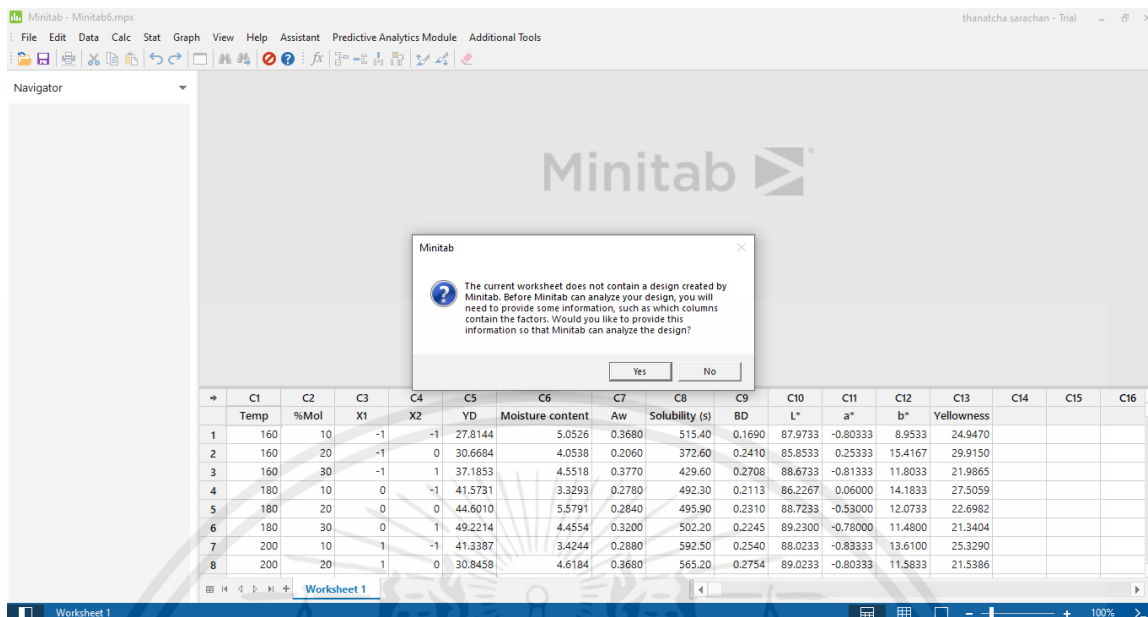
รูปที่ ก.3 เรียกใช้คำสั่ง Stat ในการวิเคราะห์ข้อมูล

The screenshot shows the Minitab software interface with the 'Stat' menu open, and the 'DOE' (Design of Experiments) sub-menu expanded. The 'Response Surface' option is selected, and the 'Analyze Response Surface Design' option is highlighted. The data table from the previous screenshot is visible in the background.

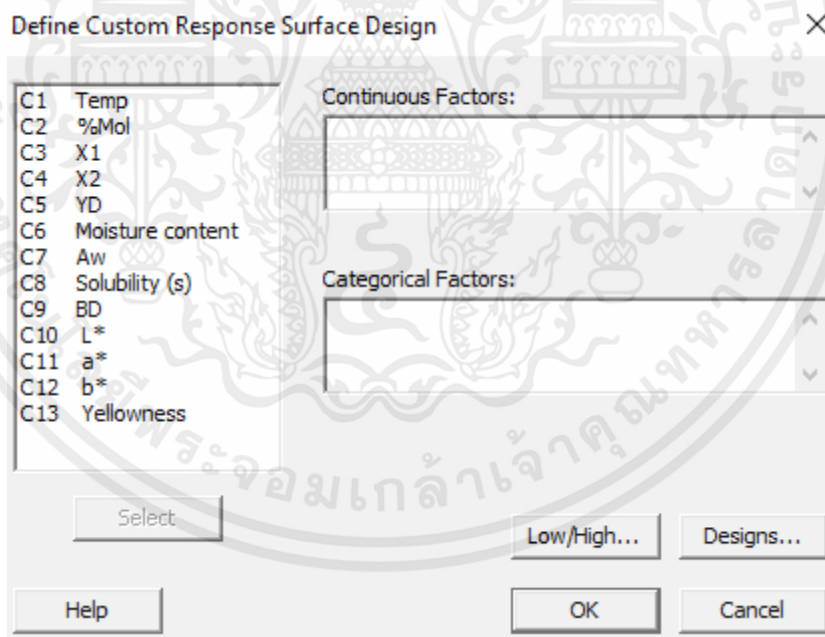
รูปที่ ก.4 เรียกใช้คำสั่ง Analyze Response Surface Design

