สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของขิงสกัดผง

SPRAY DRYING CONDITIONS ON PROPERTIES OF GINGER EXTRACT POWDER

ณัฐดนัย ปทุมานนท์

NUTDHANAI PATHUMANONT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-270

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของขิงสกัดผง

SPRAY DRYING CONDITIONS ON PROPERTIES OF GINGER EXTRACT POWDER

T148017

ณัฐดนัย ปทุมานนท์

NUTDHANAI PATHUMANONT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 148017
วัน.เดือน.ปี 9 ต.ค. 2560

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPRAY DRYING CONDITIONS ON PROPERTIES OF GINGER EXTRACT POWDER

NUTDHANAI PATHUMANONT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-AI-M-053-270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของขิงสกัดผง

SPRAY DRYING CONDITIONS ON PROPERTIES OF GINGER EXTRACT POWDER

ชื่อนักศึกษา นายณัฐดนัย ปทุมานนท์

รหัสประจำตัว 59608029

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง	
รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ	
ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ	
รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์	

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 28 มิถุนายน 2560 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)
คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร
วันที่.........เดือน...........พ.ศ...............

03 ก.ค. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของขิงสกัดผง
นักศึกษา	นายณัฐดนัย ปทุมานนท์
รหัสประจำตัว	59608029
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง

บทคัดย่อ

ขิงเป็นที่รู้จักในเรื่องของประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกายของคน สารสกัดจากขิงที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลอุดมไปด้วยสารพฤกษเคมี โดยมีสารประกอบหลักที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพในขิง คือ gingerols ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่ทนต่อความร้อน และถูกทำให้เปลี่ยนแปลงเป็น sholgaols, zingerone และสารประกอบอื่นๆ โดยอุณหภูมิสูง และสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่ไม่เหมาะสม ในการผลิตขิงสกัดผงโดยใช้กระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งใช้มอลโตเด็กตรินที่มีค่าสมมูลเด็กซ์โทส เท่ากับ 20 ความเข้มข้นร้อยละ 20 เป็นวัสดุในการห่อหุ้มสารสกัดจากขิง ในงานนี้ศึกษาสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า (130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส) และอัตราเร็วในการป้อนสาร (15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที) ตัวอย่างขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งจากการศึกษาทั้ง 2 ปัจจัยข้างต้นจะนำมาวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้ สมบัติทางเคมีกายภาพ (ความชื้น วอเตอร์ แอกทิวิตี้ ความสามารถในการดูดความชื้น ความหนาแน่นเชิงปริมาตร คุณลักษณะของสี ในส่วนของค่า L^*, a^* และ b^* ขนาด และรูปร่างของอนุภาค) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด (วิธี DPPH และวิธี ABTS)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้น แต่ลดลงที่อัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับสูง อุณหภูมิอากาศขาเข้าและอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับต่างๆ มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่างๆ พบว่าปริมาณความชื้น และวอเตอร์ แอกทิวิตี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้น แต่อัตราเร็วในการป้อนสารช้าลง ส่วนความสามารถในการดูดความชื้น พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ ที่อัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับสูง แต่พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง ร่วมกับอัตราเร็วในการป้อนสารสูง พบว่าขิงสกัดผงที่ได้มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และในส่วนของค่าสี พบว่าขิงสกัดผงที่ได้มีคุณลักษณะด้านสีที่ค่อนข้างขาว โดยพบว่าค่าความสว่างนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารสูงขึ้น แต่พบว่าที่สภาวะการทำแห้งนี้มีผลทำให้ค่าความเป็นสีเหลือง (a^*/b^* และ hue angle) และค่าความเข้มของขิงสกัดผงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในส่วนของขนาดอนุภาคและรูปร่างนั้นพบว่าขิงสกัดผงมีขนาดเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีรูปร่างกลม แต่ผิวของอนุภาคขิงสกัดผงไม่เรียบ ในส่วนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากขิงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หลังจากผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง แต่เมื่อใช้อัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับสูง พบว่าสามารถลดการถูกทำลายของสารสำคัญต่างๆ ได้ โดยพบว่ามีปริมาณสารประกอบที่สำคัญ ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในปริมาณที่สูงในขิงสกัดผง จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ทำการศึกษานี้ ทำให้ประเมินได้ว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่กำหนดที่ระดับต่างๆ สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยอันไหนมีผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ขิงสกัดผงเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบที่มีประโยชน์ของอาหารเพื่อสุขภาพ ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม และโภชนเภสัชภัณฑ์อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Spray drying conditions on properties of ginger extract powder
Student	Mr.Nutdhanai Pathumanont
Student ID.	59608029
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Pramoun Srikalong

ABSTRACT

Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) is well-known about beneficial effects for human health. The ethanolic extract of ginger is a rich source of phytochemical compounds. Major bioactive compound in ginger is gingerols which are a thermally labile compound and are degraded to shogaols, zingerone and other compounds by high temperature and adverse environment. Encapsulation by spray drying is a technique for produced ginger extract powder by using 20% maltodextrin with a dextrose equivalent of 20 as an encapsulating agent. The ginger extracts were spray dried at different inlet air temperatures (130, 150, 170 °C) and feed rates (15, 20, 25 mL/min). In this study, production yield, physicochemical properties (moisture content, water activity, hygroscopicity, volumetric density color characteristics in term of L^*, a^* and b^* and particle size and morphology) and total phenolic and flavonoid content and total antioxidant activity (DPPH and ABTS assay) of all sample powders obtained from both factors were analyzed.

The production yield increased significantly ($p \leq 0.05$) when inlet air temperatures increased, however, decreased by high feed rates. Inlet air temperatures and feed rates at different levels affected on physicochemical properties. The moisture content and water activity decreased significantly ($p \leq 0.05$) by high inlet air temperature and low feed rate. The hygroscopicity was increased significantly ($p \leq 0.05$) when decreased the inlet air temperature but increased feed rate. However, the inlet air temperature and feed rate at high level led to increase significantly ($p \leq 0.05$) volumetric density of powder product. In case of color characteristic, the obtained powder had whitish color, the lightness (L^*) was increased significantly ($p \leq 0.05$) with high inlet air temperature and feed rate. But this conditions led to decreased significantly ($p \leq 0.05$) yellowness (a^*/b^* and hue angle) and chroma of ginger extract powder. And the particle size and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

morphology was significantly decreased ($p \leq 0.05$) and spherical shape with non-smooth surface, respectively. The total phenolic and flavonoid content and total antioxidant activity of the ginger extract was reduced significantly ($p \leq 0.05$) after the process of spray drying at high inlet air temperature, whereas, combined with high feed rate could reduce the destruction of bioactive compounds by exhibited high total phenolic and flavonoid content and total antioxidant activity in ginger extract powder. From the study of spray drying conditions could assess the inlet air temperature and feed rate at different levels which spray drying conditions would exhibit ginger extract powder with a quality to be a functional component of functional foods, dietary supplements and nutraceutical products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รวมทั้งคอยให้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะ กำลังใจ คอยเป็นแรงผลักดัน และช่วยแก้ปัญหาตลอดการเรียนปริญญาโท และการทำงานวิจัย รวมทั้งให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดี ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้าจนสามารถทำงานวิจัย และเล่มวิทยานิพนธ์ได้จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ และ ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ ที่ได้ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมา และการสอบวิทยานิพนธ์ และ รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ พร้อมทั้งให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง อีกทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ ตลอดจนให้ข้อคิด มุมมอง และแนวทางอันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าในการศึกษา ค้นคว้า ทำงานวิจัย และเล่มวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ทุกหน่วยงานของคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดการเรียน และทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ ด่านวิเศษกาญจน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ต่างๆ ตลอดการเรียนและทำงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณรณกร หงสพันธ์ คุณธนกร เหล่าโรจน์ภิญโญ คุณน้ำเพ็ชร อักษรทิพย์ และคุณวโรตม์ วิมลาภิรัต ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา และมารดาของข้าพเจ้า ครอบครัวปทุมานนท์ เพื่อนและรุ่นพี่ปริญญาโท-เอก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา คำแนะนำ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ณัฐดนัย ปทุมานนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ขิง	4
2.2 กระบวนการห่อหุ้มสาร	30
2.3 กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	44
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	50
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง	53
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	53
3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	54
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง	55
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	64
4.1 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผง	64
4.2 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณความชื้น และวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผง	66
4.3 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อการดูดความชื้นของขิงสกัดผง	71
4.4 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความหนาแน่นเชิงปริมาตร ของขิงสกัดผง	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อค่าสีของขิงสกัดผง 74

4.6 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมดและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 77

4.7 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS 83

4.8 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อขนาดอนุภาค และรูปร่าง ของขิงสกัดผง 91

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 96

5.1 สรุปผลการทดลอง 96

5.2 ข้อเสนอแนะ 97

บรรณานุกรม 98

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ 111

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี 116

ภาคผนวก ค การคำนวณผลการทดลอง 137

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ผลทางสถิติ 144

ภาคผนวก จ เครื่องมือ อุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ที่ได้ 149

ภาคผนวก ฉ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขิงผงสำเร็จรูป 154

ประวัติผู้เขียน 162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางโภชนาการของขิงแห้ง (ต่อ 100 กรัม)	5
2.2 องค์ประกอบที่สามารถระบุได้ในน้ำมันขิง	9
2.3 โครงสร้างของ sesquiterpenes ทั่วไป	10
2.4 องค์ประกอบที่เป็นกรดไขมันของไขมันของขิง	11
2.5 คุณลักษณะเฉพาะของสารห่อหุ้มแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้มสาร	35
2.6 ลักษณะของไมโครแคปซูลที่ได้จากกระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีต่างๆ	41
2.7 ปัจจัยของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยแต่ละส่วน	48
2.8 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับกระบวนการทำแห้งแบบดั้งเดิม	49
3.1 สภาวะของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง	57
4.1 คุณลักษณะด้านสีของขิงสกัดผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน	75
4.2 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร (D[4,3]) ของขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่แตกต่างกัน และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับเดียวกัน (25 มิลลิลิตรต่อนาที)	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะรูปร่างของเหง้าขิง	5
2.2 ภาพตัดขวางส่วนของเนื้อเยื่อของขิงสดแสดงตำแหน่งของน้ำมันภายในขิง	12
2.3 ภาพตัดขวางส่วนของเนื้อเยื่อของขิงแห้งแสดงตำแหน่งของน้ำมันภายในขิง	12
2.4 ภาพตัดขวางส่วนของเนื้อเยื่อของขิงแห้งแสดงตำแหน่งของน้ำมันภายในขิงส่วนต่างๆ	13
2.5 โครงสร้างทางเคมีของ (a) กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก และ (b) กรดไฮดรอกซีซินนามิก	15
2.6 โครงสร้างโมเลกุลของฟลาโวนอยด์	15
2.7 โครงสร้างโมเลกุลของฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ	16
2.8 แผนผังกลยุทธ์การสกัดและกลไกการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก	17
2.9 แหล่งที่มาของอนุมูลอิสระภายในเซลล์สิ่งมีชีวิต	19
2.10 ระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน	20
2.11 ระยะลุกลามของปฏิกิริยาออกซิเดชัน	21
2.12 ระยะสิ้นสุดของปฏิกิริยาออกซิเดชัน	21
2.13 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์แซนทีน ออกซิเดส	22
2.14 การทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในปฏิกิริยาออกซิเดชัน	22
2.15 โครงสร้างของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (A) propyl gallate, (B) 2-butylated hydroxyanisole, (C) 3-butylated hydroxyanisole, (D) butylated hydroxytoluene, (E) tert-butyl hydroquinone	23
2.16 การทำปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระกับอนุมูลอิสระ	25
2.17 การทำปฏิกิริยาของอนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระกับอนุมูลอิสระ	25
2.18 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักในขิง	28
2.19 โครงสร้างและความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบหลักที่ให้กลิ่นฉุนของขิง	29
2.20 ลักษณะของไมโครแคปซูลที่ได้จากกระบวนการห่อหุ้มสาร	32
2.21 ลักษณะของแคปซูลที่ปกป้องสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพของอาหารต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น กระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษาและปกป้องการทำลายระหว่างอยู่ในระบบทางเดินอาหาร	33
2.22 แนวโน้มของเทคโนโลยีกระบวนการห่อหุ้มสารในงานวิจัย	36
2.23 กระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย	37
2.24 กระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีการพ่นฝอยแบบเย็น	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2.25 กระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีการ Fluid bed coating หรือ Air suspension coating 39

2.26 ลักษณะของเครื่อง screw extruder สำหรับวิธี melt extrusion 40

2.27 ลักษณะของการห่อหุ้มสารด้วยวิธี coacervation 41

2.28 ลักษณะการไหลแบบทิศทางเดียวกัน (A) และทิศทางตรงข้ามกัน (B) 46

2.29 ลักษณะการไหลแบบผสมกัน 46

2.30 แผนภาพแสดงองค์ประกอบและขั้นตอนของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย 48

3.1 ลำดับขั้นตอนในการทดลอง 56

4.1 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ของขิงสกัดผง 64

4.2 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณความชื้นของขิงสกัดผง 67

4.3 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผง 69

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผง ที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน 70

4.5 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อการดูดความชื้นของขิงสกัดผง 71

4.6 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผง 73

4.7 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมดของขิงสกัดผง 78

4.8 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ทั้งหมดของขิงสกัดผง 80

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณ สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้จากสภาวะการทำ แห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน 82

4.10 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความสามารถในการต้านอนุมูล อิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงด้วยวิธี DPPH 84

4.11 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความสามารถในการต้านอนุมูล อิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงด้วยวิธี ABTS 86

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด ของขิงสกัดผงระหว่างวิธี DPPH และ ABTS ที่ได้จากสภาวะ การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) กับ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงระหว่าง วิธีDPPH (DPPH) และ ABTS (ABTS) ที่ได้จากสภาวะ การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน 89

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) กับ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงระหว่าง วิธี DPPH (DPPH) และ ABTS (ABTS) ที่ได้จากสภาวะ การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน 91

4.15 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า ที่แตกต่างกัน และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับเดียวกัน (25 มิลลิลิตรต่อนาที) 92

4.16 โครงสร้างจุลภาคของขิงสกัดผงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยายแตกต่างกัน เมื่อ A : 130 ºC, 500x, B : 130 ºC, 2000x, C : 150 ºC, 500x, D : 150 ºC, 2000x, E : 170 ºC, 500x, F : 170 ºC, 2000x 94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ภาคผนวก)

ตารางที่ หน้า

ข.1 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน 122

ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร 122

ข.3 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานรูตินสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน 125

ข.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานรูติน (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร 126

ข.5 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานบีเอชเอสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน 129

ข.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานบีเอชเอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH 130

ข.7 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน 134

ข.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{\cdot+}$ 134

ง.1 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 145

ง.2 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 145

ง.3 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณวอเตอร์ แอกทิวิตี้ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 145

ง.4 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถในการดูดความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 146

ง.5 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 146

ง.6 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสว่างของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 146

ง.7 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า a^*/b^* ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 146

ง.8 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า hue angle ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ภาคผนวก) (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง.9 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า chroma ของขิงสกัดผงที่ได้จาก การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 147

ง.10 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากขิง และขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 147

ง.11 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดจากขิง และขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 147

ง.12 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดจากขิง และขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 148

ง.13 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ของสารสกัดจากขิง และขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 148

ง.14 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของขนาดอนุภาคของขิงสกัดผงที่ได้จาก การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ 148

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ภาคผนวก)

ภาพที่ หน้า

ก.1 แผ่น light trap (ซ้าย) และแผ่นสีขาวมาตรฐาน (ขวา) 113

ก.2 คิวเวตควอตซ์สำหรับใส่ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง หรือผงสำหรับวัดค่าสี 114

ก.3 ลักษณะการใส่ตัวอย่างผงลงในคิวเวต และการครอบด้วยแผ่นครอบสีดำเพื่อวัดค่าสี 114

ก.4 เครื่องวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัว (laser particle size distribution analyzer) รุ่น Mastersizer 3000 115

ก.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) รุ่น JSM-6400 115

ข.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงด้วยตู้อบลมร้อน 118

ข.2 การเก็บขิงสกัดผงลงในโถดูดความชื้น 118

ข.3 เครื่องวัดวอเตอร์ แอคทิวิตี้ 4TE AQUALAB 119

ข.4 ขิงสกัดผงในตลับวัดค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ 119

ข.5 การใส่ขิงสกัดผงลงในเครื่องวอเตอร์ แอคทิวิตี้เพื่อวัดค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ 119

ข.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดความชื้นของขิงสกัดผง 120

ข.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร 123

ข.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานรูติน (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร 127

ข.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานบีเอชเอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH 130

ข.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{\cdot+}$ 135

จ.1 เครื่องเขย่าด้วยแรงกล (mechanical shaker) 150

จ.2 เครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน (centrifuge) 150

จ.3 เครื่องระเหยสุญญากาศ (rotary evaporator) 151

จ.4 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) 151

จ.5 เครื่องวัดสี (color meter) 152

จ.6 เครื่อง UV-Visible spectrophotometer 152

จ.7 สารสกัดจากขิงที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล เข้มข้นร้อยละ 80 153

จ.8 ตัวอย่างขิงสกัดผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย 153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาให้ความสำคัญกับสุขภาพร่างกายมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า สารต้านอนุมูลอิสระ หรือสารพฤกษเคมีที่มาจากธรรมชาติ เช่น ผัก ผลไม้ และเครื่องเทศ โดยมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหาร และยา เนื่องจากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายในอาหาร รวมทั้งมีผลในด้านของการส่งเสริมสุขภาพ (Yeh และคณะ, 2014) และพบว่ามีการให้ความสนใจเพิ่มมากขึ้นเกี่ยวกับประโยชน์ของสารพฤกษเคมีของพืช ในด้านของสุขภาพ และการป้องกันโรคต่างๆ (Gruenwald และคณะ, 2010; Kim และคณะ, 2012) จึงมีการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหาร และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพิ่มมากขึ้น (Chari และคณะ, 2013) ซึ่งเครื่องเทศที่ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คือ ขิง เป็นเครื่องเทศพื้นบ้านที่พบได้ในเขตร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Evans, 1989) สมุนไพร และเครื่องเทศ เช่น ขิง ส่วนใหญ่นั้นจะประกอบไปด้วยสารพฤกษเคมี (Das และคณะ, 2012; Bartley และ Jacobs, 2000) ในส่วนของเหง้าขิงประกอบด้วยสารประกอบที่ให้กลิ่นรส และกลิ่นฉุนที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะตัวของขิง ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำมันหอมระเหย และน้ำมันชันที่สามารถสกัดได้จากเหง้าขิง (Singh และคณะ, 2008) และสารสกัดจากขิงนั้นประกอบด้วย สารประกอบฟีนอลิก และอนุพันธ์ ได้แก่ 6-gingerol, 8-gingerol, 10-gingerl และ 6-shogaol (Shukla และ Singh, 2007) ซึ่งมีความสามารถในการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ในด้านของการรักษาอาการผิดปกติต่างๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางการแพทย์ เช่น ความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ความสามารถในการยับยั้งการอักเสบ การต่อต้านมะเร็ง (Nile และ Park, 2015) นอกจากนี้ขิงยังสามารถช่วยในเรื่องของการลดระดับคลอเรสเตอรอล โดยการลดการดูดซึมของคลอเรสเตอรอลในเลือด และตับได้ (Bhandari และคณะ, 1998) รวมทั้งงานวิจัยในด้านเกี่ยวกับเภสัชวิทยายังพบว่าขิงสามารถต่อต้านการเกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองได้อีกด้วย (Shukla และ Singh, 2007; Cheng และคณะ, 2011) แต่พบว่าสารประกอบกลุ่ม gingerols ในสารสกัดของขิงมีคุณลักษณะที่ไม่ทนความร้อน จึงสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบกลุ่ม shogaols ได้ที่อุณหภูมิสูง และที่การเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้ด้วยเช่นกัน (Wohlmuth และคณะ, 2005; Kubra และ Rao, 2012) การสกัดโดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายซึ่งไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงทำให้รักษาสารประกอบเหล่านี้ให้คงอยู่ และป้องกันการถูกทำลายของสารประกอบจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการห่อหุ้มสารเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารภายใน เช่น การเกิดออกซิเดชัน (oxidation) (Nedovic และคณะ , 2011) โดยใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying process)

กระบวนการห่อหุ้มสาร (encapsulation) เป็นกระบวนการที่ใช้สารห่อหุ้ม (wall material) ในการห่อหุ้มสารอีกตัวหนึ่ง (active agent) (Nedovic และคณะ, 2011; Zuidam และ Nedovic, 2010) โดยพบว่ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นเป็นหนึ่งในเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้มสารที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน สามารถทำการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งยังเป็นเทคนิคการทำแห้งที่ใช้ต้นทุนต่ำ (Zuidam และ Nedovic, 2010) รวมทั้งสารที่นำมาใช้เป็นสารห่อหุ้มด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นยังนิยมใช้มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) ซึ่งสามารถปกป้องสารที่อยู่ภายใน (Desai และPark, 2005; Coronel-Aguilera และ Martin-Gonzalez, 2015) และยังมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้อย่างสมบูรณ์ เกิดเป็นสารละลายที่ไม่มีสี ความเหนียวต่ำ และมีปริมาณน้ำตาลต่ำ จากคุณสมบัติที่กล่าวมานี้จึงทำให้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้มที่น่าสนใจในการทำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Coronel-Aguilera และ Martin-Gonzalez, 2015)

ดังนั้นงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมกับการนำไปใช้เพื่อกระบวนการห่อหุ้มสาร โดยการสกัดสารสกัดจากขิง และนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจุลภาคของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ เพื่อเป็นแนวทางในการนำสารสกัดจากพืชสมุนไพรพื้นบ้าน หรือสารสกัดจากขิงไปใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผงเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน การขนส่ง การเก็บรักษา รวมทั้งสามารถนำไปผสมลงในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เพื่อเสริมคุณค่าทางอาหารให้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้อย่างมีคุณภาพและสอดคล้องกับความต้องการในยุคปัจจุบันของผู้บริโภค

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผง

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขิงสกัดผง

1.2.3 เพื่อศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อรูปร่าง และขนาดของขิงสกัดผง

1.2.4 เพื่อให้ได้สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสมจากการศึกษานี้ที่ใช้ในการผลิตขิงสกัดผง เพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบที่มีคุณค่ากับอาหารเพื่อสุขภาพ อาหารเสริม และโภชนเภสัชภัณฑ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผง

1.3.2 ศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขิงสกัดผง

1.3.3 ศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อรูปร่างและขนาดของขิงสกัดผง

1.3.4 เปรียบเทียบสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตขิงสกัดผง เพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบที่มีคุณค่ากับอาหารเพื่อสุขภาพ อาหารเสริม และโภชนเภสัชภัณฑ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขิง

สมุนไพร และเครื่องเทศ มีการตรวจสอบพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพในการต่อต้านโรคบางอย่าง และมีความปลอดภัย (Larger, 1998) และมีการนำมาใช้งานเพื่อเพิ่มกลิ่นรส สี และกลิ่นของอาหาร โดยมีการทดลองทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ และคุณสมบัติในการต่อต้านอนุมูลอิสระของเครื่องเทศ สมุนไพร และองค์ประกอบภายในต่างๆ จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำไปใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษา (Neilsen และ Rios, 2000) และยังพบว่ามีคุณค่าทางด้านยาที่หลากหลาย (Wood และคณะ, 2001) โดย Larger (1998) พบว่ากว่าร้อยละ 80 ของประชากรทั่วโลกมีการเตรียมพืช หรือมีการใช้ทางพฤกษศาสตร์เป็นยาเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการด้านสุขภาพร่างกาย

Zingiber officinale Roscoe เป็นชื่อทางวิทยาศาสตร์ของขิงซึ่งจัดเป็นพืชในตระกูล Zingineraceae และเป็นพืชพื้นเมืองของทวีปเอเชีย เช่น อินเดีย หรือจีนทางตอนใต้ เนื่องจากเหง้าขิงนั้นมีกลิ่นหอม และใช้เป็นพืชทางยากันอย่างกว้างขวาง (Elzebroek และ Wind, 2008) มีการนำขิงมาใช้เป็นเครื่องเทศมากกว่า 2000 ปีมาแล้ว (Bartley และ Jacobs, 2000) และพบว่าถูกใช้อย่างแพร่หลายทั้งในรูปแบบขิงสด และขิงแห้ง โดยพบว่าผลผลิตของขิงในปี ค.ศ. 2009 ถึงปี ค.ศ. 2010 ประเทศอินเดียมีการผลิตขิงถึง 708,250 ตัน (Chari, 2013) ขิงในทางการค้าจะมีรูปร่างลักษณะเป็นเหง้าหนา แสดงดังภาพที่ 2.1 และมักปลูกตามธรรมชาติที่ภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (warm tropical climates) บริเวณทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Evans, 1989) โดยที่ขิงสดประกอบด้วยน้ำร้อยละ 85 ถึง 95 จึงทำให้ถูกทำให้เกิดการเน่าเสียได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสีย และการเสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี (Mishra และคณะ, 2004) และองค์ประกอบทางโภชนาการต่างๆ ของขิงแห้ง แสดงดังตารางที่ 2.1

ขิง เป็นสมุนไพรทางยาที่มีความปลอดภัย การที่สีเหลือง ความฉุน รวมทั้งกลิ่นหอมของเหง้าขิงมีความแตกต่างกัน แสดงถึงแหล่งของน้ำมันชัน และน้ำมันหอมระเหยที่มีอยู่ในขิง น้ำมันชันประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกซึ่งพบว่ามีปริมาณน้ำมันชันอยู่ร้อยละ 5 ถึง 8 ของน้ำหนักขิงแห้ง (Zarate และ Yeoman, 1996) และน้ำมันหอมระเหยที่ผลิตจากเหง้าขิง มีสีเหลืองอ่อนถึงเหลืองอำพัน และมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 1.5 ถึง 3 ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของการเก็บเกี่ยว (Rani, 1999) โดยที่ทั้งน้ำมันชัน และน้ำมันหอมระเหยมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในทั้งอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์ทางยาหลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.1 ลักษณะรูปร่างของเหง้าขิง

ที่มา: Butt และ Sultan (2011)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางโภชนาการของขิงแห้ง (ต่อ 100 กรัม)

องค์ประกอบ	**ปริมาณ (กรัม)**
น้ำ	7.0
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	380
โปรตีน	8.5
ไขมัน	6.4
คาร์โบไฮเดรต	72.4
เถ้า	5.7
แคลเซียม	0.1
ฟอสฟอรัส	150
โซเดียม	30
โพแทสเซียม	1400
เหล็ก	11.3
ไทอามีน	0.05
ไรโบฟลาวิน	0.13
ไนอะซิน	1.90

ที่มา : ดัดแปลงจาก Peter (2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 คุณลักษณะของขิง

ขิงมีลักษณะลำต้นอยู่เหนือดิน เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าลำต้นเทียม ส่วนใบ และดอกของขิงมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากในทุกสายพันธุ์ จึงทำให้ยากต่อการที่จะแยกชนิด พันธุ์ หรือบอกความแตกต่างของขิงแต่ละสายพันธุ์ได้ยาก โดยส่วนใหญ่แล้วจะดูความแตกต่างของขิงแต่ละสายพันธุ์จากลักษณะสีของเหง้าขิง (จันทร์เพ็ญ, 2549)

ลักษณะสีของเหง้าขิง แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 ปรากฏเป็นสีม่วงปนแดง หรือสีม่วงปนน้ำเงินบริเวณใต้เซลล์ผิว

กลุ่มที่ 2 ไม่มีสี หรืออาจมีสีเหลืองอ่อนบริเวณใต้เซลล์ผิว

2.1.2 ชนิดของขิง

ขิงที่ปลูกกันในปัจจุบันมีความแตกต่างกันที่ลักษณะสีของเหง้าขิงที่ได้กล่าวมาข้างต้น และมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่ปลูก (อรรถพล, 2544) ประกอบด้วย

1. ขิงจาไมก้า มีลักษณะของเหง้าขิงเป็นรูปร่างแบบคล้ายนิ้วมือ บริเวณผิวของเหง้าขิงมีสีเหลืองอ่อน เหลืองอมน้ำตาล ไปจนถึงเหลืองส้ม ให้กลิ่นรสที่ดี และมีกลิ่นหอม พบว่าเป็นขิงพันธุ์ที่ดี และมีคุณภาพดีที่สุดในบรรดาขิงสายพันธุ์ต่างๆ ทั่วโลก

2. ขิงอินเดีย พบว่ามีปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่มีกลิ่นมะนาวในปริมาณที่สูงกว่าขิงจาไมก้า ส่งผลให้ขิงอินเดียนั้นมีกลิ่นที่หอมกว่า ให้กลิ่นได้ดีกว่า แต่ว่ามีความเผ็ดเท่ากับขิงจาไมก้า และพบว่าเป็นขิงที่มีปริมาณแป้งสูง ประกอบด้วย 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ขิงโคชิน มีลักษณะเปลือกเป็นสีน้ำตาลอ่อน และขิงคาลิกัต เมื่อลอกเปลือกออกแล้วพบว่ามีสีส้ม ถึงน้ำตาลแดง โดยพบว่าขิงโคชิน เป็นขิงที่ดีที่สุดในประเทศอินเดีย

3. ขิงแอฟริกา มีลักษณะเป็นเส้นใยมาก เนื้อด้านในมีสีเหลืองอ่อน เปลือกเป็นสีน้ำตาลเทา ซึ่งมีสีเข้มกว่าขิงโคชินของอินเดีย และพบว่ามีขนาดเล็กกว่าขิงจาไมก้ามีกลิ่นหอมแรง มีคุณสมบัติทางยาเหมือนกับขิงจาไมก้า แต่รสชาติด้อยกว่าขิงจาไมก้า

4. ขิงจีน มีลักษณะเป็นเหง้าสีขาว ไม่มีเส้นใย อาจกล่าวได้ว่ามีลักษณะคล้ายขิงอ่อน กลิ่นหอมน้อยกว่าขิงจาไมก้า แต่ไม่เหมาะที่จะนำมาทำยารักษาโรค

5. ขิงญี่ปุ่น มีลักษณะที่เปราะ แตกหักง่าย มีขนาดเล็ก มีเส้นใยน้อย ผิวด้านนอกมีสีขาว ส่วนเนื้อด้านในมีสีเหลืองอ่อน ถึงสีน้ำตาลอ่อน ให้กลิ่นหอมฉุน และมีรสเผ็ด

6. ขิงไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

- ขิงใหญ่ มีชื่อเรียกอื่นๆ อีก เช่น ขิงหยวก หรือขิงขาว มีลักษณะเป็นเหง้าใหญ่ ข้อห่าง เนื้อละเอียด รสชาติไม่เผ็ด เนื้อด้านในไม่มีสี หรือมีสีเหลืองระเรื่อ เมื่อเจริญเติบโตจะให้ลักษณะที่แตกต่างจากขิงเล็ก คือ ปลายใบจะป้านมากกว่า แต่ลำต้นจะสูงกว่าขิงเล็ก ส่วนขิงอ่อนจะมีอายุประมาณ 4 ถึง 6 เดือน ส่วนขิงแก่ จะมีอายุประมาณ 8 ถึง 12 เดือน ขึ้นอยู่กับการเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขิงเล็ก มีชื่อเรียกอื่นๆ อีก เช่น ขิงเผ็ด หรือขิงดำ มีลักษณะเป็นเหง้าสั้น ข้อถี่ เนื้อมีเสี้ยนมาก รสชาติเผ็ด เนื้อด้านในมีสีน้ำเงินปนเขียว หรือสีแดงระเรื่อ เมื่อเจริญเติบโตจะให้ลักษณะที่แตกต่างจากขิงใหญ่ คือ ปลายใบจะแหลมมากกว่า และเหง้าขิงจะแตกกอได้ดีกว่าขิงใหญ่ นิยมนำขิงเล็กมาทำยาสมุนไพรรักษาโรค

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในขิง

ขิง มีองค์ประกอบที่สำคัญ เช่น น้ำมันหอมระเหย ร้อยละ 1 ถึง 2 น้ำมันชัน ร้อยละ 5 ถึง 8 และองค์ประกอบอื่นๆ นอกจากนั้น เช่น สารประกอบกลุ่มโพลีแซคคาไรด์ ประเภทกัม และแป้ง (นิจศิริ, 2542)

น้ำมันชัน และน้ำมันหอมระเหยที่สามารถสกัดได้จากเหง้าขิง เป็นของผสมระหว่างเรซินกับน้ำมันหอมระเหย และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงมากเพราะมีคุณสมบัติในการให้กลิ่นรสที่มีคุณลักษณะเฉพาะของขิง และความฉุน โดยทั้งน้ำมันชัน และน้ำมันหอมระเหยนั้นถูกใช้อย่างหลากหลายทั้งในอาหาร น้ำอัดลม เครื่องดื่มและใช้เป็นสารประกอบทางยา (Balladin และคณะ, 1999; Evans, 1989) และเป็นที่รู้จักกันดีว่าน้ำมันหอมระเหยโดยส่วนใหญ่นั้น สามารถนำมาใช้ทดแทนสมุนไพร และเครื่องเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก ทั้งในแง่ของกลิ่นหอม รวมทั้งน้ำมันชันก็ยังสามารถผลิตกลิ่นรสธรรมชาติที่กลมกล่อมให้กับอาหารบางชนิด แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมของน้ำมันหอมระเหย และน้ำมันชันนั้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการยอมรับสินค้าโดยผู้บริโภค (Redgrove, 1993)

โดยพบว่าในประเทศอเมริกา และประเทศเยอรมนีมีการใช้น้ำมันขิง และน้ำมันชันจากขิงมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าเพื่อส่งออกไปยังต่างประเทศอีกด้วย (Chari และคณะ, 2013)

2.1.3.1 น้ำมันหอมระเหย

น้ำมันหอมระเหย (essential oil) เป็นสารที่ให้กลิ่นหอม และกลิ่นรสที่หอม โดยหลักแล้วประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน monoterpenoid และ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน sesquiterpene เช่น oxygenated monoterpene และสารประกอบ sesquiterpene โดยที่น้ำมันชันจะประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกที่ไม่ระเหย หรือที่เรารู้จักกัน คือ gingerols shogaols และ zingerone (Huang และคณะ, 2012) และยังพบองค์ประกอบอื่นๆ อีก เช่น sesquiterpene alcohols, monoterpenoids, เอสเทอร์ของกรดซิตริก, เอสเทอร์ของกรดคาพริลลิก และสารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถสกัดได้จากขิงแห้งโดยมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ที่ร้อยละ 15 ถึง 30 ซึ่งปริมาณน้ำมันหอมระเหยนั้นขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของขิง อายุการเก็บเกี่ยว และสภาวะในการสกัด และมีคุณค่าทางการค้าเนื่องจากมีคุณสมบัติเกี่ยวกับการบำบัดโรคต่างๆ (Kamble และคณะ, 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Purseglove และคณะ (1981) มีรายงานว่าสามารถสกัดแยกสารประกอบ (-)-α-zingiberene ซึ่งพบว่าเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน sesquiterpene ที่พบมากในน้ำมันหอมระเหยของขิงโดยเขายังพบว่าน้ำมันขิงที่เตรียมโดยใช้วิธีการกลั่นขิงแห้งด้วยไอน้ำพบว่าได้ของเหลวที่มีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อน ถึงสีเหลืองอำพัน และกลิ่นของน้ำมันยังมีลักษณะสด ให้ความรู้สึกอุ่น และยังพบว่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำมันขิงนั้นมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับภูมิศาสตร์ของแหล่งของขิงแห้ง เช่น น้ำมันขิงแถบแอฟริกัน น้ำมันขิงจะมีแนวโน้มสีเข้มกว่า และมีความหวานมากกว่า ในขณะที่น้ำมันขิงจาไมก้าพบว่ามีสีอ่อนกว่า และให้กลิ่นที่มีความสดชื่น โดยพบว่าน้ำมันขิงจาไมก้าที่กลั่นมาใหม่ พบว่ามีลักษณะเหมือนยาง ซึ่งพบได้ยากในน้ำมันขิงแอฟริกัน

องค์ประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันหอมระเหยของขิงไนจีเรีย Onyenekwe และHashimoto (1999) ได้ทำการตรวจสอบด้วยวิธี GC (gas chromatography) และ GC-MS (gas chromatography-mass spectrometry) พบว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้ร้อยละ 2.4 นั้นพบว่าประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน sesquiterpene ร้อยละ 6.6, สารประกอบกลุ่มคาร์บอนิลร้อยละ 6.6, แอลกอฮอล์ร้อยละ 2.4, สารประกอบไฮโดรคาร์บอน monoterpene ร้อยละ 2.4 และเอสเทอร์ร้อยละ 1.6 โดยพบว่าสารประกอบหลัก คือ zingiberene ร้อยละ 29.5 และ sesquiphellandrene ร้อยละ 18.4

Miyazawa และ Kameoka (1988) ได้ทำการระบุองค์ประกอบจำนวน 72 องค์ประกอบจากน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากขิงที่ทำแห้งโดยใช้อากาศ พบว่ามีปริมาณของ α-zingiberene ร้อยละ 21.8 เป็นองค์ประกอบหลัก แสดงดังตารางที่ 2.2 และยังพบอีกว่าองค์ประกอบหลักของกลิ่นรสหอมระเหยของเหง้าขิง พบว่าประกอบด้วย α-zingiberene ร้อยละ 21.8, geranial ร้อยละ 9.9, geraniol ร้อยละ 9.4, β-bisabolene ร้อยละ 7.9, neral ร้อยละ 7.1, 1,8-cineole ร้อยละ 6.2, α-terpineol ร้อยละ 5.6, borneolร้อยละ 5.4, β-phellandrene ร้อยละ 3.1, linalool ร้อยละ 1.7, methylnonyl ketone ร้อยละ 1.6, camphene ร้อยละ 1.4, menthyl acetate ร้อยละ 1 และ limonene ร้อยละ 1 โครงสร้างของสารบางชนิดที่ได้กล่าวมาแสดงดังตารางที่ 2.3

2.1.3.2 น้ำมันชัน

น้ำมันชัน (oleoresin) สามารถเตรียมได้จากขิงแห้งผง ที่นำมาสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvents) ที่มีความเหมาะสม เช่น แอลกอฮอล์ (alcohol) เอทิล อะซีเตท (ethyl acetate) และอะซีโตน (acetone) และทำการกำจัด หรือระเหยเพื่อเอาตัวทำละลายออกจะได้น้ำมันชันของขิง มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดสีน้ำตาล และมีกลิ่นรสเฉพาะ รวมถึงความฉุนของขิง โดยพบว่ามีปริมาณผลผลิตของน้ำมันชันของขิงอยู่ที่ร้อยละ 3.5 ถึง 10 ของขิงแห้งผงทางการค้า และมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ร้อยละ 15 ถึง 30 อีกด้วย น้ำมันชันที่ได้นั้นยังพบว่าประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย สารให้กลิ่นฉุนร่วมกับกรดไขมันอิสระต่างๆ (แสดงดังตารางที่ 2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรซิน และคาร์โบไฮเดรตอีกด้วย โดยปริมาณผลผลิตนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ปริมาณน้ำมันชัน ปริมาณสารประกอบ gingerol แหล่งที่พบของขิง สายพันธุ์ของขิง สารละลายที่ใช้ในการสกัด และวิธีการที่ใช้ในการสกัด (Chari และคณะ, 2013; Parthasarathy และคณะ, 2008)

ซึ่งสามารถนำน้ำมันชันขิง (ginger oleoresin) และน้ำมันขิง (ginger oil) มาเติมลงในอาหารต่างๆ เพื่อให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าจากขิงได้อีกด้วย เนื่องจากมีสารประกอบกลุ่ม oxygenated monoterpene และ sesquiterpene เพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกต่างประเทศ และพบว่ามีการใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องดื่ม (soft drink) และน้ำหอม (perfumery) (Chari และคณะ, 2013) เนื่องจากลักษณะของน้ำมันชันที่ได้นั้น มีลักษณะข้นหนืด และเหนียว ซึ่งเป็นอุปสรรคในการขนส่ง และการใช้งาน น้ำมันชันยังไม่ละลายในอาหาร โดยกระจายตัวได้ไม่ดีในโครงสร้างของอาหาร (Kanakdande และคณะ, 2007) ซึ่งมีอิทธิพลที่สำคัญต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (organoleptic properties) อีกด้วย (Parthasarathy และคณะ, 2008)

สำหรับน้ำมันชันขิงประกอบไปด้วยสารประกอบที่สำคัญต่างๆ สามารถทำการศึกษาโดยการสกัดแยกได้โดยวิธีโครมาโทกราฟี เช่น HPLC (high performance liquid chromatography) และ GC (gas chromatography) โดยจะเหมาะสมกับการศึกษาสารประกอบที่ไม่ระเหยง่าย เช่น gingerol และ shogaol ถ้าหากใช้วิธี HPLC ในการสกัดแยก (Yonei และ Ohinata, 1995)