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้เราใช้แผนภูมิ Response Surface ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยก่อนที่เราจะสามารถวิเคราะห์ได้ เราต้องให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่เราใส่ก่อน โดยไปที่ Stat > DOE > Response Surface > Analyze Response Surface Design

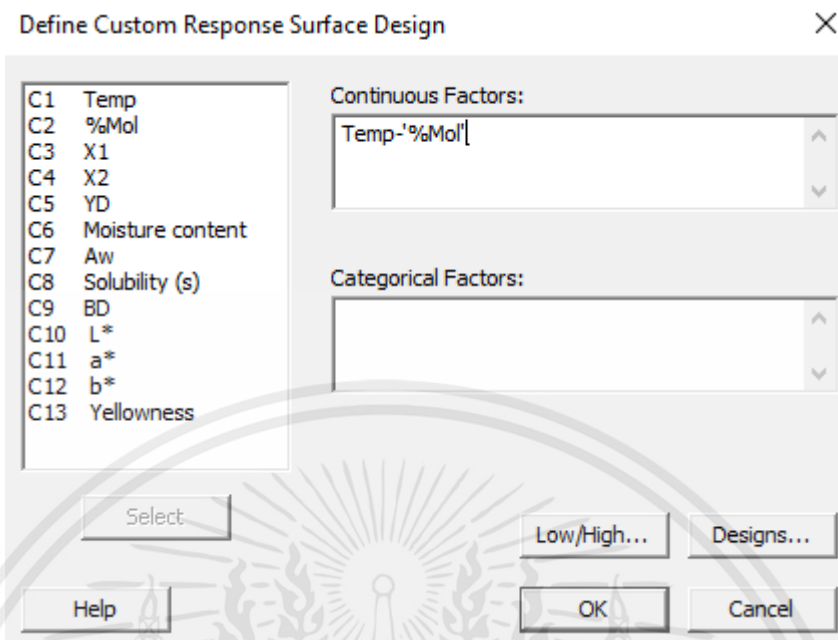
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 ภาพแสดงหน้าต่างหลังจากเรียกใช้ Analyze โดยที่ยังไม่ตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ เนื่องจากเรายังไม่ตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ โปรแกรมจึงต้องการให้เราตั้งค่าตัวแปรก่อนโดยกด Yes ที่หน้าต่างที่แสดงผลขึ้นมา

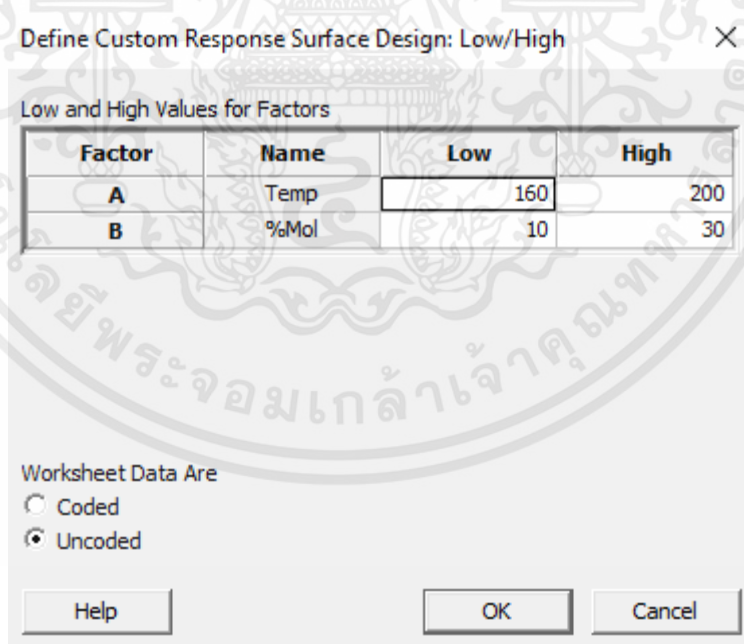


รูปที่ ก.6 ภาพแสดงหน้าต่างการตั้งค่าตัวแปร หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่างดังรูป ก.6 ขึ้นมาให้เราตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยที่เราจะตั้งให้ C1 และ C2 เป็น Continuous Factors เนื่องจากเป็นค่าที่เราศึกษา ดังรูปที่ ก.7