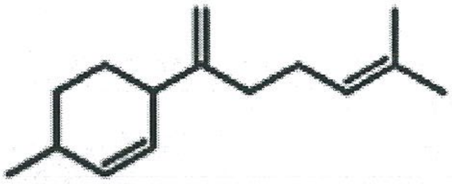
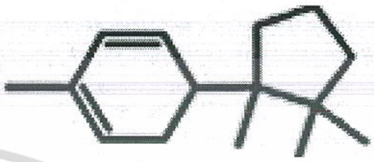
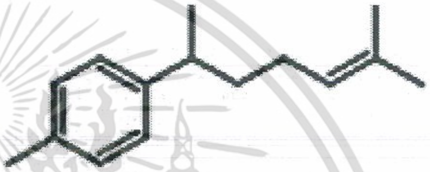
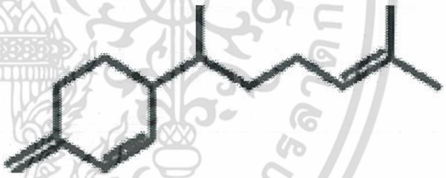
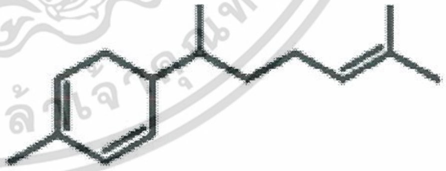
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบที่สามารถระบุได้ในน้ำมันขิง

Sesquiterpene hydrocarbon	**Oxygenated monoterpenes**	**Sesquiterpene alcohols**	**Monoterpene hydrocarbons**
(-)-α-Zingiberene	*d*-Borneol	*cis*-β-Eudesmol	*d*-Camphene
β-Zingeberene	Bornyl acetate	*trans*-β-Eudemol	Δ-3-Carene
(+)-*ar*-Curcumene	1:8 Cineol	Nerolidol	*p*-Cymene
(-)-β-Bisabolene	Citrals a & b	*cis*-β-Sesquiphellandrol	Cumene
β-Elemene	Citronellyl acetate	*trans*-β-Sesquiphellandrol	*d*-limonene
β-Farnesene	Geraniol	*cis*-Sabinene hydrate	Myrcene
γ-Selinene	Linalool	Zingiberenol	*d*-β-Phellandrene
(-)-β-Sesquiphellandrene	α-Terpineol		α-Pinene
Sesquithujene			β-Pinene
			Sabinene

ที่มา : ดัดแปลงจาก Parthasarathy และคณะ (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 โครงสร้างของ sesquiterpenes ทั่วไป

องค์ประกอบกลุ่ม sesquiterpenes	**โครงสร้างโมเลกุล**
B-Bisabolene	
Cuparene	
Curcumene	
Farnesene	
Sesquiphellandrene	
Zingiberene	

ที่มา : ดัดแปลงจาก He และคณะ (2012)

2.1.3.3 แหล่งของน้ำมันภายในขิงสด และขิงแห้ง

Zarate และ Yeoman (1994) พบว่ามีการสะสมของ gingerol ภายในเซลล์ที่มีลักษณะเป็นสีเหลือง แสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของเซลล์ชนิดหนึ่งที่เป็นมีลักษณะเป็นช่องเก็บของสารประกอบฟีนอลิก หรือน้ำมันชัน และน้ำมันหอมระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบที่เป็นกรดไขมันของไขมันของขิง

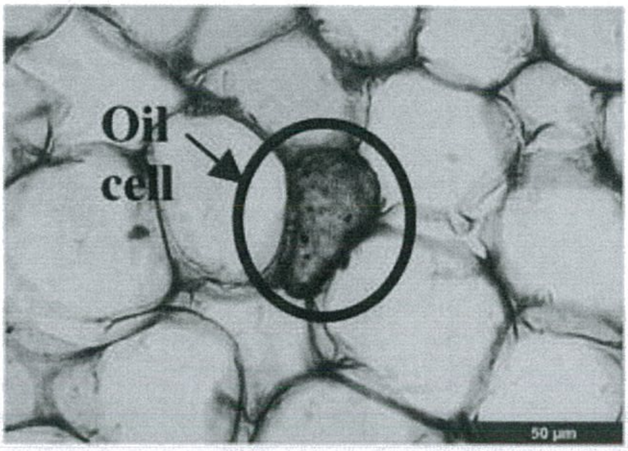
กรดไขมัน	**จำนวนคาร์บอน**	**ร้อยละกรดไขมันทั้งหมด**
Caprylic acid	8	1.4
Capric acid	10	4.1
Lauric acid	12	7.6
Myristic acid	14	3.5
Pentadecanoic acid	15	0.4
Palmitic acid	16	23.2
Heptadecanoic acid	17	1.3
Stearic acid	18	3.3
Oleic acid	18:1	22.9
Linoleic acid	18:2	23.2
Linolenic acid	18:3	6.6
Arachidonic acid	20	1.1
Saturated acids		45.9
Unsaturated acids		52.7
Saponification index		204

ที่มา : ดัดแปลงจาก Parthasarathy และคณะ (2008)

Azian และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาเซลล์ของเหง้าขิงสด โดยการตัดเนื้อเยื่อของขิง แล้วย้อมสีด้วยสีแดงของ saffranin แล้วทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) จากภาพที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของน้ำมันพบว่าเนื้อเยื่อของขิงสดขนาด 220 x 200 ไมโครเมตร พบว่าปรากฏเซลล์น้ำมันเพียง 1 เซลล์ของขนาด 25 x 50 ไมโครเมตร แสดงให้เห็นถึงผนังเซลล์ของพาเรงคิมาที่แตกต่างกัน และพบว่าไม่มีรอยแตกของเซลล์ของเนื้อเยื่อที่ทำการศึกษา

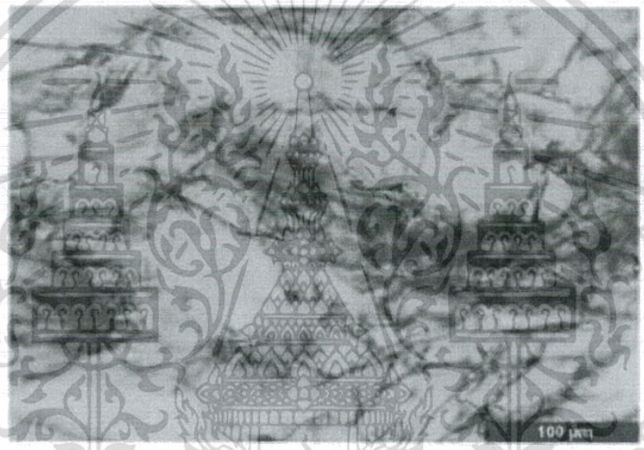
จากการศึกษาเซลล์ของเหง้าขิงที่ผ่านการทำแห้ง พบว่าปรากฏรอยแตกที่ผนังเซลล์ของพาเรงคิมาเนื่องจากการเอาน้ำออกจากเซลล์ ทำให้เกิดการปลดปล่อยตัวของเม็ดแป้ง น้ำมันหอมระเหย และน้ำมันชันภายในเซลล์ จากภาพที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าเซลล์ของน้ำมันและเซลล์ของพาเรงคิมาถูกทำลาย ดังนั้นจึงทำให้มีการปลดปล่อยน้ำมัน และเม็ดแป้งออกมารอบๆ ภายในเนื้อเยื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ภาพตัดขวางส่วนของเนื้อเยื่อของขิงสดแสดงตำแหน่งของน้ำมันภายในขิง

ที่มา : Azian และคณะ (2004)

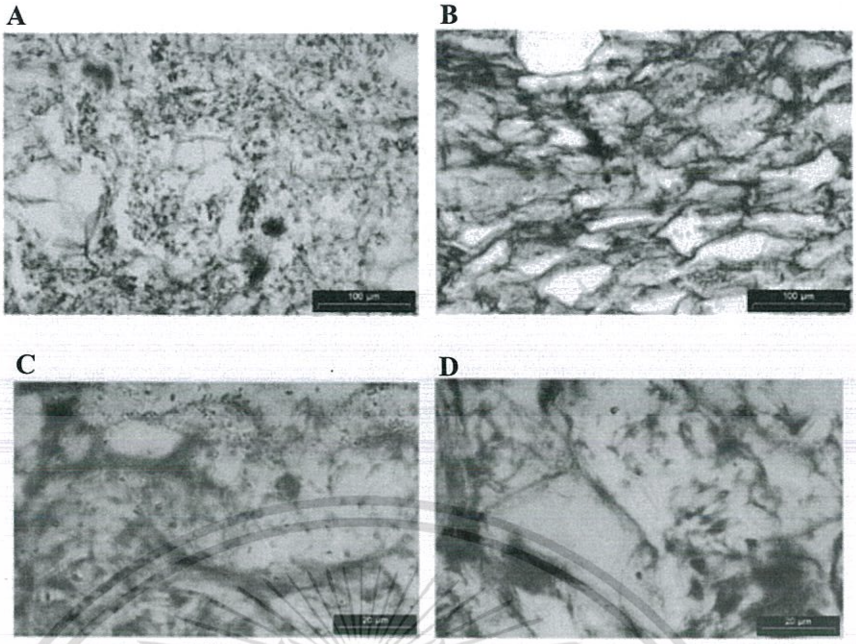


ภาพที่ 2.3 ภาพตัดขวางส่วนของเนื้อเยื่อของขิงแห้งแสดงตำแหน่งของน้ำมันภายในขิง

ที่มา : Azian และคณะ (2004)

จากนั้นได้ทำการศึกษาผลของการสกัดขิงสด และขิงแห้งด้วยตัวทำละลายเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันชันของเนื้อเยื่อของขิงแห้งที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอลเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากภาพที่ 2.4A และ 2.4B ได้แสดงให้เห็นว่าผนังเซลล์พาเรงคิมาถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ คาดว่าเกิดจากการทำลายเซลล์พาเรงคิมาตั้งแต่ขั้นตอนการทำแห้ง ซึ่งจะเห็นได้จากภาพที่ 2.4C และ 2.4D ซึ่งได้แสดงให้เห็นถึงน้ำมันชันของขิงสดที่สกัดด้วยสารละลายเอทานอล เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ผนังเซลล์ของพาเรงคิมาพบว่าไม่ถูกทำลาย แต่พบว่าเกิดการบีบอัดของผนังเซลล์ อาจเป็นไปได้ว่าผลของการใช้สารละลายเอทานอลซึ่งมีผลกับน้ำมันเท่านั้น ทำให้น้ำมันถูกดึงออกไป แต่ไม่มีผลกับผนังเซลล์พาเรงคิมา จะบ่งชี้ได้ว่าการมีอยู่ของทั้งน้ำมันชัน และน้ำมันขิงภายในเนื้อเยื่อ แสดงให้เห็นว่าการสกัดเป็นเวลา 3 ชั่วโมงไม่มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 ภาพตัดขวางส่วนของเนื้อเยื่อของขิงแห้งแสดงตำแหน่งของน้ำมันภายในขิงส่วนต่างๆ
ที่มา : Azian และคณะ (2004)

2.1.4 สารประกอบฟีนอลิก

ผลไม้ ผัก รวมทั้งเมล็ดธัญพืชโดยส่วนใหญ่ ประกอบด้วย สารพฤกษเคมี (phytochemical compound) โดยอาหารส่วนใหญ่คาดว่ามีสารพฤกษเคมีประกอบอยู่ราว 5,000 ถึง 25,000 ชนิด และได้มีการศึกษาสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ออกไปอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกมีผลกระทบทางด้านคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ การป้องกันอาการอักเสบ โรคมะเร็ง และโรคเบาหวาน (Acosta-Estrada และคณะ, 2014) และสารพฤกษเคมีเหล่านี้ยังแสดงบทบาทหน้าที่ที่สำคัญกับผนังเซลล์ของพืช โดยการทำหน้าที่เป็นผนังกั้น ทั้งทางด้านกายภาพเพื่อป้องกันการบุกรุก หรือถูกทำลายเนื่องจากเชื้อโรค แมลง และสัตว์ และทางด้านเคมี เพื่อช่วยในการต่อต้านจุลินทรีย์ การต่อต้านเชื้อรา และการทำหน้าที่ในการต่อต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย (Liu, 2007; Sancho และคณะ, 2001) โดยสารประกอบฟีนอล หรือฟีนอลิกนั้นเป็นสารประกอบในกลุ่ม secondary metabolite ที่สร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืช โครงสร้างโดยทั่วไปมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) มากกว่าหรือเท่ากับ 1 หมู่เกาะกับวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) โดยสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 1 หมู่ จะนิยมเรียกว่า สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) จึงทำให้รูปแบบของสารประกอบฟีนอลิกในพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันออกไป ตั้งแต่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างแบบโพลีเมอร์ เช่น แทนนิน (tannin) (วิวัฒน์, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.1 กรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์

กรดฟีนอลิก (phenolic acids) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบได้ทั่วไป โดยพบปรากฏร่วมกับไกลโคไซด์ในรูปแบบที่ละลายได้ และรูปแบบที่ไม่ละลาย (Nardini และ Gheselli, 2004)

ฟีนอลิกในรูปแบบที่ไม่ละลายจะสร้างพันธะโควาเลนต์เชื่อมกับองค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์ของพืช เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส (อราบินอกซีแลน) ลิกนิน เพกติน และโปรตีน (Wong, 2006) โดยในธรรมชาติ กรดฟีนอลิกส่วนใหญ่จะปรากฏในรูปแบบที่ไม่ละลาย หรือรูปแบบผูกพัน (bound forms) แต่ทว่าฟลาโวนอยด์จะปรากฏร่วมกับไกลโคไซด์กับน้ำตาลแบบเดี่ยว (single) หรือแบบกลุ่ม (multiple) โดยเชื่อมกันผ่านหมู่ไฮดรอกซิล (O-glycosides) หรือเชื่อมกันผ่านพันธะคาร์บอน-คาร์บอน (C-glycosides)

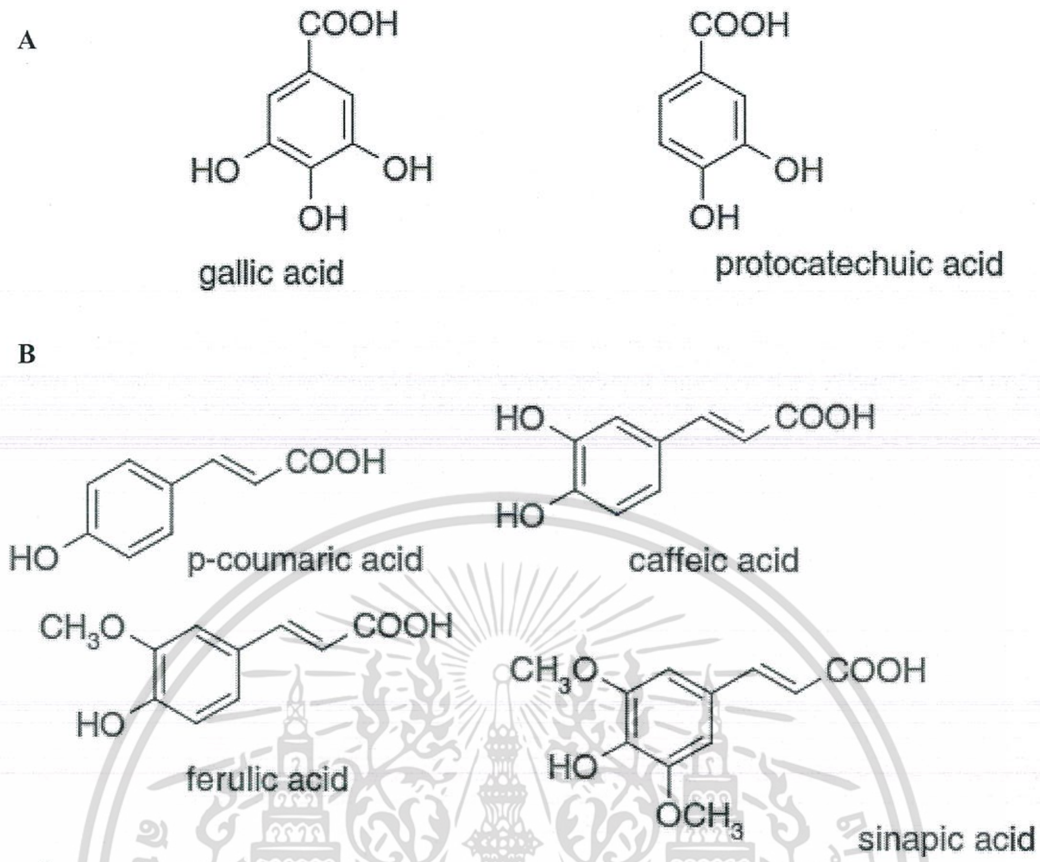
กรดฟีนอลิกเป็น 1 ใน 3 ของสารประกอบฟีนอลในอาหาร ซึ่งปรากฏอยู่ในพืชทั้งในรูปแบบอิสระ (free forms) และรูปแบบผูกพัน (bound forms) (Robbins, 2003) กรดฟีนอลิกประกอบด้วยหมู่ย่อย 2 หมู่ คือ กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (hydroxybenzoic acid) และ กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid)

กรดไฮดรอกซีเบนโซอิกจะประกอบด้วย gallic, *p*-hydroxybenzoic, protocatechuic, vanillic และ syringic acids อีกด้านหนึ่ง คือ กรดไฮดรอกซีซินนามิก มีโครงสร้างเป็นสารประกอบอะโรมาติก ที่ประกอบด้วยสายของคาร์บอน 3 สาย, caffeic, ferulic, *p*-coumaric และ sinapic acids ซึ่งจัดเป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ที่พบ (Bravo, 1998) แสดงดังภาพที่ 2.5

กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก และกรดไฮดรอกซีซินนามิก จะสร้างพันธะเอสเทอร์เชื่อมกับลิกนินผ่านทางหมู่ไฮดรอกซิลในวงแหวนอะโรมาติก และจะสร้างพันธะเอสเทอร์เชื่อมกับโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนผ่านทางหมู่คาร์บอกซิลิก (Bhanja และคณะ, 2009; Liu, 2007; Liyana-Pathirana และ Shahidi, 2006)

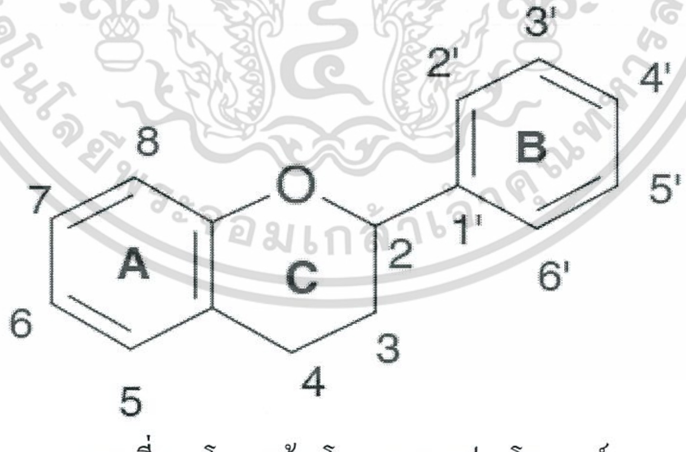
ฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มใหญ่ที่พบในพืช โดยพบมากกว่า 8000 ชนิดเกิดขึ้นในสารประกอบฟีนอลิก (Harborne และคณะ, 1999) โดยพบว่าฟลาโวนอยด์เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ซึ่งประกอบด้วยจำนวนคาร์บอนอะตอม 15 อะตอม โครงสร้างของฟลาโวนอยด์นั้นจะประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก 2 วง ประกอบด้วยวงแหวน A และวงแหวน B ที่เชื่อมกันด้วยสะพานคาร์บอน 3 อะตอม พบมากในรูปแบบของวงแหวน Heterocyclic C แสดงดังภาพที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของ (A) กรดไฮดรอกซีเบนโซอิก และ (B) กรดไฮดรอกซีซินนามิก

ที่มา : Bravo (1998)