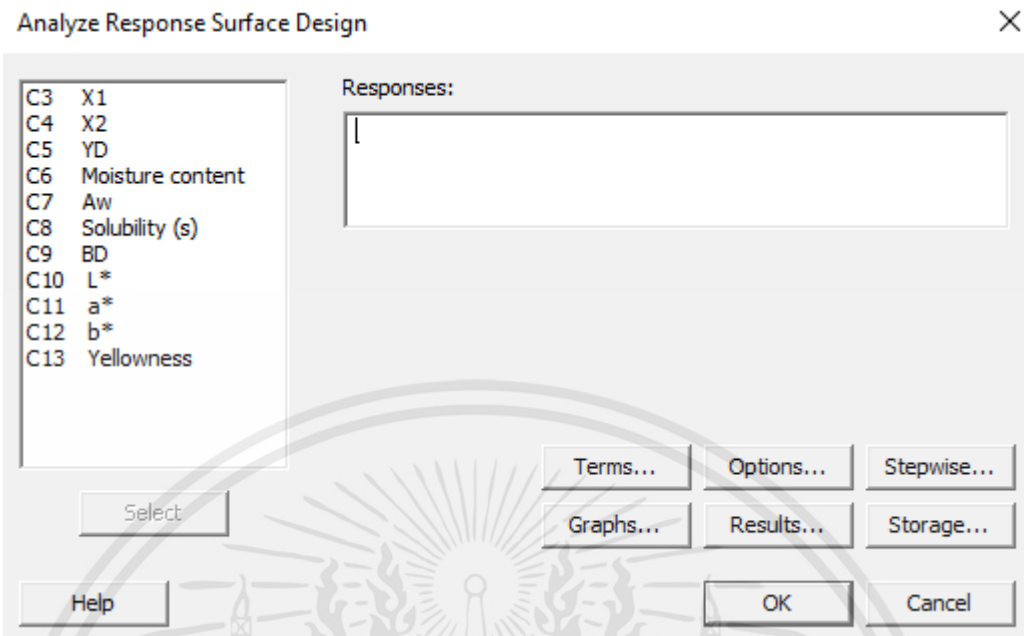


รูปที่ ก.7 ภาพแสดงตัวอย่างการตั้งตัวแปร

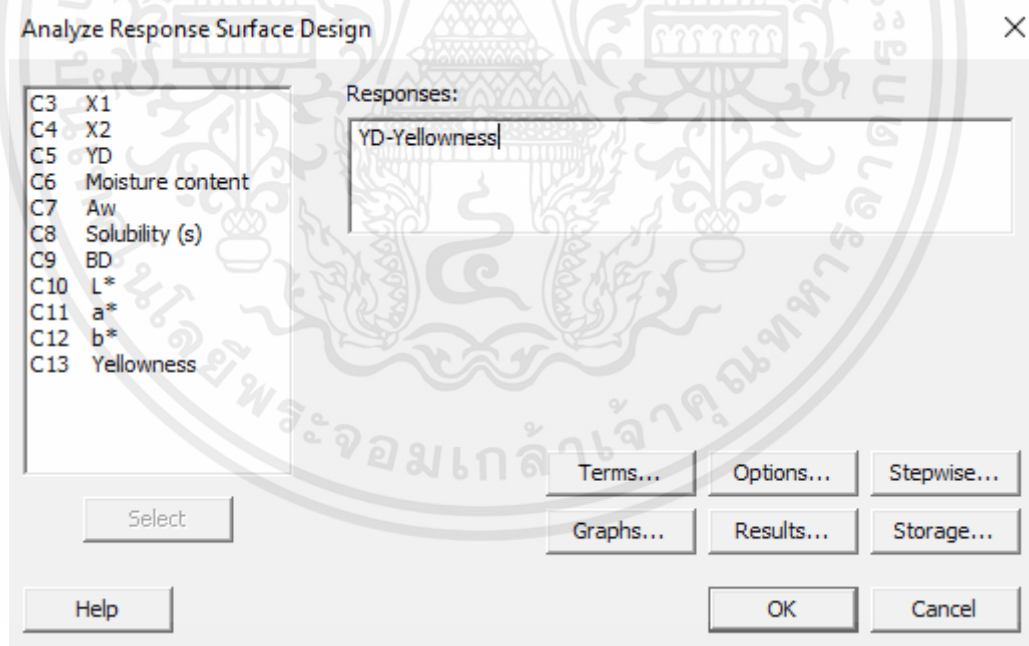
หลังจากทำการตั้งค่าตัวแปรเรียบร้อยแล้ว เราต้องกำหนดช่วงระดับของตัวแปรที่เอามาใช้วิเคราะห์ ในที่นี้จะกำหนดค่าของ Continuous Factors โดยกดไปที่ Low/High ที่มุมขวาล่างของหน้าต่าง โดยเราสามารถกดปุ่ม OK ได้เลย