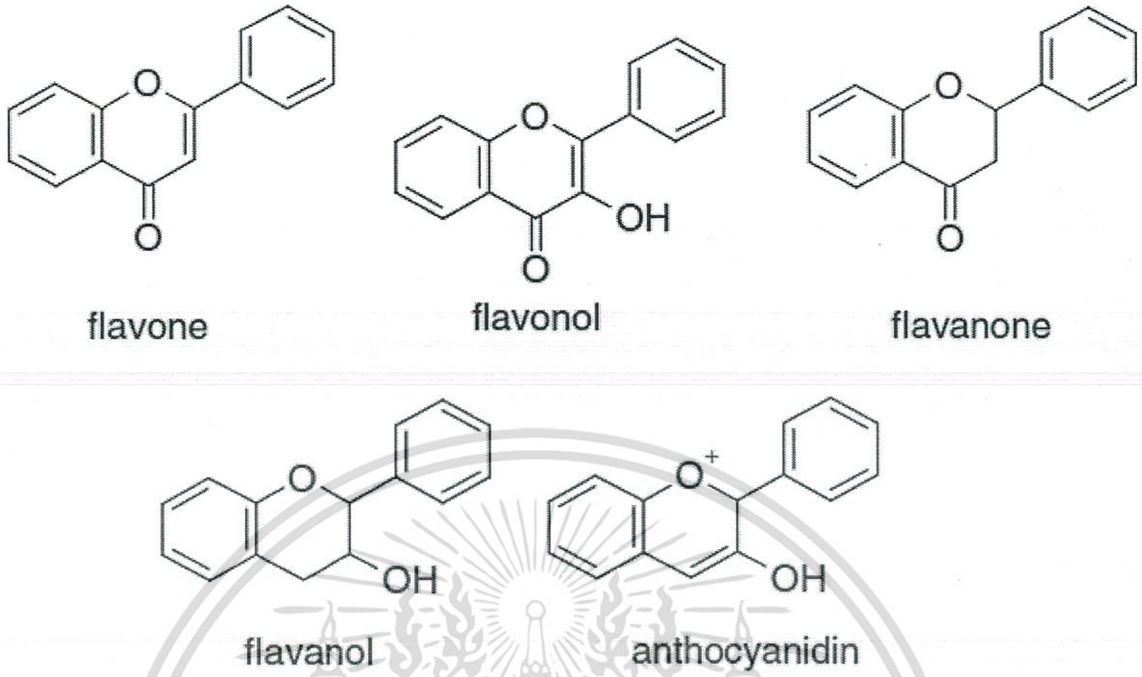


ภาพที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของฟลาโวนอยด์

ที่มา : Balasundram และคณะ (2006)

ความหลากหลายของรูปแบบขององค์ประกอบของวงแหวน C ทำให้สามารถจำแนกฟลาโวนอยด์ได้ออกเป็นชนิดหลักๆ ได้แก่ flavonols, flavones, flavanones, flavanols (catechins), isoflavones, flavanonols และ anthocyanidins (Hollman และ Katan, 1999) แสดงดังภาพที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ

ที่มา : Balasundram และคณะ (2006)

2.1.5 ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก

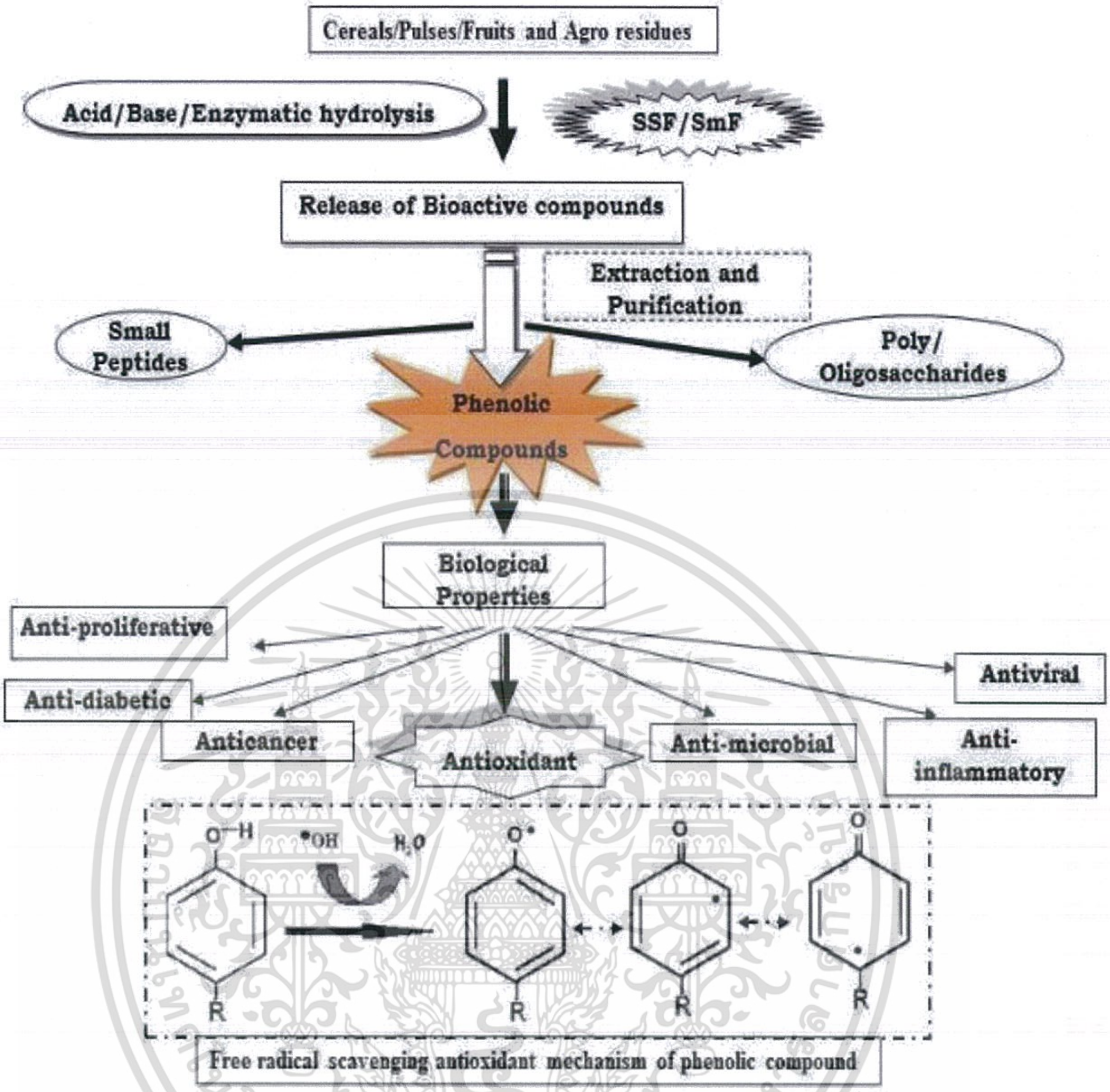
สารประกอบฟีนอลิกพบว่ามีประสิทธิภาพในการทดลองในหลอดทดลองทางด้านคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ Rice–Evan และคณะ (1996) พบว่ามีฤทธิ์มากกว่าวิตามินซี วิตามินอี และแคโรทีนอยด์ และมีโครงสร้างทางเคมีในอุดมคติของฟีนอลิก ทำให้เกิดการให้ไฮโดรเจน และอิเล็กตรอนได้โดยง่ายจากหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งในวงแหวนอะโรมาติก ทำให้มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ และมีประสิทธิภาพในการจับกับโลหะ (metal-chelating) แสดงดังภาพที่ 2.8

จากงานวิจัยของ Rice-Evans และคณะ (1997) รายงานว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบสามารถตรวจสอบได้จากคุณลักษณะ 5 ประการ ประกอบด้วย

1. ศักยภาพของการให้ไฮโดรเจน หรืออิเล็กตรอนที่มีศักยภาพในการลดลง
2. ผลของสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้รับอนุมูลอิสระ
3. ความมีเสถียรภาพของอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว และ ความสามารถในการเกิดการไม่ประจำที่ของอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว
4. ปฏิกิริยาสัมพันธ์กับสารต้านอนุมูลอิสระตัวอื่นๆ
5. ศักยภาพการเปลี่ยนตำแหน่ง หรือจับกับโลหะ (metal-chelating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาพที่ 2.8 แผนผังกลยุทธ์การสกัดและกลไกการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา: Dey และคณะ (2016)

สารประกอบฟีนอลิกนั้นสามารถให้ไฮโดรเจนจากหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งวงแหวนอะโรมาติกได้โดยง่าย เพื่อหยุดปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของอนุมูลอิสระของลิพิด หรือสารชีวโมเลกุลอื่นๆ วงแหวนอะโรมาติกของฟีนอลิกยังสามารถทำให้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวมีความเสถียรภายในวงแหวนอะโรมาติกเอง

กรดไฮดรอกซีซินนามิกมีความสามารถการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (Andreasen และคณะ, 2001) ซึ่งการที่กรดไฮดรอกซีซินนามิกมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่านั้น เนื่องมาจากโครงสร้างของกลุ่ม CH=CH-COOH ซึ่งเป็นตัวที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
148017

ความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมได้ดีกว่า และเป็นอนุมูลที่มีความเสถียรมากกว่าหมู่ –COOH ในกรดไฮดรอกซีเบนโซอิก (Rice-Evans และคณะ, 1996)

Bhanger และคณะ (2008) ได้ทำการสังเกตว่าสารประกอบเหล่านี้มีฤทธิ์ในความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) ดังนั้นสารประกอบฟีนอลิกสามารถเป็นทางเลือกในการใช้ในส่วนผสมเชิงหน้าที่เพื่อเพิ่มความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสำหรับอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูป และให้คุณค่าประโยชน์แก่ร่างกายที่เกี่ยวข้องกับสารพฤกษเคมีเหล่านี้ และมีสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังมีรายงานว่ามีศักยภาพในการช่วยต่อต้านการเจริญของจุลินทรีย์ ต้านการเจริญของเนื้องอก ต้านอาการอักเสบ (Bravo, 1998; Daglia, 2012) โดยนอกจากจะมีการใช้งานสารประกอบฟีนอลิกในอุตสาหกรรมอาหารแล้วนั้น ยังพบว่ามีการใช้งานในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางอีกด้วย (Sancho และคณะ, 2001)

2.1.6 อนุมูลอิสระ และสารต้านอนุมูลอิสระ

การเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อรักษากลิ่นรส และสี และเพื่อป้องกันการถูกทำลายของวิตามิน การใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการสังเคราะห์ ใช้กันอย่างแพร่หลายในการรักษาสภาพอาหาร ไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) (Branen และคณะ, 2002; Wanasundara และ Shahidi, 1998)

2.1.6.1 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (free radicals) คือ สารที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (unpaired electrons) ในอะตอม หรือโมเลกุล โดยจะอยู่บริเวณรอบนอกของอะตอม หรือโมเลกุล พบได้ทุกแห่งในสิ่งแวดล้อม สิ่งมีชีวิต รวมไปถึงเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการผลิตพลังงานภายในเซลล์ หรือกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) แสดงดังภาพที่ 2.9 ทำให้อนุมูลอิสระภายในร่างกาย (endogenous reactive species) เหล่านี้ เป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีแบบลูกโซ่ โดยจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่อยู่รอบข้าง ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายต่อองค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย และส่วนประกอบของเซลล์สิ่งมีชีวิต เช่น ดีเอ็นเอ (DNA) อาร์เอ็นเอ (RNA) โปรตีน (protein) ลิพิด (lipid) คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ไมโตคอนเดรีย (mitochondria) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissues) ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างของดีเอ็นเอ เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีน และไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับโปรตีน หรือเอนไซม์บางชนิด ส่งผลทำให้เกิดการทำงานที่ผิดปกติของโปรตีน หรือเอนไซม์ และเกิดการกลายพันธุ์ของดีเอ็นเอ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

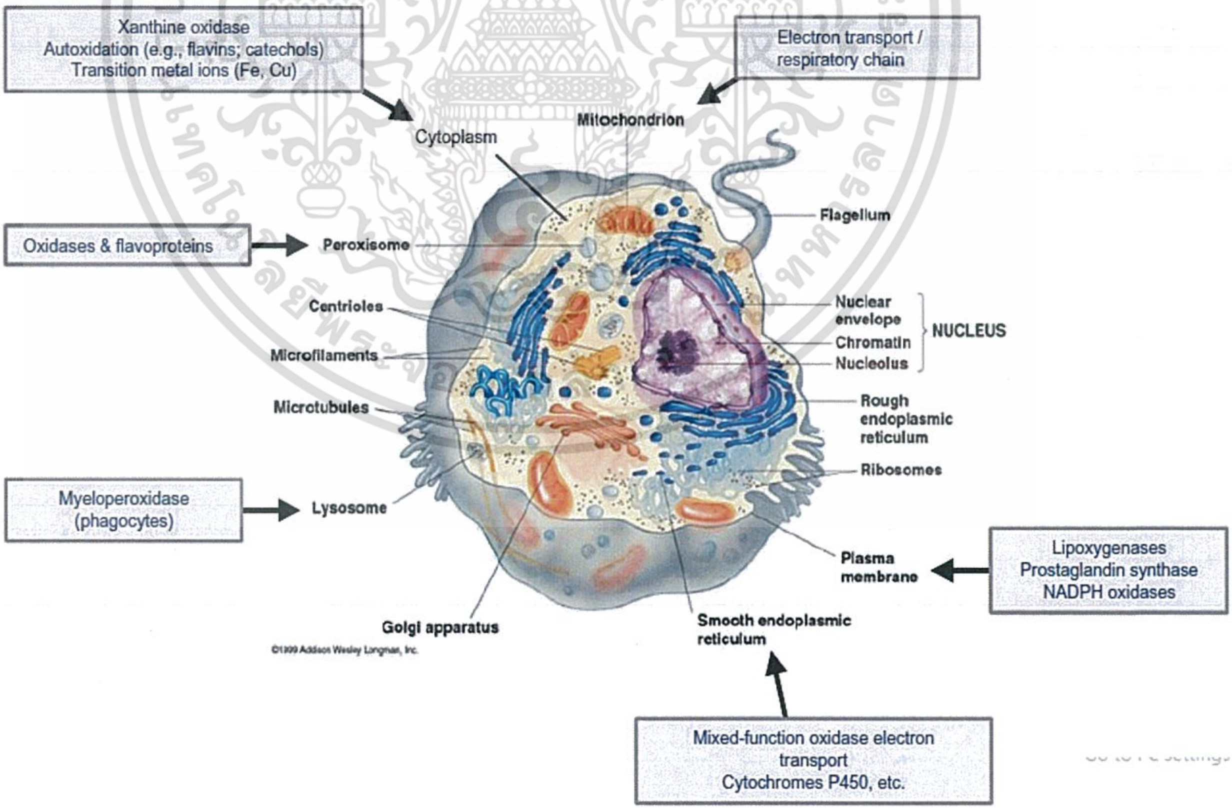
ชรา (aging) โรคความจำเสื่อม (alzheimer's disease) โรคมะเร็ง (cancer) และโรคอื่นๆ อีกหลายชนิด (เจนจิรา และ ประสงค์, 2554; บุหรัน, 2556)

อนุมูลอิสระ นอกจากเกิดจากการใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึมซึ่งเกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตแล้วนั้น ยังพบว่าสามารถเกิดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก (exogenous reactive species) ได้อีกด้วย เช่น

- มลพิษต่างๆ เช่น ควันบุหรี่ ฝุ่น แก๊สจากท่อไอเสียรถยนต์
- รังสี เช่น รังสียูวี (UV-ray) รังสีเอ็กซ์ (X-ray) รังสีแกมมา (γ-ray)
- การได้รับเชื้อโรคจากการติดเชื้อแบคทีเรีย หรือไวรัส
- กระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น อาหารไหม้เกรียมจากการปิ้งย่าง
- ยาบางชนิด เช่น โดโซรูบิซิน (doxorubicin)

ตัวอย่างของอนุมูลอิสระ

- อนุมูลอิสระออกซิเจน (reactive oxygen species, ROS) เช่น superoxide ($O_2^{\cdot-}$), hydroxyl (OH•), peroxyl ($ROO^{\cdot}$), alkoxyl ($RO^{\cdot}$) และ hydroperoxyl ($HOO^{\cdot}$)
- อนุมูลอิสระไนโตรเจน (reactive nitrogen species, RNS) เช่น nitric oxide ($NO^{\cdot}$) และ nitrogen dioxide ($NOO^{\cdot}$)



ภาพที่ 2.9 แหล่งที่มาของอนุมูลอิสระภายในเซลล์สิ่งมีชีวิต

ที่มา : Kehrer และ Klotz (2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุมูลอิสระเหล่านี้ สามารถเปลี่ยนไปเป็นสารที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ (non-radical reactive species) ได้ เช่น hydrogenperoxide (ROOH), hypochlorous acid (HOCL) และ peroxynitrite ($ONOO^-$)

โดยจากอนุมูลอิสระที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นนั้น ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างการเกิดอนุมูลอิสระ และการต้านอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดภาวะถูกออกซิไดซ์เกินสมดุล (oxidative stress) ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้เกิดการถูกทำลายของสารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์สิ่งมีชีวิต (Fang และคณะ, 2002; โกสินทร์ และคณะ, 2557)

2.1.6.2 กลไกการเกิดลิพิดออกซิเดชัน (mechanism of lipid oxidation)

อนุมูลอิสระของออกซิเจน จะเกิดขึ้นอยู่ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตตลอดเวลา เนื่องจากสิ่งมีชีวิตทุกชนิดนั้น มีการใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต โดยกลไกการเกิดผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีสาเหตุมาจาก ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (auto-oxidation) เกิดขึ้นจากแสง (photo-oxidation) และปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์ เช่น ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) (Wasowicz และคณะ, 2004; เจนจิรา และ ประสงค์, 2554)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง หรือการเกิดออโตออกซิเดชัน (auto-oxidation) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างไขมัน และออกซิเจน ทำให้เกิดการถูกทำลายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นำไปสู่ปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ ซึ่งประกอบด้วย 3 ระยะ ดังนี้

1. ระยะเริ่มต้น (initial step)

เกิดจากการที่ไฮโดรเจนอะตอมถูกดึงออก (abstraction) จากหมู่เมทิลลีน (methylene group) เนื่องด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (initiator) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระอัลคิล (alkyl radical, $R^{\bullet}$) หรืออนุมูลอิสระจากกรดไขมัน แสดงดังภาพที่ 2.10 หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นระยะที่กรดไขมันแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระโดยมีตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาซึ่งอาจเป็นแสง หรืออุณหภูมิ

$$RH \xrightarrow{\text{initiator}} R^{\bullet}$$

ภาพที่ 2.10 ระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา : Wasowicz และคณะ (2004)

2. ระยะลุกลาม (propagation step)

เกิดการสร้างอนุมูลอิสระเพอร์รอกซี (peroxy radicals, $ROO^{\bullet}$) ทำให้สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวได้ ทำให้เกิดสารประกอบเพอร์รอกไซด์ (peroxide,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROOH) และอนุมูลอิสระ ($R^{\cdot}$) เกิดขึ้น โดยถ้ามีแสง และความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ก็จะเกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น โดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ต่อเนื่องไปเรื่อยๆ แสดงดังภาพที่ 2.11

$$R^{\bullet} + O_2 \underset{}{\overset{\text{fast}}{\rightleftharpoons}} ROO^{\bullet}$$

$$ROO^{\bullet} + RH \xrightarrow{\text{slow}} ROOH + R^{\bullet}$$

ภาพที่ 2.11 ระยะลุกลามของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา : Wasowicz และคณะ (2004)

3. ระยะสิ้นสุด (termination step)

ปฏิกิริยาสิ้นสุดจะทำให้เกิดการสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระเกิดขึ้น (non-radical products) โดยเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างอนุมูลอิสระของกรดไขมัน ($R^{\cdot}$) และอนุมูลอิสระเพอร์รอกซี ($ROO^{\cdot}$) ทำให้เกิดสารที่มีโมเลกุลที่เสถียร แสดงดังภาพที่ 2.12

$$\left.\begin{array}{l} R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow RR \\ R^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR \\ ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2 \end{array}\right\} \text{NON-RADICAL PRODUCTS}$$

ภาพที่ 2.12 ระยะสิ้นสุดของปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา : Wasowicz และคณะ (2004)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์ มีเอนไซม์ที่สำคัญ 2 ชนิดที่ทำให้เกิดการออกซิเดชัน ได้แก่ เอนไซม์แซนทีน ออกซิเดส (xanthine oxidase, XO) และเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase, LOX) โดยเอนไซม์แซนทีน ออกซิเดส จะทำให้เกิดการสลายของสารประกอบในกลุ่มเบสพิวรีน (purine) ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide, $O_2^{\cdot}$) แสดงดังภาพที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