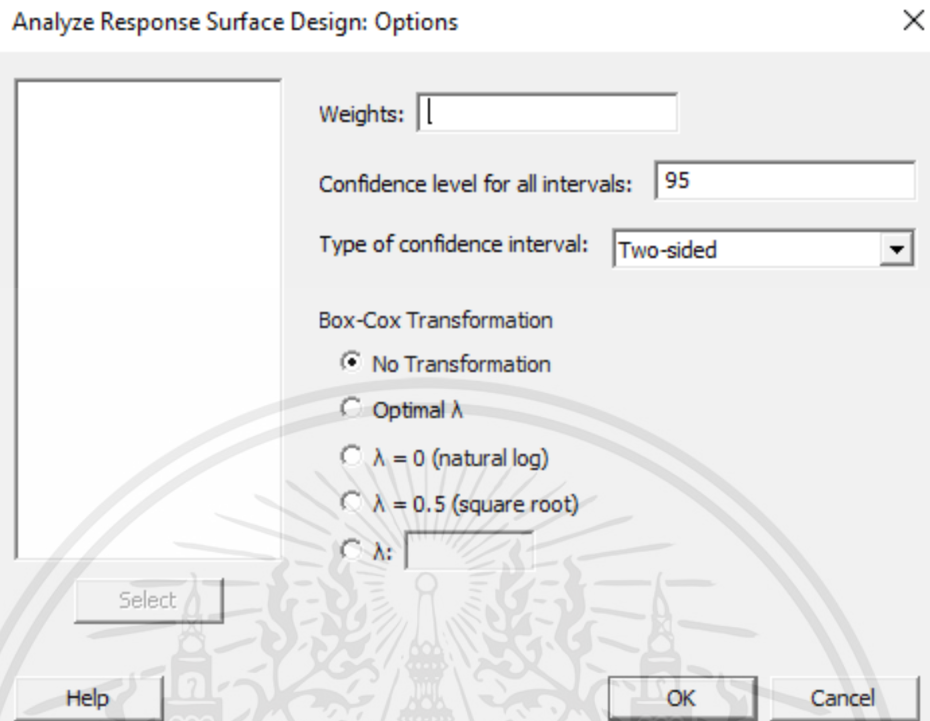
รูปที่ ก.8 หน้าต่างแสดงการตั้งค่าช่วงของตัวแปร



รูปที่ ก.9 หน้าต่างหลังจากตั้งค่าตัวแปรทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว
 หลังจากที่เราตั้งค่าทุกอย่าง จะปรากฏหน้าต่างดังรูป ก.9 ให้เราทำการเลือกตัวแปรที่เราต้องการ
 วิเคราะห์ ซึ่งในที่นี้เราจะเลือกตัวแปรทุกตัวให้วิเคราะห์



รูปที่ ก.10 หน้าต่างหลังจากเลือกตัวแปรเสร็จ



รูปที่ ก.11 หน้าต่างตั้งค่าช่วงความเชื่อมั่น

หลังจากเลือกตัวแปรสำเร็จเราจะเข้าไปที่ Options แล้วตั้งค่าช่วงความเชื่อมั่น ในที่นี้เราใช้ช่วง 95 เมื่อตั้งค่าเสร็จ กด OK โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลหลังจากนั้น ส่วนของ Session จะแสดงผลให้เรา โดยที่ข้อมูลที่ได้จะเหมือนกันทุกตัวแปร ดังแสดงในรูปที่ ก.12

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	22.64	1.08	20.94	0.000	
Temp	-0.175	0.592	-0.30	0.771	1.00
%Mol	0.178	0.592	0.30	0.766	1.00
Temp*Temp	1.37	1.03	1.33	0.197	1.00
%Mol*%Mol	0.13	1.03	0.13	0.898	1.00
Temp*%Mol	0.608	0.725	0.84	0.411	1.00

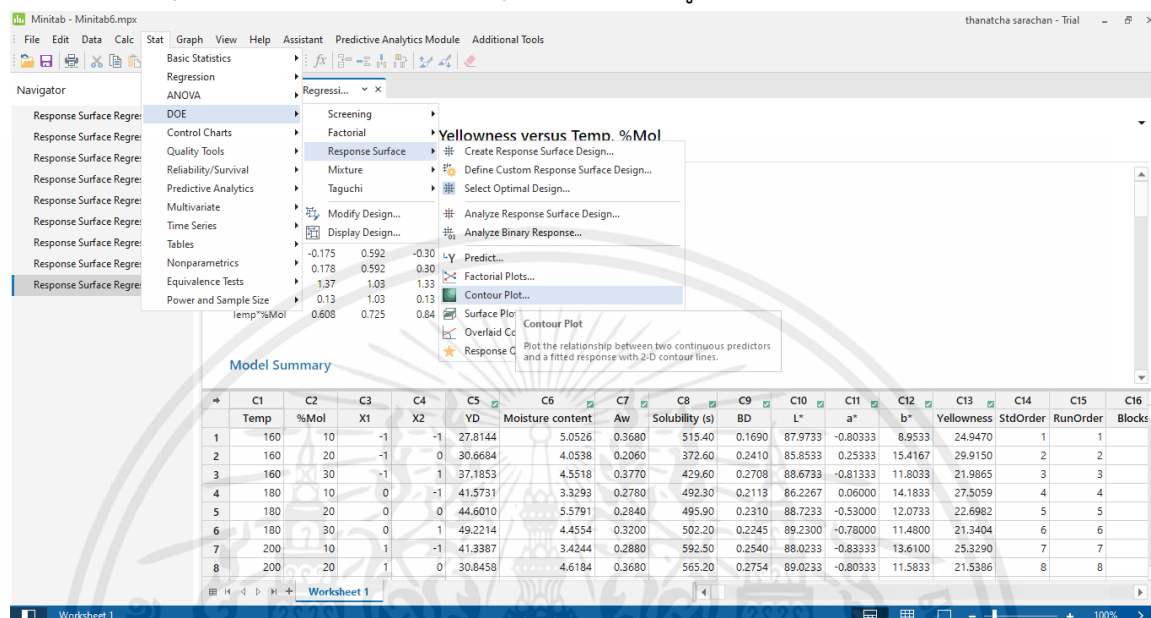
Model Summary

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	Temp	%Mol	X1	X2	YD	Moisture content	Aw	Solubility (s)	BD	L*	a*	b*	Yellowness	StdOrder	RunOrder	Blocks
1	160	10	-1	-1	27.8144	5.0526	0.3680	515.40	0.1690	87.9733	-0.80333	8.9533	24.9470	1	1	
2	160	20	-1	0	30.6684	4.0538	0.2060	372.60	0.2410	85.8533	0.25333	15.4167	29.9150	2	2	
3	160	30	-1	1	37.1853	4.5518	0.3770	429.60	0.2708	88.6733	-0.81333	11.8033	21.9865	3	3	
4	180	10	0	-1	41.5731	3.3293	0.2780	492.30	0.2113	86.2267	0.06000	14.1833	27.5059	4	4	
5	180	20	0	0	44.6010	5.5791	0.2840	495.90	0.2310	88.7233	-0.53000	12.0733	22.6982	5	5	
6	180	30	0	1	49.2214	4.4554	0.3200	502.20	0.2345	89.2300	-0.78000	11.4800	21.3404	6	6	
7	200	10	1	-1	41.3387	3.4244	0.2880	592.50	0.2540	88.0233	-0.83333	13.6100	25.3290	7	7	
8	200	20	1	0	30.8458	4.6184	0.3680	565.20	0.2754	89.0233	-0.80333	11.5833	21.5386	8	8	