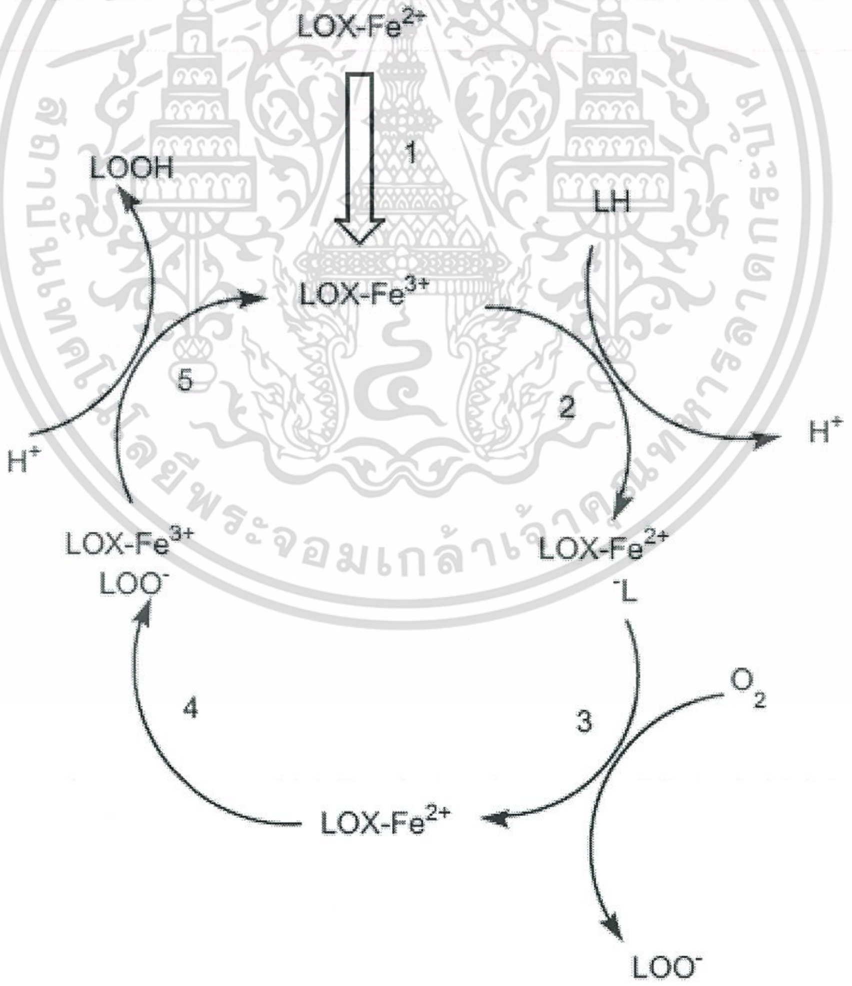
$$\text{hypoxanthine} + O_2 + H_2O \xrightarrow{XO} \text{xanthine} + H_2O_2 + O_2^{\bullet -}$$

$$\text{xanthine} + O_2 + H_2O \xrightarrow{XO} \text{uric acid} + H_2O_2 + O_2^{\bullet -}$$

ภาพที่ 2.13 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์แซนทีน ออกซิเดส

ที่มา : เจนจิรา และ ประสงค์ (2554)

สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส พบว่าเกิดได้กับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acids) เนื่องจากในเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส มีเหล็ก (Fe^{2+}) เป็นองค์ประกอบอยู่ จึงทำให้เกิดการออกซิเดชันได้ แสดงดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 การทำงานของเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสในปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา : เจนจิรา และ ประสงค์ (2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.3 สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่มีความสามารถในการต้าน หรือยับยั้ง หรือป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งในระบบการป้องกันการทำลายเซลล์ และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระในสิ่งมีชีวิต จะประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด และหลายรูปแบบ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์ และสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายได้ในน้ำ และในไขมัน (เจนจิรา และ ประสงค์, 2554; บุหรัน, 2556)

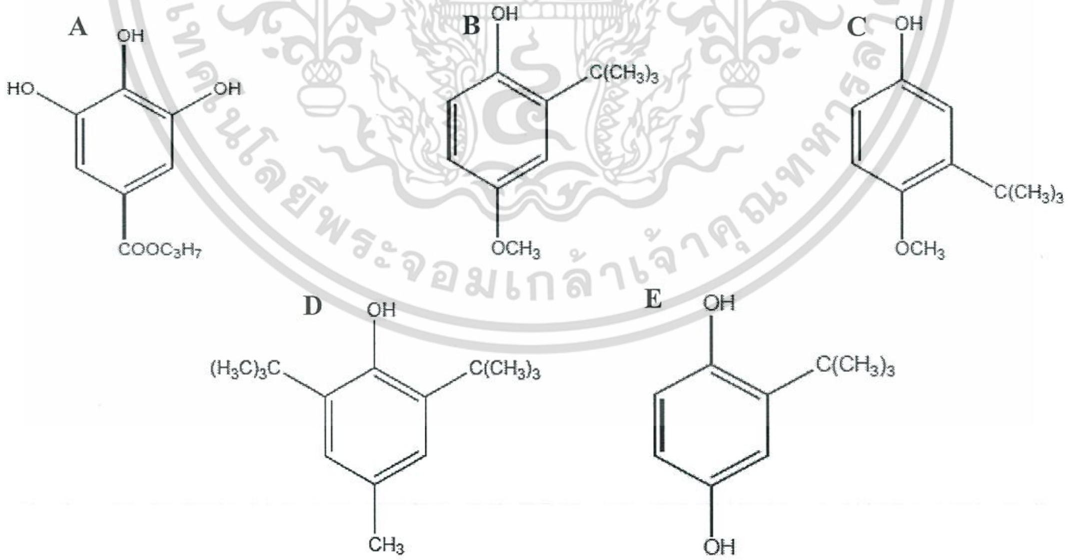
ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ สามารถจัดจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (synthetic antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระชนิดนี้ เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี ให้เป็นสารประกอบฟีนอลิกสังเคราะห์ 5 ชนิด แสดงดังภาพที่ 2.15 ได้แก่

- Propyl gallate (PG)
- 2-butylated hydroxyanisole
- 3-butylated hydroxyanisole
- Butylated hydroxytoluene (BHT)
- tert-butyl hydroquinone (TBHQ)



ภาพที่ 2.15 โครงสร้างของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (A) propyl gallate, (B) 2-butylated hydroxyanisole, (C) 3-butylated hydroxyanisole, (D) butylated hydroxytoluene, (E) tert-butyl hydroquinone

ที่มา : เจนจิรา และ ประสงค์ (2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยมนำสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารที่เป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่น สี และรสชาติ โดยสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์นั้น มีความคงตัวกว่าสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดในด้านของความปลอดภัยในการบริโภค โดยมีรายงานเปิดเผยว่า BHA และ BHT เป็นสารพิษ และเพิ่มต้นทุนในการผลิตให้สูงขึ้น และมีประสิทธิภาพต่ำกว่าสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เช่น วิตามินอี (tocopherols) โดยพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากการสังเคราะห์ เช่น BHA, BHT และ TBHQ พบว่ามีการใช้งานอย่างกว้างขวางในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร แต่ว่ามีข้อควรระมัดระวังเกี่ยวกับความปลอดภัย จึงทำให้มีความสนใจในการใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น (บุหรัน, 2556; Branen และคณะ, 2002; Wanasundara และ Shahidi, 1998)

2. สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ (natural antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ สามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิต เช่น พืช และสัตว์ โดยอยู่ในรูปของวิตามิน เอนไซม์ และสารประกอบอื่นๆ เช่น วิตามินซี วิตามินอี และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (non-nutrient) โดยเฉพาะสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก (phenolic compounds) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenol compounds) เช่น สารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid compounds)

เนื่องด้วยสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์มีข้อกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัย สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติจึงได้รับความสนใจ และมีการวิจัยค้นคว้าอย่างมาก โดยพบว่าสารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอล มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีทั้งในหลอดทดลอง (*in vitro*) และในสัตว์ทดลอง (*in vivo*)

2.1.5.4 กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้ สามารถจัดจำแนกตามกลไกการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

1. สารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ (primary antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า chain-breaking antioxidants มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระโดยการทำหน้าที่เป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical acceptors) โดยการให้อะตอมของไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้สามารถทำลายอนุมูลอิสระได้ แสดงดังภาพที่ 2.16 และจะเห็นได้ว่ามีอนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant radicals, $A^{\cdot}$) เกิดขึ้น แต่พบว่าอนุมูลที่เกิดขึ้นนั้นมีความเสถียรเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (delocalization of the unpaired electron) รอบหมู่ฟีนอล (phenol ring) และยากต่อการทำปฏิกิริยากับกรดมัน และอนุมูลที่เกิดขึ้นนี้สามารถยับยั้งได้โดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลตัวอื่นๆ ต่อไปเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ แสดงดังภาพที่ 2.17

เอกสารนี้มีไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ROO^{\bullet} + AH \rightarrow ROOH + A^{\bullet}$$

ภาพที่ 2.16 การทำปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระกับอนุมูลอิสระ
ที่มา : Wasowicz และคณะ (2004)

$$ROO^{\bullet} + A^{\bullet} \rightarrow ROOA$$

ภาพที่ 2.17 การทำปฏิกิริยาของอนุมูลของสารต้านอนุมูลอิสระกับอนุมูลอิสระ
ที่มา : Wasowicz และคณะ (2004)

สารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ เช่น tocopherols, BHA, BHT, PG และ TBHQ และมีรายงานว่า วิตามินอี (tocopherols) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้ในอาหาร โดยประสิทธิภาพของวิตามินอีแต่ละชนิด สามารถเรียงจากมากไปน้อยได้ ดังนี้ $\delta > \gamma > \beta > \alpha$ (Wasowicz และคณะ, 2004; Branen และคณะ, 2002; Wanasundara และ Shahidi, 1998)

2. สารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิ (secondary antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ มีกลไกการทำงานที่ตรงข้ามกับสารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ โดยจะเกิดกลไกการทำงานที่หลากหลาย โดยทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

- จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (metal chelation) เช่น กรดซิตริก (citric acid), กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) และ EDTA
- ยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซิเจน (singlet oxygen quenching) เช่น สารประกอบแคโรทีนอยด์ (carotenoids)

การใช้สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารเติมแต่งลงในอาหารเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ผู้บริโภคใช้สารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติเนื่องด้วยความปลอดภัย เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และอื่นๆ อีกทั้งสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพดี มักพบได้ในสมุนไพร เครื่องเทศ ผลไม้ ผัก และชา และสารสกัดจากพืชนั้น ยังพบว่ามีสารประกอบโพลีฟีนอลที่หลากหลายที่มีความสามารถในการทำให้ลิพิดมีความคงตัวอีกด้วย (เจนจิรา และ ประสงค์, 2554; บุหรัน, 2556; Wasowicz และคณะ, 2004)

2.1.7 สารทางพฤกษศาสตร์ที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

สารพฤกษเคมี (phytochemical compounds) คือ สารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) ที่เกิดขึ้นจากพืช เมื่อไม่นานมากนี้มีการเติบโตที่น่าสนใจในผลกระทบที่เป็นประโยชน์ของสารพฤกษเคมีจากพืช โดยผลกระทบของสารพฤกษเคมีจากพืชนั้นช่วยในการบำรุงรักษาสุขภาพ และการป้องกันโรคต่างๆ (Gruenwald และคณะ, 2010; Kim และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะ, 2012) เครื่องเทศก็เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารพฤกษเคมี (Das และคณะ, 2012) และขิงถูกใช้เป็นเครื่องเทศ และใช้เป็นสารเติมแต่งจากธรรมชาติมามากกว่า 2000 ปีมาแล้ว (Bartley และJacobs, 2000)

Ibanez และคณะ (2003) ได้กล่าวว่าสารประกอบที่ต้านอนุมูลอิสระ หรือสารพฤกษเคมีที่ได้จากแหล่งธรรมชาติ เช่น พืช ผัก ผลไม้ และเครื่องเทศต่างๆ มีความสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหารเพราะคุณประโยชน์ของสารเหล่านั้นซึ่งใช้ในการเตรียมอาหารต่างๆ ที่หลากหลาย และผลของการช่วยส่งเสริมสุขภาพ ด้วยเหตุนี้ผู้บริโภคส่วนใหญ่จึงมีความต้องการสารประกอบที่ต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติจึงมีเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการให้ความสนใจของอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมยาที่มีการเติบโตขึ้นจึงทำให้อุตสาหกรรมยามีการใช้สารพฤกษเคมีสำหรับการพัฒนายาเพื่อให้มีผลกระทบข้างเคียงต่อร่างกายต่ำที่สุด รวมทั้งเพื่อศักยภาพในการต่อต้านโรคที่หลากหลายมากขึ้น (Yeh และคณะ, 2014)

โดยพบว่าในปัจจุบัน สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหารเพราะผลกระทบที่ส่งต่อถึงสุขภาพ (Ibanez และคณะ, 2003) ดังนั้น จากความต้องการสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นนั้น จึงทำให้มีความสนใจในอาหารที่ใช้วัตถุดิบจากแหล่งธรรมชาติมีการเจริญเติบโตขึ้น (Aruoma และคณะ, 1995; Kim และคณะ, 1997) จากการศึกษาที่หลากหลายได้แสดงให้เห็นว่าวิธีที่ใช้ในการสกัดสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัด เนื่องจากวิธีในการสกัดที่ใช้ รวมทั้งเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย ต่างก็มีอิทธิพลต่อสารสกัดในแง่ของคุณภาพของสารสกัดอีกด้วย (Chan และคณะ, 2007; Ding และคณะ, 2012; Sikora และคณะ, 2008)

อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพมีความแตกต่างกันและมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากอิทธิพลหรือจากปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ที่หลากหลาย เช่น สภาวะที่ใช้ในการปลูก สภาพภูมิอากาศ ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว และปัจจัยภายหลังการเก็บเกี่ยว เช่น สภาวะในการเก็บรักษา รวมไปถึงกระบวนการแปรรูป และความแปรปรวนต่างๆ ที่เกิดขึ้นนั้น ไม่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของแต่ละส่วนของพืช แต่ยังเป็นผลเนื่องจากประเทศ แต่ละประเทศที่ทำการปลูก หรือเป็นผู้ผลิตอีกด้วย (Masullo และคณะ, 2015)

2.1.7.1 สารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญในขิง

ขิงเป็นที่รู้จักกันดีว่ามีคุณค่า และมีคุณสมบัติทางยา ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ สำหรับสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ (major bioactive compounds) ในขิงว่าประกอบไปด้วยสารประกอบกลุ่ม gingerols, zingiberene และ shogaols (Butt และ Sultan, 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

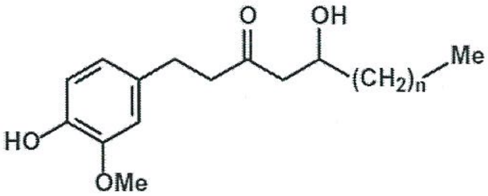
สารประกอบกลุ่ม gingerols, zingiberene และ shogaols เป็นสารประกอบหลักที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ นอกจากมี 6-gingerol เป็นสารประกอบหลักที่พบในเหง้าขิงแล้ว ยังพบว่ามีสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกอื่นๆ ที่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบ gingerols ประกอบด้วย 4-gingerol, 8-gingerol, 10-gingerol และ 12-gingerol แต่พบว่าปรากฏอยู่ในเหง้าขิงในปริมาณความเข้มข้นต่ำ (Wohlmuth และคณะ, 2005) โดยมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีแสดงดังภาพที่ 2.18

2.1.7.2 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพในขิง

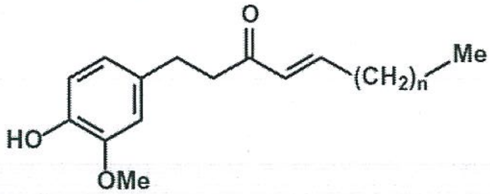
สารประกอบหลักที่ออกฤทธิ์ในขิงสด คือ gingerols แต่พบว่า shogaols เป็นสารประกอบที่ไม่ปรากฏในขิงสด หรือไม่พบในธรรมชาติ เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ gingerols ระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน หรือการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสาร โดยเกิดการเสื่อมสลายของโครงสร้าง (degradation) ของ gingerols ไปเป็น shogaols ซึ่งเกิดขึ้นได้เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด หรือเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Kubra และ Rao, 2012) โดยที่อัตราของการเกิดการเสื่อมสลายของ 6-gingerol ไปเป็น 6-shogaol พบว่าขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยพบว่าจะมีความเสถียรดีที่สุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ 4 แต่พบว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ 1 จะเกิดการย่อยสลายแบบผันกลับได้ค่อนข้างรวดเร็วขึ้น (Bhattarai และคณะ, 2001) และพบว่าในระหว่างการเตรียมขิงแห้ง สารประกอบ gingerols จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็น shogaols อย่างรวดเร็ว จึงทำให้พบ 6-shogaol ได้มากในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้ง หรือเอาน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ (dehydration) (Ok และ Jeong, 2012)

Wang และคณะ (2011) พบว่า 6-shogaol นั้นมีความสามารถทางด้านชีวภาพที่ดีกว่า 6-gingerol โดยพบว่ามีรายงานการวิจัยของ Dugasani และคณะ (2010) ซึ่งได้ทำการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบที่พบในขิง ประกอบด้วย 6-gingerol, 8-gingerol, 10-gingerol และ 6-shogaol จากผลการทดลองพบว่า 6-shogaol นั้นมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่า โดยดูได้จากค่า IC_{50} value ซึ่งพบว่ามีค่าเท่ากับ 8.05±1.02 μM ซึ่งพบว่ามีค่าน้อยกว่าค่า IC_{50} value ของ 6-gingerol ที่มีค่าเท่ากับ 26.3±1.42 μM แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ปริมาณสารประกอบ 6-shogaol ในปริมาณน้อยกว่า 6-gingerol แต่พบว่าสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 เท่ากัน และยังมีรายงานว่ามีการเปลี่ยนแปลงจาก gingerol ไปเป็น zingerones และสารประกอบอื่นๆ ที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากการเสื่อมสลายจากความร้อนเช่นกัน และพบว่าผลของการทำแห้ง และการสกัดขิงด้วยวิธี supercritical carbon dioxide ที่มีผลต่อสารประกอบหลักที่ให้กลิ่นฉุน หรือ 6-gingerol โดยได้ทำการศึกษาปริมาณ gingerols และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล จากผลการทดลองพบว่ามีปริมาณสารประกอบ gingerols ลดลง เมื่อทำการเพิ่มความดัน และอุณหภูมิ (Puengphian และ Sirichote, 2008) แสดงดังภาพที่ 2.19

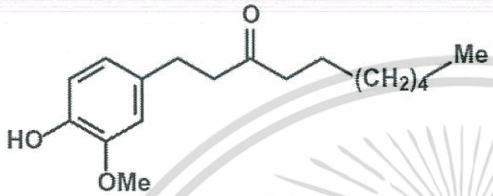
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



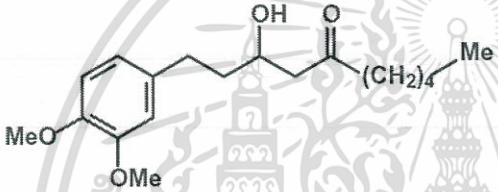
n = 4 [6] - gingerol 1
n = 2 [4] - gingerol 3
n = 5 [7] - gingerol 4
n = 6 [8] - gingerol 5
n = 8 [10] - gingerol 6



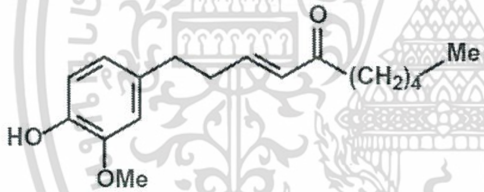
n = 4 [6] - shogaol 2
n = 2 [4] - shogaol 7
n = 6 [8] - shogaol 8
n = 8 [10] - shogaol 9
n = 10 [12] - shogaol 10



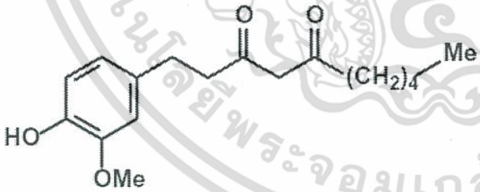
[6] - paradol **11**



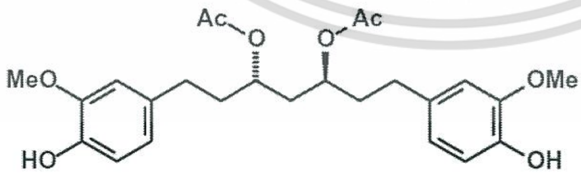
methyl [6] - isogingerol **12**



[6] - isoshogaol **13**



[6] - gingerdione **14**

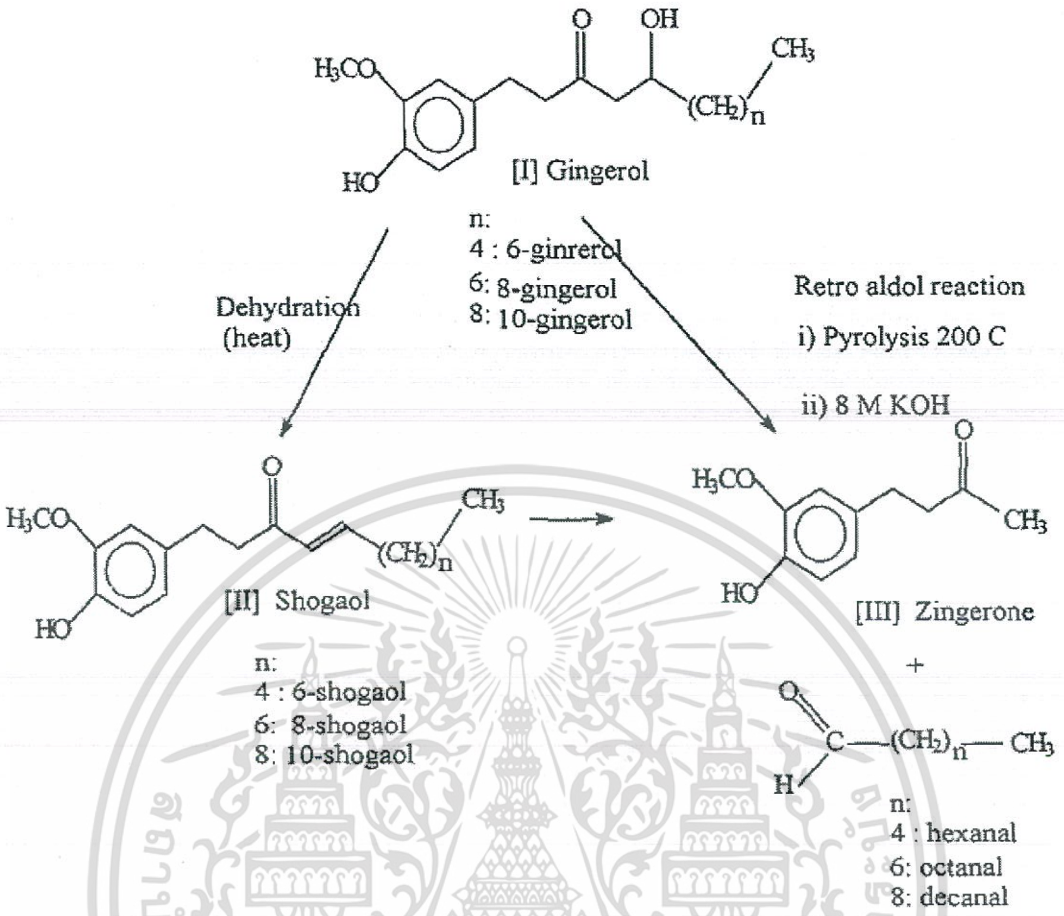


(3*S*,5*S*) - 3,5 - diacetoxy - 1,7 - *bis* (4-hydroxy-3-methoxy) - heptane **15**

ภาพที่ 2.18 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักในขิง

ที่มา : Ali และคณะ (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.19 โครงสร้างและความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบหลักที่ให้กลิ่นฉุนของขิง

ที่มา : Balladin และ Headley (1997)

กระบวนการแปรรูปโดยวิธีการให้ความร้อน เช่น การใช้ไอน้ำ ส่งผลให้คุณลักษณะทางเคมีของพืช ผัก หรือสมุนไพรต่างๆ นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงความสามารถทางชีวภาพได้ (Chan และคณะ, 2007) แต่พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำสามารถป้องกันองค์ประกอบที่ออกฤทธิ์ได้ในวัสดุที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้จากอุณหภูมิสูง (Balladin และคณะ, 1999) และจากการลดลงของปริมาณความชื้นตามธรรมชาติโดยกระบวนการทำแห้งปกติแล้วเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการป้องกันการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีบางอย่าง อย่างไรก็ตาม กระบวนการทำแห้ง หรือกำจัดน้ำออกยังส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นหอม เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ คุณสมบัติทางกายภาพ (Phoungchandang และ Saentaweesuk, 2011; Pinela และคณะ, 2011) รวมทั้งความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Chan และคณะ, 2009) และยังมีรายงานว่าการกลั่นด้วยไอน้ำ หรือ supercritical fluid extraction (SFE) ของเนื้อเยื่อขิงแห้งทำให้กำจัดน้ำมันหอมระเหยออก ซึ่งปรากฏอยู่ในช่วงร้อยละ 0.8 ถึง 2.5 ของน้ำหนักแห้ง แต่ทว่าปริมาณผลผลิตของน้ำมันชันอยู่ประมาณร้อยละ 7 ของน้ำหนักแห้ง (Azian และคณะ, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของขิง

ขิงเป็นที่รู้จักกันดีในแง่ของคุณค่าทางยา เพราะมีสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย ประกอบด้วย gingerols, zingiberene และ shogaols (Butt และ Sultan, 2011)

สารกลุ่ม gingerols และ shogaols เป็นที่รู้กันดีว่ามีประโยชน์ และคุณสมบัติทางยา โดยพบว่าการศึกษาการรักษาเบื้องต้นช่วยสนับสนุนคุณค่าของสารทั้ง 2 ชนิดมากขึ้น พบว่าช่วยรักษาโรคเบาหวาน โรคอ้วน อาการท้องเสีย อาการภูมิแพ้ อาการเจ็บ อาการไข้ อาการอักเสบ และโรคมะเร็งต่างๆ พบว่าสารกลุ่ม gingerols ช่วยรักษาให้สำเร็จได้ในรูปแบบของสัตว์ทดลอง และพบว่าขิง และสารประกอบของขิงได้รับการยอมรับว่าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของสารอนุมูลอิสระต่างๆ และมีความสามารถในการผลิตไนตริกออกไซด์ (Semwal และคณะ, 2015)

อรนุช (2536) และ เสาวนิตย์ (2545) ยังพบว่าขิงมีฤทธิ์ในการแก้ปวดลดไข้ในหนูทดลอง สามารถลดระดับคลอเลสเตอรอลในหนูขาว ลดอาการวิงเวียนได้สำหรับคนที่เมารถ มีฤทธิ์ในการขับลม ลดอาการจุกเสียดเนื่องจากมีส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหย และยังมีฤทธิ์เป็นยาชาเฉพาะที่ เมื่อทดสอบกับเส้นประสาทของกบอีกด้วย

Zick และคณะ (2008) ได้กล่าวถึงความเป็นพิษของขิง โดยพบว่าอนุพันธ์ของขิง 6-gingerol, 8-gingerol, 10-gingerol และ 6-shogaol พบว่ามีความปลอดภัย เมื่อใช้ในปริมาณที่ไม่เกิน 2000 มิลลิกรัม

2.2 กระบวนการห่อหุ้มสาร

กระบวนการห่อหุ้มสาร (encapsulation) ได้รับการนิยามว่า เป็นกระบวนการยึดจับหรือห่อหุ้มสารตัวออกฤทธิ์ (active agent/active material) ด้วยสารชนิดอื่นๆ ที่ทำหน้าที่เป็นสารห่อหุ้มหรือสารเคลือบ (wall material) ซึ่งสารที่ถูกเคลือบ จะเรียกว่า core, fill, active, internal และ payload-phase และสารห่อหุ้มที่นำมาเคลือบ จะเรียกว่า coating, membrane, shell, capsule, carrier-material, external-phase และ matrix (Nedovic และคณะ, 2011) กระบวนการห่อหุ้มสารไม่เพียงแต่ได้รับการนิยามว่าเป็นกระบวนการยึดจับหรือห่อหุ้มสารตัวหนึ่งเท่านั้น แต่ยังได้รับการนิยามว่าเป็นเทคโนโลยีที่บรรจุของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ลงในแคปซูลขนาดเล็ก ที่สามารถปล่อยสารได้ในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นและภายใต้สภาวะที่เฉพาะเจาะจง (Desai และ Park, 2005) โดยสามารถสร้างอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ระดับนาโนเมตร ไมโครเมตร ไปจนถึงระดับมิลลิเมตร (Ray และคณะ, 2016)

กระบวนการห่อหุ้มสารเป็นเทคโนโลยีที่องค์ประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้รับการห่อหุ้มอย่างสมบูรณ์ และได้รับการป้องกันโดยทำหน้าที่เป็นตัวป้องกัน (barrier) ทางกายภาพ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีส่วนเกินขององค์ประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งมีความสามารถในการทำให้สารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ มีความคงตัวในระหว่างการดำเนินการแปรรูป การเก็บรักษา และการป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาต่ออาหาร เทคโนโลยีนี้ยังสร้างผนังกั้นระหว่างสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพและสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จึงทำให้มีรสชาติ และกลิ่นที่แตกต่างกัน สามารถปกปิดรสชาติ และกลิ่นไม่ดีที่ไม่เป็นที่ต้องการได้ ทำให้ส่วนผสมคงตัว และทำให้สามารถเพิ่มความสามารถทางชีวภาพ (bioavailability) ให้กับผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลได้อีกด้วย (Vos และคณะ, 2010; Nedovic และคณะ, 2011)

นอกจากนี้ กระบวนการห่อหุ้มสารยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบเดิม เพื่อให้สามารถพกพา หรือทำการขนส่งได้สะดวกยิ่งขึ้น ช่วยแยกองค์ประกอบของสารที่ผสมกันอยู่ ทำให้สารมีความเข้มข้น รวมถึงช่วยให้สารที่ถูกเคลือบไว้ภายในมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมออีกด้วย (Desai และ Park, 2005)

2.2.3 ประโยชน์ของการนำกระบวนการห่อหุ้มสาร

การนำกระบวนการห่อหุ้มสารมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารให้ประโยชน์ ดังนี้

2.2.3.1 สามารถเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ได้ในระหว่างกระบวนการผลิต ไปจนถึงผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Vos และคณะ, 2010)

2.2.3.2 ทำให้มีกลิ่นหอม ป้องกันการระเหย และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในอาหาร เช่น อันตรกิริยาระหว่างกลิ่นรสกับกลิ่นรส (flavor-flavor interactions) และ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) (Nedovic และคณะ, 2011)

2.2.3.3 สามารถปกปิดความรู้สึกไม่ดีในระหว่างการรับประทาน เช่น รสขม และรสฝาด

2.2.3.4 ช่วยเพิ่มความคงตัวของสารที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการแปรรูปอาหาร ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงการย่อยสลาย และการเปลี่ยนแปลงทางด้านลบได้ (Gouin, 2004; Desai และ Park, 2005; Augustin และ Hemar, 2009)

2.2.3.5 ป้องกันสารที่ถูกเคลือบไว้ภายใน ไม่ให้เกิดการถูกทำลายอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่ไม่เหมาะสม เช่น ความร้อน ความชื้น อากาศ และแสง

2.2.3.6 ลด และชะลออัตราการระเหย หรือการเคลื่อนย้ายของสารภายในออกมาสู่ภายนอก

2.2.3.7 สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของสารดั้งเดิม ทำให้สามารถพกพา หรือขนส่งได้สะดวกขึ้น

2.2.3.8 สามารถควบคุมการปลดปล่อยของสารภายในได้ ลดระยะเวลาการปลดปล่อยจนกว่าจะถึงจุดที่ต้องการให้เกิดการปลดปล่อยของสารภายใน

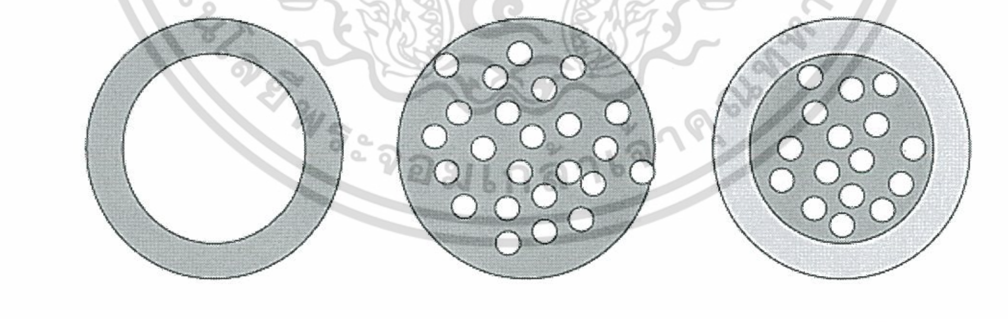
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.9 สารที่ถูกเคลือบสามารถเจือจางได้ หากต้องการใช้ในปริมาณน้อย แต่ยังคงความสามารถในการกระจายตัวได้ดี

2.2.3.10 สามารถแยกองค์ประกอบภายในที่อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่นได้ (Ray และคณะ, 2016)

2.2.4 คุณลักษณะของไมโครแคปซูล

ไมโครแคปซูล (microcapsule) ที่ได้จากกระบวนการห่อหุ้มสาร สามารถจัดจำแนกได้ 2 คุณลักษณะ คือ 1. Reservoir type และ 2. Matrix type แสดงดังภาพที่ 2.20 จากภาพจะเห็นได้ว่าลักษณะของไมโครแคปซูลแบบ Reservoir type จะมีลักษณะเป็นเปลือกห่อหุ้มล้อมรอบสารภายใน เรียกคุณลักษณะนี้ว่า แคปซูล (capsule), แกนเดี่ยว (single core), mono-core หรือ core-shell ซึ่งหากมีการใช้ระดับความดันที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลทำให้เกิดการแตกหักของไมโครแคปซูลที่มีคุณลักษณะแบบ Reservoir type และทำให้เกิดการปลดปล่อยของสารภายใน อีกทั้งยังพบรูปแบบ Poly-core และ Multi-core ของไมโครแคปซูลอีกด้วย โดยพบว่าสารภายในจะมีขนาดเล็กมาก และมีความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะกระจายอยู่ทั่วไมโครแคปซูล และในส่วนของคุณลักษณะของไมโครแคปซูลแบบ Matrix type นั้นจะเห็นได้ว่าสารภายในจะอยู่บริเวณพื้นผิว ยกเว้นเมื่อมีการใส่สารเคลือบ หรือสารห่อหุ้ม จากภาพจะเห็นได้ว่าคุณลักษณะของไมโครแคปซูลจะมีรูปร่างแบบกลม (spherical shape) แต่ในความเป็นจริงรูปร่างของไมโครแคปซูลสามารถเป็นได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ทรงกระบอก (cylindral shape), รูปไข่ (oval) รวมไปถึงรูปร่างที่มีลักษณะผิดปกติ หรือไม่สามารถระบุรูปร่างได้ (irregular shape) (Zuidam และ Nedovic, 2010)



ภาพที่ 2.20 ลักษณะของไมโครแคปซูลที่ได้จากกระบวนการห่อหุ้มสาร

ที่มา : Zuidam และ Nedovic (2010)

2.2.5 การเลือกใช้สารห่อหุ้มสำหรับกระบวนการห่อหุ้มสาร

การเลือกใช้สารห่อหุ้ม (wall material) ที่เหมาะสม เป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการห่อหุ้มสาร เพราะเป็นส่วนสำคัญในการทำให้ไมโครแคปซูลมีประสิทธิภาพ และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคงตัวเพิ่มมากขึ้นซึ่งสารที่นำมาเคลือบที่ดีควรมีคุณลักษณะ ดังนี้ (Desai และ Park, 2005; เอกลักษณ์, 2552; Ray และคณะ, 2016)

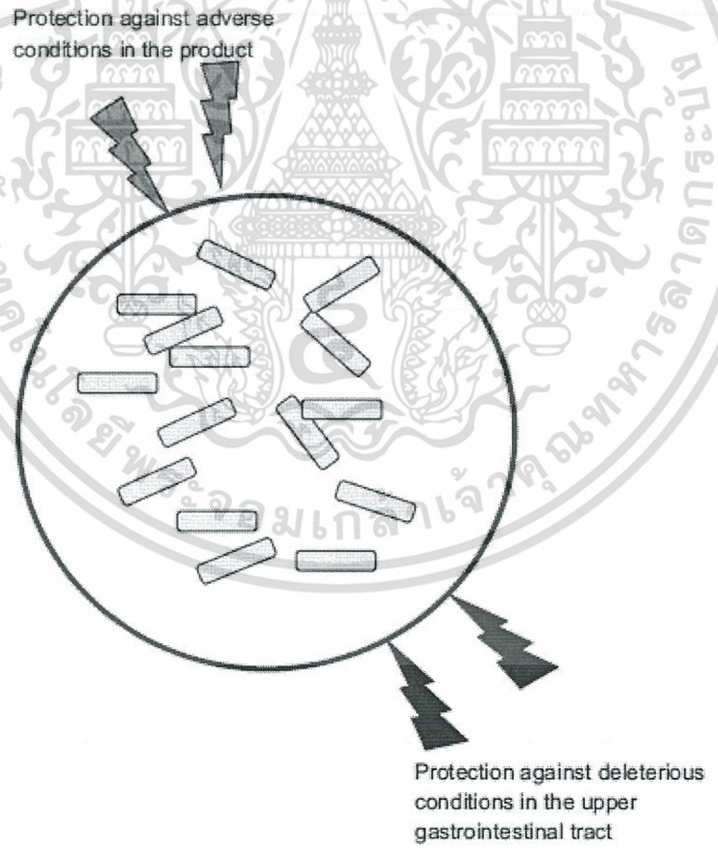
2.2.5.1 มีคุณสมบัติในการสร้างฟิล์มได้ดี

2.2.5.2 มีคุณสมบัติในการกระจายตัว และรวมตัวกับสารที่ถูกเคลือบ และมีความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันได้ดี

2.2.5.3 มีความหนืดต่ำ และเมื่ออยู่ในสถานะของแข็งควรมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นต่ำ

2.2.5.4 มีความคงตัวสูง เพื่อป้องกันสารที่ถูกเคลือบ ต่อสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น ออกซิเจน ความร้อน แสง และความชื้น และไม่ควรทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่นๆ แสดงดังภาพที่ 2.21

2.2.5.5 ตัวทำละลายของสารที่นำมาห่อหุ้มควรเป็นที่ยอมรับในระดับอุตสาหกรรมอาหาร เช่น น้ำ หรือเอทานอล



ภาพที่ 2.21 ลักษณะของแคปซูลที่ปกป้องสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพของอาหารต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น กระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษา และปกป้องการทำลายระหว่างอยู่ในระบบทางเดินอาหาร

ที่มา : Vos และคณะ (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกระบวนการห่อหุ้มสารสารห่อหุ้มที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารมากที่สุด คือ โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) (Nedovic และคณะ, 2011)

แหล่งที่มาของสารห่อหุ้ม

1. โพลีแซคคาไรด์ แป้ง และอนุพันธ์อื่นๆ ของแป้ง หรือคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ amylose, amylopectin, dextrins, maltodextrins, polydextrose, syrups และ cellulose

2. สารสกัดจากพืช ได้แก่ gum-arabic, gum-tragacanth, gum-karaya, mesquite-gum, galactomannan, spectins และ soluble-soybean-polysaccharides

3. สารสกัดจากสิ่งมีชีวิตในทะเล ได้แก่ carrageenans และ alginate

4. โปรตีน ได้แก่ caseins, gelatin และ gluten

5. ไขมัน ได้แก่ fatty acids และ fatty alcohols waxes (beeswax, carnauba-wax, candellia-wax), glycerides และ phospholipids

6. สารอื่นๆ ได้แก่ polyvinylpyrrolidone (PVP), paraffin, shellac และสารอนินทรีย์

ตัวอย่างของสารห่อหุ้มที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม

1. มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่เชื่อมต่อด้วยพันธะ α-1,4-glycosidic ได้มาจากการย่อยแป้งด้วยกรดหรือเอมไซม์ อาจอยู่ในรูปแบบของผงสีขาวหรือแบบของเหลวข้นไม่มีกลิ่นรส โดยที่มอลโตเด็กซ์ตริน ถูกใช้โดยทั่วไปเพื่อเป็นสารห่อหุ้มในกระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีการต่างๆ (เอกลักษณ์, 2552; Coronel-Aguilera และ Martin-Gonzalez, 2015) เพราะสามารถละลายน้ำได้เป็นอย่างดี มีความเหนียวน้อย ปริมาณน้ำตาลต่ำ ราคาไม่สูงมาก และเป็นสารละลายที่ไม่มีสี ด้วยคุณสมบัติทั้งหมดนี้ ทำให้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นที่น่าสนใจในอุตสาหกรรมอาหาร (Robert และคณะ, 2010)