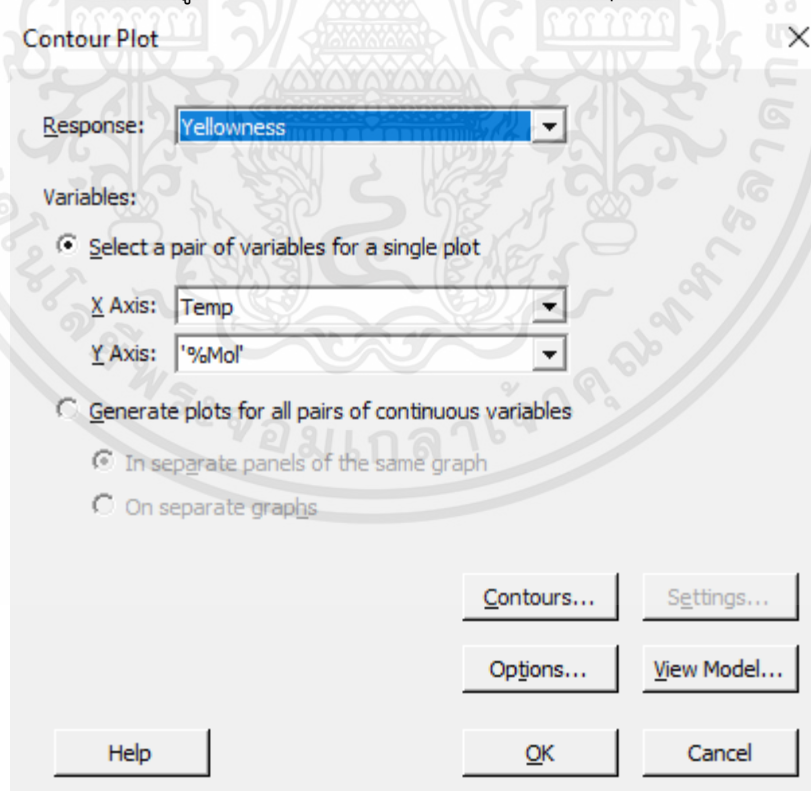
รูปที่ ก.12 ตัวอย่างหน้าต่างข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนี้เราสามารถให้โปรแกรมแสดงผลออกมาในรูปของกราฟได้ ในที่นี้จะแสดงกราฟ 2 รูปแบบ ทั้งแบบ Contour plot และ Surface plot โดยแบบแรก Contour plot ให้เข้าไปที่คำสั่ง Stat > DOE > Response Surface > Contour plot ดังแสดงในรูปที่ ก.13



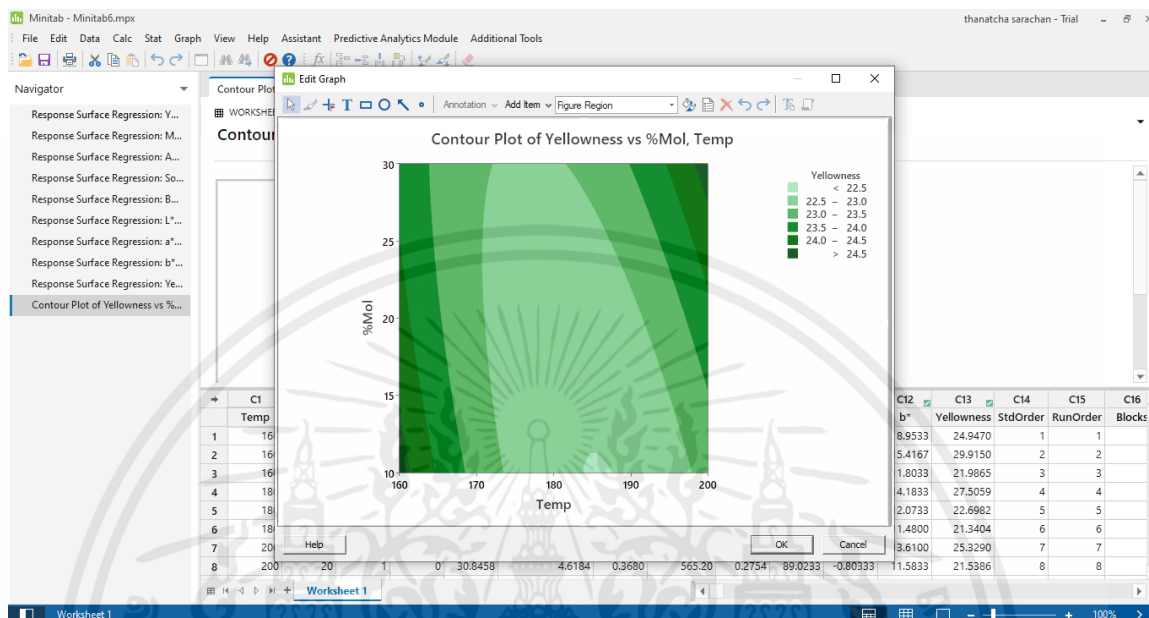
รูปที่ ก.13 การเรียกใช้คำสั่ง Contour plot