2. กัมอารบิก (gum arabic) เป็นสารธรรมชาติที่จัดอยู่ในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) มีโครงสร้างแบบกิ่ง (branch) ซึ่งได้มาจากน้ำยางธรรมชาติจากส่วนเปลือกของลำต้นพืชกลุ่มอาคาเซีย (acacia) และมีชื่อเรียกหลากหลาย ได้แก่ กัมอารบิก (gum arabic) กัมอาคาเซีย (acacia gum) หรือกัมซูดาน (sudan gum) (เอกลักษณ์, 2552) เป็นหนึ่งในสารห่อหุ้ม ที่นิยมใช้ในกระบวนการห่อหุ้มสาร เนื่องจากความหนืดต่ำ ความคงตัวสูง และมีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์ม (Gupta และคณะ, 2015) มีความสามารถในการเก็บรักษาสารระเหยได้ดี มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) (Mishra และคณะ, 2014) และมีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifiers) ที่ดีโดยเฉพาะในอิมัลชั่นประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) (เอกลักษณ์, 2552)

3. แป้งดัดแปร (modified starch) ชนิด OSAN (N-Octenyl Succinic Anhydride-Substituted Starches) มีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี มีความสามารถใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดฟิล์มได้ดี ไม่มีกลิ่นรส มีความคงตัวสูง ทำปฏิกิริยากับสารชนิดอื่นๆ ได้ยาก มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และมีราคาถูกโดยเฉพาะในอิมัลชั่นประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) แต่เมื่อทำให้เป็นสารละลายจะมีความเป็นกรดจึงไม่ควรนำมาใช้กับสารห่อหุ้มที่ไวต่อกรด (เอกลักษณ์, 2552; Gupta และคณะ, 2015)

โดยที่สารห่อหุ้มแต่ละชนิด มีคุณลักษณะเฉพาะแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณลักษณะเฉพาะของสารห่อหุ้มแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้มสาร

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

ที่มา : ดัดแปลงจาก เบญจา (2550)

ในกระบวนการห่อหุ้มสาร ไม่มีข้อกำหนดว่าควรเลือกสารชนิดใด หรือสารชนิดไหนจะเหมาะสำหรับการนำมาใช้ในกระบวนการห่อหุ้มสาร ชนิดของสารที่ถูกเคลือบ และคุณลักษณะต่างๆ ของสาร จะเป็นปัจจัยแรกโดยส่วนใหญ่ที่นำมาพิจารณาเพื่อการเลือกใช้ให้เหมาะสม แต่ข้อจำกัดทางด้านต้นทุนหรือราคาก็ยังคงเป็นอีกปัจจัยสำคัญในการเลือกสารห่อหุ้ม เพื่อใช้ในกระบวนการห่อหุ้มสารเช่นกัน (Nedovic และคณะ, 2011)

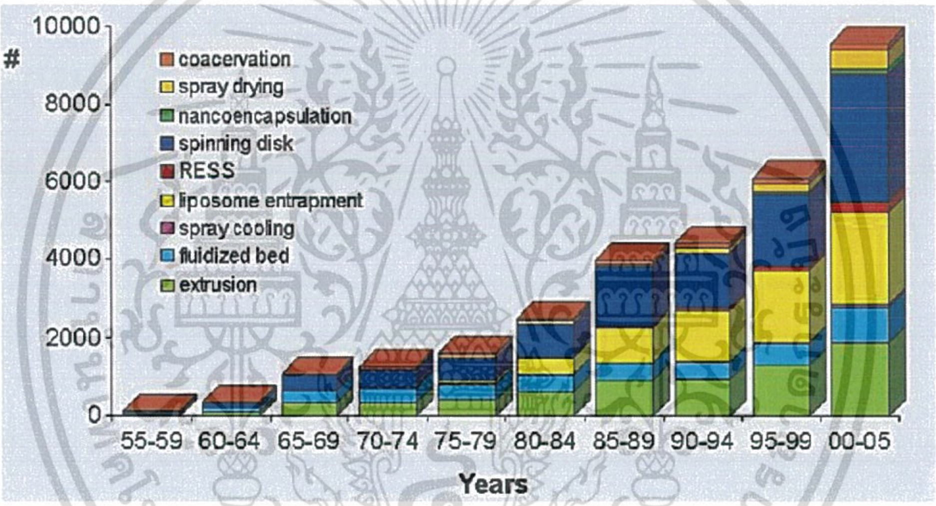
2.2.6 กระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีต่างๆ

เทคโนโลยีการห่อหุ้มสารนั้นมีมาตั้งแต่กลางปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา โดยพบว่ามีงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการห่อหุ้มสารเพิ่มมากขึ้น (Gouin, 2004) แสดงดังภาพที่ 2.22 ซึ่งในการห่อหุ้มสารนั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.1 กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

กระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ที่ใช้มานานและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง (Zuidam และ Nedovic, 2010) แม้ว่ากระบวนการห่อหุ้มสาร จะสามารถมีวิธีการทำที่หลากหลายวิธีการ และถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง แต่กระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีที่ถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากว่า 10 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา เพื่อให้การปกป้องการเสื่อมเสียของสารให้กลิ่นรสจำพวกน้ำมัน (Re และคณะ, 1998; Gouin, 2004) เนื่องด้วยเป็นวิธีการที่มีความยืดหยุ่น สามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง และที่สำคัญคือมีต้นทุนต่ำ (Zuidam และ Nedovic, 2010) หลักการของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นการทำให้สารละลายหรือของเหลวเป็นละอองที่มีขนาดเล็กลง และทำให้แห้งด้วยลมร้อน โดยมีแผนภาพของส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่อง แสดงดังภาพที่ 2.23



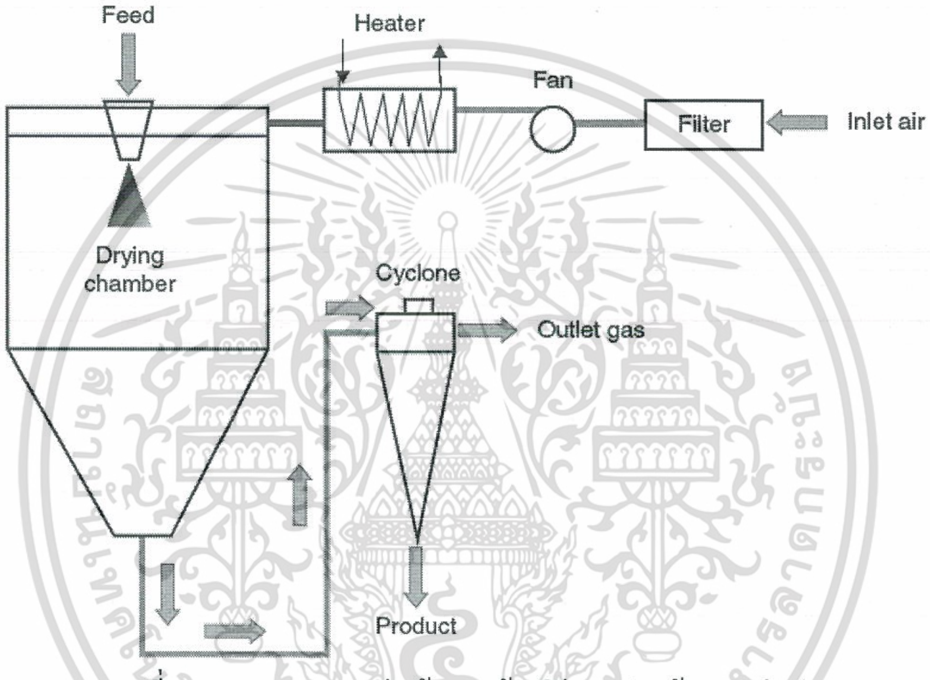
ภาพที่ 2.22 แนวโน้มของเทคโนโลยีกระบวนการห่อหุ้มสารในงานวิจัย

ที่มา : Gouin (2004)

ขั้นตอนการทำให้เป็นละออง ของเหลวจะถูกส่งไปยังตัวเครื่องของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (chamber of spray dryer) จากนั้นของเหลวจะไหลผ่านท่อไปสัมผัสกับลมร้อนทำให้น้ำระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอ (Vidovic และคณะ, 2014) เพื่อผลิตของแข็งที่มีอนุภาคขนาดเล็ก โดยมีขนาดอนุภาค 3 ถึง 100 ไมโครเมตร ซึ่งอุณหภูมิในการทำแห้งทั้งอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอุณหภูมิอากาศขาออก อัตราเร็วในการป้อนสาร และอัตราเร็วของลมหมุนเวียนภายในเครื่อง (blower) มีผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ การใช้อุณหภูมิอากาศขาออกที่สูง มีผลทำให้เอนไซม์ปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางโมเลกุลไปอย่างมาก แต่ถ้าหากอุณหภูมิขาเข้าต่ำไป น้ำในสารผสมจะไม่สามารถระเหยได้ในระยะเวลาอันสั้น และทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ยังคงมีความชื้นอยู่ ส่งผลให้ได้ปริมาณผลผลิต (production yield) ต่ำ และถ้าใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิในการทำแห้งสูงเกินไป จะส่งผลให้ไมโครแคปซูลเกิดความเสียหาย (Ray และคณะ, 2016) กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นผง จากการป้อนของเหลว หรือสารผสม สามารถทำได้โดยการสะสมของการไหลภายในอุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นผงติดตามผนังของเครื่อง ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณภาพต่ำ และต้องคำนึงถึงความปลอดภัยจึงจำเป็นต้องทำความสะอาดอยู่เสมอ และต้องเพิ่มเวลาสำหรับการทำความสะอาดมากขึ้น แต่อีกนัยหนึ่ง ผู้ผลิตต้องการลดเวลาในการทำความสะอาด เพราะนอกจากจะสามารถช่วยเพิ่มระยะเวลาในการผลิตให้ผลิตได้มากขึ้นแล้ว ยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย (Langrish และคณะ, 2007)



ภาพที่ 2.23 กระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

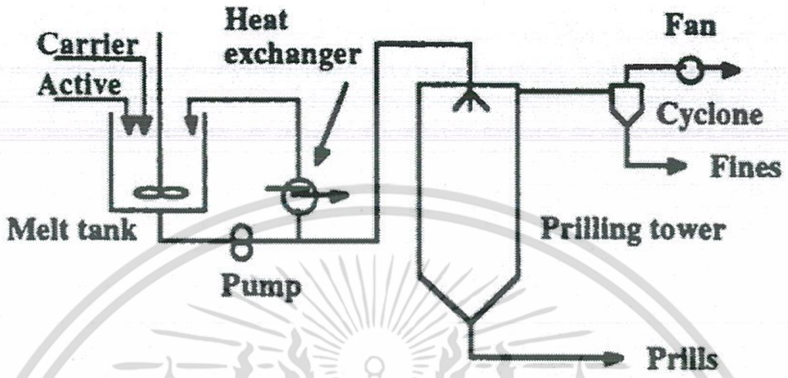
ที่มา : Anandharamakrishnan และ Ishwarya (2015)

2.2.4.2 กระบวนการพ่นฝอยแบบเย็น

กระบวนการพ่นฝอยแบบเย็น (spray chilling/spray cooling) เป็นวิธีการใช้เคลือบสารที่ไม่ทนต่อความร้อนมีหลักการทำงานคล้ายกับวิธีการทำ การทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยอนุภาคจะถูกทำให้กระจายตัวอยู่ในสารละลายของสารห่อหุ้ม จากนั้นนำไปพ่นผ่านหัวสเปรย์ให้ไปสัมผัสกับลมเย็นแสดงดังภาพที่ 2.24 สารที่นำมาใช้เป็นสารห่อหุ้มในวิธีการนี้ ควรมีคุณสมบัติในการเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น แว็กซ์ (wax) กรดไขมัน และสารพอลิเมอร์ (เอกลักษณ์, 2552) ความแตกต่างของวิธีการพ่นฝอยแบบเย็น คือ จุดหลอมเหลวของลิพิด โดยวิธีการพ่นฝอยแบบเย็นแบบ spray chilling จะใช้สารห่อหุ้มในกลุ่มน้ำมันพืชที่แยกส่วนมา หรือน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการ (fractionaed/hydrogenated vegetable oil) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วง 34 ถึง 42 องศาเซลเซียส (Gouin, 2004; Zuidam และ Nedovic, 2010) ส่วนวิธีการพ่นฝอยแบบเย็นแบบ spray cooling จะใช้สารห่อหุ้มที่เป็นพวกน้ำมันพืช แต่มีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่า อยู่ในช่วง 45 ถึง 122 องศาเซลเซียส (เบญจา, 2550) ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูง สามารถทำการผลิตได้ทั้งแบบกะ และแบบต่อเนื่อง



ภาพที่ 2.24 กระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีการพ่นฝอยแบบเย็น

ที่มา : เบญจา (2550)

2.2.4.3 กระบวนการเคลือบด้วยเทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด

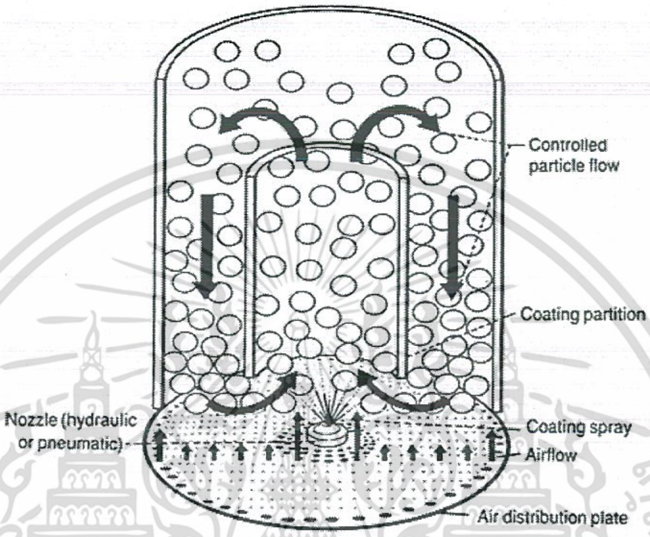
กระบวนการเคลือบด้วยเทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด (fluid bed coating) คือ กระบวนการห่อหุ้มสารที่มีลักษณะเป็นการเคลือบอย่างบางบนผิวอนุภาคของของแข็ง (Nedovic และคณะ, 2011) โดยจะนำอนุภาคที่ต้องการทำการห่อหุ้ม เคลื่อนที่ไปในกระแสอากาศที่หมุนเวียนอยู่ภายในตัวเครื่องโดยใช้ความเร็วสูง (เบญจา, 2550) และหัวฉีดจะพ่นสารห่อหุ้มที่มีลักษณะเป็นของเหลวลงบนผิวของอนุภาค จากนั้นจะถูกทำให้เย็นตัวลง และเกิดการแข็งตัว แสดงดังภาพที่ 2.25 วิธีการนี้จะมีหมุนเวียนอนุภาคภายในอย่างต่อเนื่องจนมีลักษณะ และความหนาตามที่ต้องการ (เอกลักษณ์, 2552) โดยสามารถทำได้ทั้งแบบกะ และแบบต่อเนื่อง (Nedovic และคณะ, 2011) อนุภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดประมาณ 5 ถึง 5000 ไมโครเมตร (Ray และคณะ, 2016) ซึ่งวิธีการนี้สามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า air suspension coating (เบญจา, 2550)

2.2.4.4 กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying/lyophilization) เป็นวิธีการที่ไม่ต้องใช้ความร้อน โดยมีขั้นตอนหลักทั้งหมด 4 ขั้นตอน ในการทำให้สารมีความคงตัว ซึ่งทั้ง 4 ขั้นตอนนี้คือ การแช่เยือกแข็ง (freezing), การระเหิด (sublimation), การกำจัดน้ำในรูปของพันธะกับสารอื่น (desorption) และการเก็บรักษา (storage) กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนี้สามารถหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากความร้อน และการสูญเสียสารประกอบที่ไวต่อความร้อนได้ ด้วยเหตุนี้เองการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จึงเป็นกระบวนการที่ประสบความสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการถนอมอาหาร เช่น รูปร่าง เส้นผ่านศูนย์กลาง สี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส คุณค่าทางอาหาร และความสามารถทางชีวภาพ โดยวิธีการนี้ทำให้เกิดอนุภาคขนาด 400 ถึง 1400 ไมโครเมตร ข้อเสียของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง คือ ใช้พลังงานสูง ทำให้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง รวมทั้งใช้ระยะเวลานานในการแปรรูป (Caliskan และ Dirim, 2016; Ray และคณะ, 2016)



ภาพที่ 2.25 กระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีการ Fluid bed coating หรือ Air suspension coating

ที่มา : เบญจา (2550)

2.2.4.5 กระบวนการทำแห้งแบบสุญญากาศ

การทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drying) เป็นวิธีการที่มีความคล้ายคลึงกับวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แต่วิธีการทำแห้งแบบสุญญากาศจะใช้ระยะเวลาในการทำเร็วกว่า และมีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่า เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง โดยใช้อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็งของตัวทำละลาย (Zuidam และ Nedovic, 2010)

2.2.4.6 Pan coating

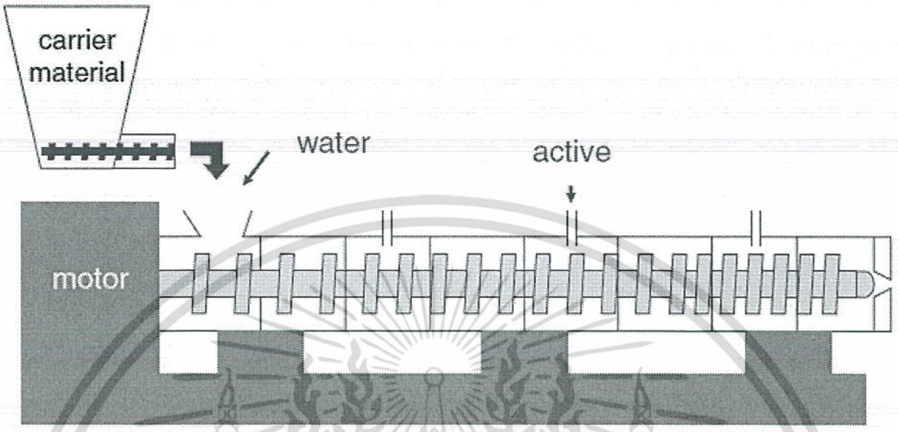
Pan Coating เป็นวิธีการเคลือบอนุภาคของของแข็งที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่โดยอนุภาคที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 500 ไมโครเมตรขึ้นไป ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมยาเป็นการนำอนุภาคของแข็งมาเคลือบด้วยตัวแล้วเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์โดยผ่านลมร้อนสม่ำเสมออีกครั้ง (เอกลักษณ์, 2552)

2.2.4.7 Melt extrusion

Melt Extrusion เป็นวิธีการที่ทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ซึ่งอนุภาคจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 250 ไมโครเมตรไปจนถึงมิลลิเมตร โดยจะมีการใช้เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

screw extruder แสดงดังภาพที่ 2.26 และใช้สารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเพื่อเป็นสารตัวพา (carrier) นำสารให้กลิ่นรส (flavor) จากนั้นอัดและผสมเข้าด้วยกันในเครื่อง screw extruder และจะถูกนำมาอัดผ่านตะแกรงให้ได้ลักษณะตามที่ต้องการนิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่ผลิตสารกลิ่นรสที่จะนำไปใช้ในการผลิตลูกกวาด (เอกลักษณ์, 2552)



ภาพที่ 2.26 ลักษณะของเครื่อง screw extruder สำหรับวิธี melt extrusion

ที่มา : Zuidam และ Nedovic (2010)

2.2.4.8 Coacervation

วิธี coacervation เป็นวิธีทางเคมีของกระบวนการห่อหุ้มสาร โดยการใช้ประโยชน์จากการเกิดปรากฏการณ์คอลลอยด์ และความต่างของประจุของไฮไดรคอลลอยด์ที่ชอบน้ำ (hydrophillic colloids) โดยมีเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) ซึ่งเป็นเฟสของสารที่ถูกเคลือบภายใน และเฟสของสารที่นำมาเคลือบ หรือสารห่อหุ้ม แสดงดังภาพที่ 2.27 โดยในการเคลือบนั้นจะเกิดจากการปรับประจุที่ต่างกันให้ประจุอยู่ในสภาวะที่เป็นกลางของไฮไดรคอลลอยด์ที่ชอบน้ำ 2 ชนิด ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำทั้งหมด 3 ขั้นตอน (เบญจา, 2550) คือ

1. การเกิดอนุภาคหรือหยดของเหลว
2. การเกิดผนัง coacervative wall
3. การแยกไมโครแคปซูลที่ได้ออกจากสารละลาย