รูปที่ ก.14 หน้าต่างของสั่ง Contour plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเรียกใช้ Contour plot จะขึ้นหน้าต่างดังรูป ก.15 โดยเราทำการเลือกตัวแปรที่เราต้องการและตั้งค่าแกน X และแกน Y โดยในที่นี้ แกน X คืออุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า และแกน Y คือ %Maltodextrin หลังจากนั้นกด OK



รูปที่ ก.15 ตัวอย่างหน้าต่างแสดงผล Contour plot ต่อมาเป็นกราฟแบบ Surface plot โดยเราจะสามารถเรียกใช้คำสั่งได้จาก Stat > DOE > Response Surface > Surface plot ดังแสดงในรูปที่ ก.16

Surface Plot

Response: Yellowness

Variables:

Select a pair of variables for a single plot

X Axis: Temp

Y Axis: %Mol

Generate plots for all pairs of continuous variables

In separate panels of the same graph

On separate graphs

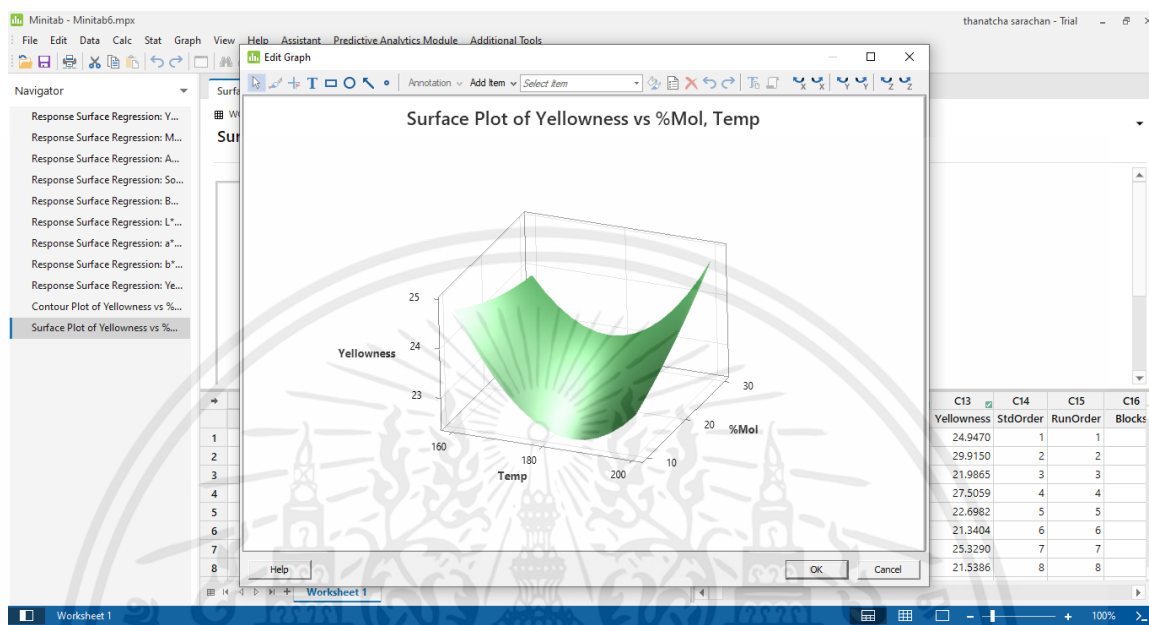
Settings... Options... View Model...

Help OK Cancel

รูปที่ ก.16 หน้าต่างคำสั่งของ Surface plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเรียกใช้ Surface plot จะขึ้นหน้าต่างดังรูป ก.17 โดยเราทำการเลือกตัวแปรที่เราต้องการและตั้งค่าแกน X และแกน Y โดยในที่นี้ แกน X คืออุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า และแกน Y คือ %Maltodextrin หลังจากนั้น กด OK



รูปที่ ก.17 ตัวอย่างของหน้าต่างแสดงผล Surface plot

เราสามารถทำนายช่วงสภาวะที่เราวิเคราะห์ได้ จากการตั้งเกณฑ์ว่าเราต้องการให้ผลที่ออกมานั้นเป็นอย่างไร โดยในที่นี้เราจะตั้งให้ %yield มากที่สุด Moisture content น้อยสุด water activity เท่ากับ 0.8 solubility น้อยสุด จากคำสั่ง Response Optimizer ดังรูป ก.18 จากนั้น กด OK

Response Optimizer

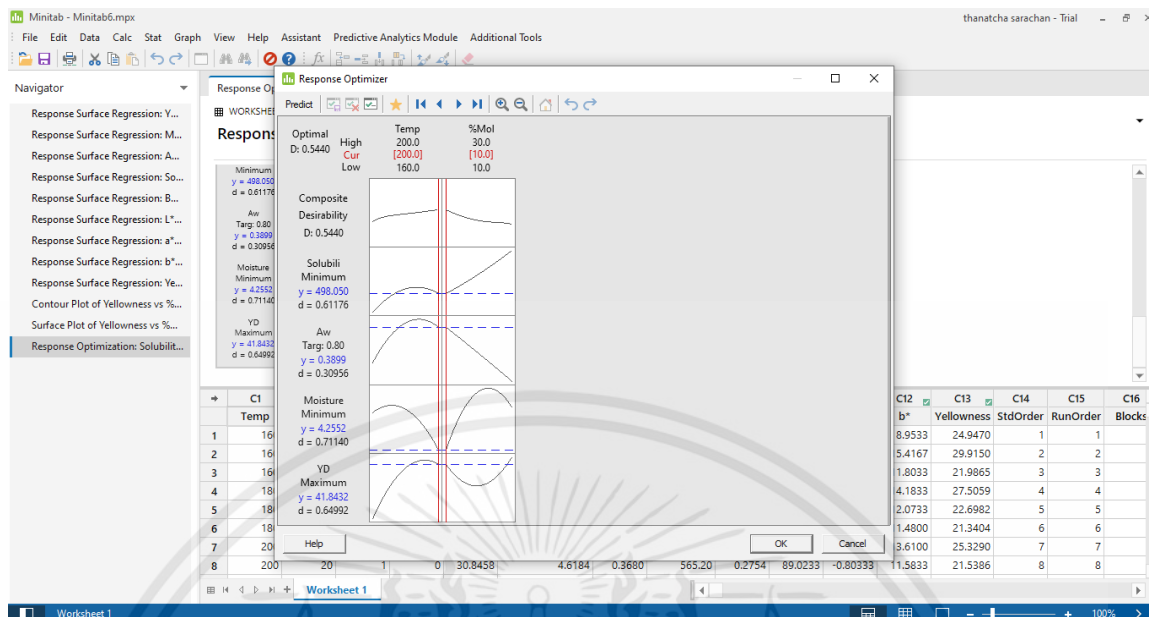
Optimize up to 25 responses:

Response	Goal	Target
a*	Do not optimize	
L*	Do not optimize	
BD	Do not optimize	
Solubility (s)	Minimize	
Aw	Target	0.8
Moisture content	Minimize	
YD	Maximize	

Buttons: Setup..., Options..., Graphs..., Results..., Storage..., View Model..., Help, OK, Cancel

รูปที่ ก.18 หน้าต่างคำสั่ง Response Optimizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.19 หน้าต่าง Optimizer Plot

โปรแกรมจะแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟ ซึ่งค่าที่เหมาะสมกับสถานะที่ตั้งไว้จะอยู่ใน Cur ที่อยู่ระหว่าง High กับ Low