จากตัวอย่างที่กล่าวมา เป็นกระบวนการห่อหุ้มสารเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ซึ่งยังคงมีกระบวนการอื่นอีกหลายกระบวนการ ได้แก่ Droplet-freezing, Droplet-gelation, Extrusion, Gelation, Interfacial-polycondensation, Polymerization, Solvent-evaporation, Supercritical-fluid, Thermal-gelation, Co-crystallization, Molecular-inclusion, Liposome-entrapment และ Ultrasonic-encapsulation (เอกลักษณ์, 2552; เบญจา, 2550)

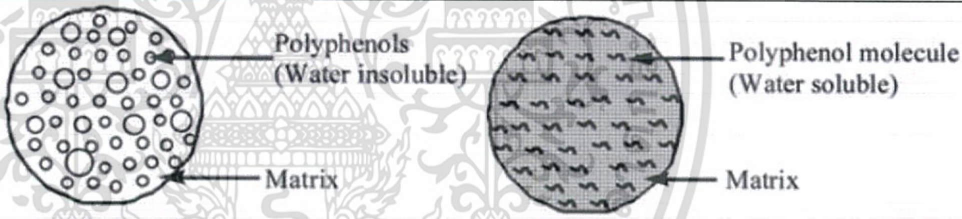
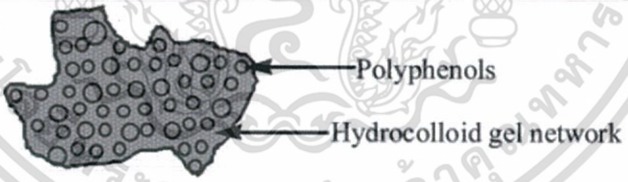
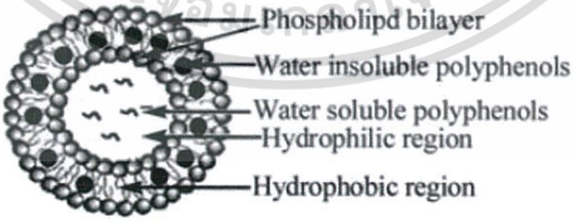
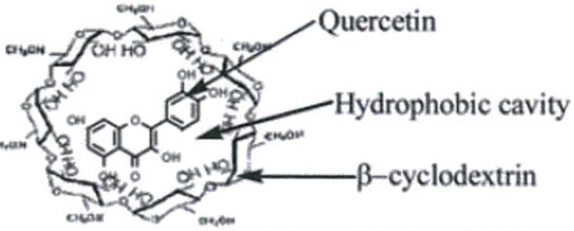
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.27 ลักษณะของการห่อหุ้มสารด้วยวิธี coacervation

ที่มา : Gouin (2004)

ลักษณะของไมโครแคปซูลที่ได้จากกระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีต่างๆ ทำให้ลักษณะของไมโครแคปซูลที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.6

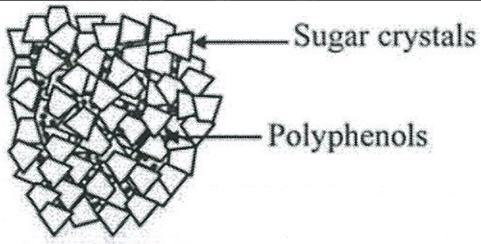
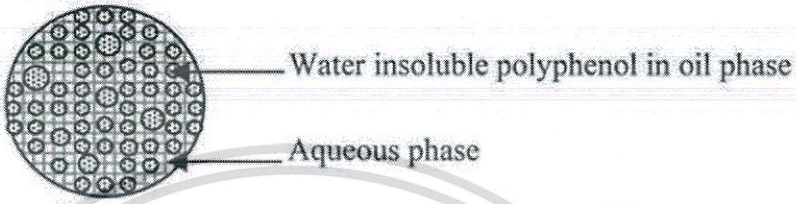
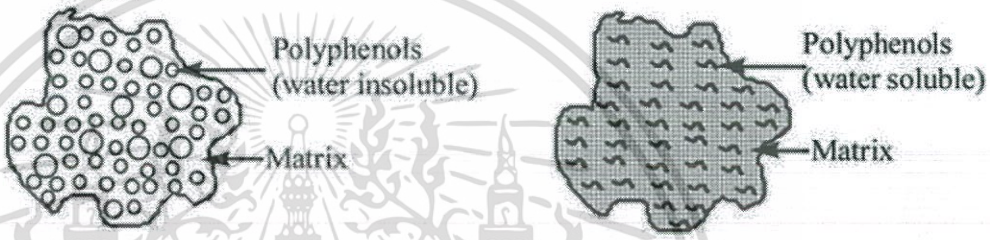
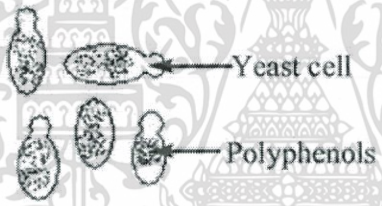
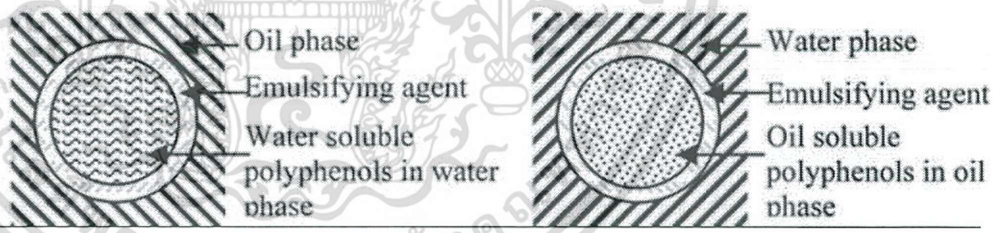
ตารางที่ 2.6 ลักษณะของไมโครแคปซูลที่ได้จากกระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีต่างๆ

วิธีการห่อหุ้มสาร	**ลักษณะของไมโครแคปซูล**
Spray drying	
Coacervation	
Liposomes	
Inclusion	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Fang และ Bhandari (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) คุณลักษณะของไมโครแคปซูลที่ได้จากกระบวนการห่อหุ้มสารด้วยวิธีต่างๆ

วิธีการห่อหุ้มสาร	**ลักษณะของไมโครแคปซูล**
Co-crystallization	
Nanoparticles	
Freeze drying	
Yeast encapsulation	
Emulsion	

ที่มา : ดัดแปลงจาก Fang และ Bhandari (2010)

การเลือกวิธีการสำหรับกระบวนการห่อหุ้มสารนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะจะต้องเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ และสามารถผสมรวมเข้ากับอาหารได้โดยที่ไม่ส่งผลต่ออาหารในแง่ของเนื้อสัมผัส และรสชาติของอาหาร (Nedovic และคณะ, 2011) และลักษณะของอนุภาคที่ถูกสร้างขึ้น นอกจากนี้การเลือกกระบวนการสำหรับกระบวนการห่อหุ้มสารนั้น นอกจากจะคำนึงถึงราคาหรือต้นทุนในการผลิต ยังต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของกระบวนการห่อหุ้มสารอีกด้วย (Tavares และคณะ, 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การประยุกต์ใช้กระบวนการห่อหุ้มสารในอุตสาหกรรมต่างๆ

กระบวนการห่อหุ้มสารสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่

2.2.5.1 อุตสาหกรรมยา

การใช้กระบวนการห่อหุ้มสารในอุตสาหกรรมยา จะออกมาในรูปแบบแคปซูล ที่มีความสามารถในการปล่อยตัวยาให้ทำงานได้ยาวนานขึ้น หรือตัวยาสามารถออกฤทธิ์ได้เจาะจงกับอวัยวะภายในร่างกายได้มากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การให้ยาแอสไพริน ไม่สามารถให้ยาในปริมาณมากภายในครั้งเดียวได้ เพราะอาจทำให้กระเพาะอาหารเกิดแผลและเลือดออก จึงใช้กระบวนการห่อหุ้มสารเพื่อควบคุมการออกฤทธิ์ของตัวยา ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดแผลในกระเพาะอาหารได้ (เอกลักษณ์, 2552)

2.2.5.2 การเกษตร

ทางด้านการเกษตร มีการใช้วิธีการเคลือบ และห่อหุ้มเช่นกัน ในด้านการเกษตรนี้จะเป็นการนำยาฆ่าแมลงมาทำเป็นแคปซูล โดยผ่านวิธีการเคลือบ และห่อหุ้ม เพื่อให้มีความสามารถในการปลดปล่อยสารได้ในระยะเวลาที่นานขึ้นในปริมาณทีละน้อย วิธีการนี้ทำให้เกษตรกรสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการฉีดพ่นยาฆ่าแมลง และไม่สิ้นเปลืองในการต้องฉีดพ่นยาบ่อยครั้ง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สภาพแวดล้อมถูกทำลายจากสารพิษตกค้าง (เอกลักษณ์, 2552)

2.2.5.3 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นหนึ่งในหลายๆ อุตสาหกรรมที่ใช้ประโยชน์จากวิธีการเคลือบ และห่อหุ้มด้วยการผลิตสารที่จะทำการเปลี่ยนสถานะเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง เช่น หากอากาศร้อน ตัวสารที่แทรกซึมอยู่ในผ้าจะเกิดการละลาย ทำให้อากาศสามารถผ่านเข้าออกตัวผ้าได้ เป็นผลทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกเย็นสบาย และเมื่ออากาศเย็นลง ตัวสารจะแข็งตัวทำการปิดกั้นช่องว่างระหว่างเส้นใยเพื่อเพิ่มความอบอุ่นให้แก่ผู้สวมใส่ (เอกลักษณ์, 2552)

2.2.5.4 อุตสาหกรรมอาหาร

กระบวนการห่อหุ้มสารสามารถใช้ได้กับหลากหลายแนวทางในอุตสาหกรรมอาหาร กระบวนการห่อหุ้มสารนั้นเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ต่อการส่งผ่านสารชีวโมเลกุลต่างๆ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ แร่ธาตุ วิตามิน ไฟโตเสตอรอล ลูทีน กรดไขมัน และไลโคปีน และเซลล์สิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น โพรไบโอติกส์ (probiotics) ไปยังอาหาร (Nedovic และคณะ, 2011; Vos และคณะ, 2010)

กระบวนการห่อหุ้มสาร มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องปรุง (flavoring) เนื่องจากวิธีการเคลือบ และห่อหุ้ม ทำให้เกิดการรวมตัวกันของสารให้กลิ่นรสที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic flavors) และเพิ่มความสามารถในการคงตัวทางเคมีของของเหลว หรือ solid food flavorings นอกจากนี้ยังควบคุมการปลดปล่อยของกลิ่นได้อีกด้วย (Yoshii และคณะ, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการห่อหุ้มสาร ถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันสภาพแวดล้อม ปฏิกิริยาเคมี และเพิ่มความสามารถในการคงตัวของอุณหภูมิ ความชื้น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และแสง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหาร (Coronel-Aguilera และ Martin-Gonzalez, 2015) นอกจากนี้ สารบางชนิดที่ให้กลิ่นรสจะเกิดการระเหยง่ายและสูญเสียคุณสมบัติต่างๆ ในระหว่างกระบวนการผลิต รวมไปถึงวิตามินหลายชนิดซึ่งมีความไวต่อออกซิเจน และแสงสว่าง ทำให้สูญเสียคุณค่าทางอาหารบางอย่างไปในระหว่างปรุงหรือถนอมอาหาร จึงใช้ประโยชน์จากกระบวนการห่อหุ้มสารเพื่อรักษาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ (เอกลักษณ์, 2552)

ในปัจจุบันมีสารห่อหุ้มจำนวนมากที่ถูกนำมาใช้ในการเคลือบ และห่อหุ้มของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งมีชนิดและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยการเคลือบ และห่อหุ้มสารทางด้านอาหาร จะมีความเข้มงวดมากกว่าทางเภสัชกรรม ในขณะที่สารบางตัวได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการผลิตยา แต่ในด้านอุตสาหกรรมอาหารนั้นยังไม่ได้รับการอนุญาตให้ใช้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารเหล่านี้ยังไม่ได้รับการรับรองเพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ สำหรับอาหาร ซึ่งในกระบวนการทำอาหารต่างๆ ควรจะมีขั้นตอนการผลิตที่มีความปลอดภัยตามความต้องการของหน่วยงานการปกครอง เช่น European Food Safety Authority (EFSA) หรือ Food and Drug Administration (FDA) ในประเทศสหรัฐอเมริกา (Nedovic และคณะ, 2011)

2.3 กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying process) เป็นกระบวนการที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวถูกพ่นฝอย (atomized) สัมผัสกับอากาศร้อน และเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ผงอย่างทันทีทันใด โดยของเหลวที่นำมาพ่นฝอยด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นสามารถเป็นได้ทั้งในรูปของสารละลาย สารอิมัลชัน และสารแขวนลอย (suspension) โดยผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีอนุภาคขนาดเล็กมาก (10 – 50 ไมโครเมตร) ไปจนถึงอนุภาคขนาดใหญ่ (2 – 3 มิลลิเมตร) และทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีการลดลงของปริมาณน้ำ (water content) และวอเตอร์ แอคทิวิตี้ (water activity) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีความคงตัวในด้านของจุลชีววิทยา (microbiological) และป้องกันการเสื่อมเสียทางเคมี และชีวภาพ อีกทั้งช่วยในการประหยัดราคาในการเก็บรักษา และการขนส่งอีกด้วย (Gharsallaoui และคณะ, 2007)

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) คือ เครื่องที่ใช้ในการทำแห้ง (dehydration) สำหรับอาหารเหลว เช่น นมผง น้ำผลไม้ กาแฟ และไข่ โดยต้องมีการเติมสารเสริมการทำแห้งเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิต และเพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกาะตัวกันเป็นก้อน สารเสริมที่นิยมใช้กันในทางการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่น มอลโตเด็กซ์ตริน หางนมผง ไซโคลเด็กซ์ตริน เป็นต้น (เอกดนัย, 2548)

2.3.4 หลักการพื้นฐานของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น ของเหลวที่เข้ามาในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจะสัมผัสกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และเกิดการทำแห้งเกิดขึ้น (Gharsallaoui และคณะ, 2007) ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ดังนี้

2.3.4.1 ส่วนฉีดพ่นฝอย (atomization)

สำหรับส่วนนี้ ของเหลวที่เข้ามาจะถูกพ่นฝอยให้กลายเป็นหยดขนาดเล็ก เนื่องจากแรงดัน (pressure) หรือแรงเหวี่ยง (centrifugal energy) โดยผ่านการใช้หัวอะตอมไมเซอร์ (atomizer) เช่น pneumatic atomizer, pressure nozzle, spinning disk configurations, two fluid nozzle และ sonic nozzle โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนให้ได้สูงที่สุดระหว่างพื้นที่ผิวของสารผสม กับอากาศร้อนที่ใช้ทำแห้ง เพื่อให้เกิดการถ่ายเมความร้อน และการถ่ายเทมวลที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

2.3.4.2 ส่วนที่สัมผัสกับอากาศร้อน (droplet – hot air contact)

หลังจากที่ของเหลวถูกพ่นฝอยเป็นละอองขนาดเล็กแล้ว เมื่อสัมผัสกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จะเริ่มเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง ซึ่งรูปแบบของการสัมผัสกับอากาศร้อนสามารถเป็นได้ 3 รูปแบบ คือ ทำแห้งในทิศทางเดียวกัน (co-current drying) ทำแห้งในทิศทางตรงข้ามกัน (counter current drying) และการไหลแบบผสมกัน (mixed flow)

1. การทำแห้งในทิศทางเดียวกัน (co-current drying)

ของเหลวจะถูกพ่นฝอยมาในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการไหลของอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งอุณหภูมิอากาศขาข้าวของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 150 – 220 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการระเหยขึ้นโดยทันที และเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ผงแห้งเกิดขึ้น ซึ่งสำหรับการสัมผัสกับอากาศร้อนในรูปแบบนี้นั้น จะทำให้ของเหลวที่ถูกส่งเข้าไปในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีการสัมผัสกับอากาศร้อนในระดับกลาง (ประมาณ 50 – 80 องศาเซลเซียส) หรือสัมผัสกับอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนัก ทำให้ช่วยลดการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อน (thermal degradations) จึงทำให้มีความเหมาะสมกับวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน (heat-sensitive materials) แสดงดังภาพที่ 2.28A

2. การทำแห้งในทิศทางตรงข้ามกัน (counter current drying)

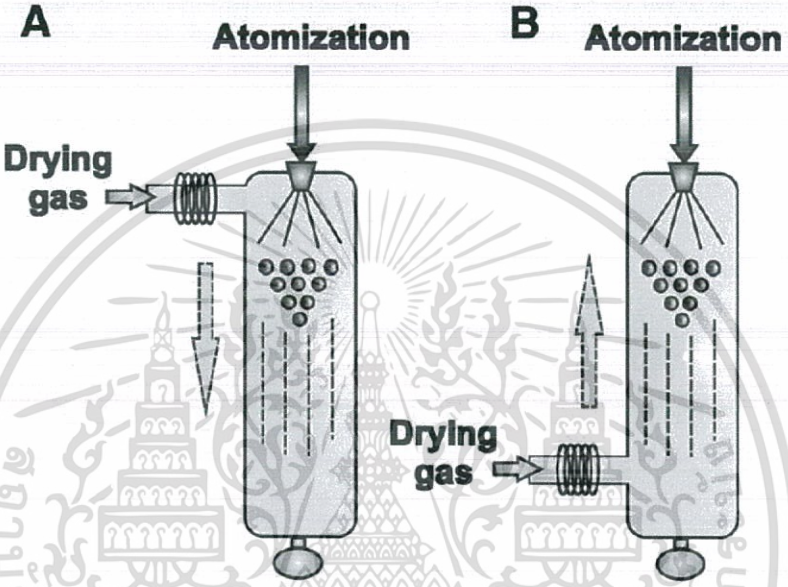
สำหรับของเหลวที่ถูกพ่นฝอยเข้ามาในทิศทางตรงข้ามกับอากาศร้อน หรือถูกพ่นเข้ามาสวนทางกับอากาศร้อนของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ของเหลวจะสัมผัสกับอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิสูงในทันที แสดงดังภาพที่ 2.27B ทำให้การไหลในรูปแบบนี้ไม่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับวัตถุดิบที่ไวต่อความร้อน แต่สำหรับรูปแบบนี้นั้นพบว่ามีความเหมาะสมในด้านของประสิทธิภาพในการทำแห้งด้วยความร้อน การใช้พลังงานความร้อน และทางด้านเศรษฐกิจ

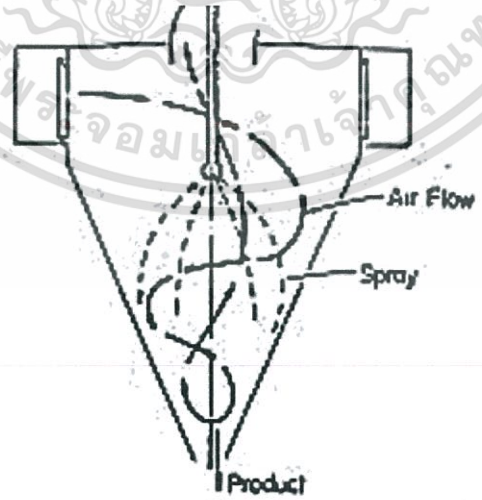
3. การไหลแบบผสมกัน (mixed flow)

สำหรับการไหลสัมผัสกันระหว่างของเหลว กับอากาศร้อนในรูปแบบไหลผสมกันนี้ ของเหลว กับอากาศร้อนจะไหลไปในทิศทางเดียวกัน และสวนทางกันพร้อมกัน แสดงดังภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.28 ลักษณะการไหลแบบทิศทางเดียวกัน (A) และทิศทางตรงข้ามกัน (B)

ที่มา : Sosnik และ Seremeta (2015)



ภาพที่ 2.29 ลักษณะการไหลแบบผสมกัน

ที่มา : วิวัฒน์ (2529)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.3 ส่วนการระเหยของน้ำ (evaporation of droplet water)

เมื่อของเหลวที่ถูกพ่นฝอยสัมผัสกับอากาศร้อนภายเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยแล้วนั้น จะเกิดการทำสมดุลกันระหว่างอุณหภูมิ และแรงดันบางส่วนของไอ ระหว่างส่วนที่เป็นของเหลว และส่วนที่เป็นแก๊ส ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปสู่ผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดความแตกต่างกันของอุณหภูมิ ดังนั้นน้ำภายในผลิตภัณฑ์ จะเกิดการเคลื่อนย้ายไปในทิศทางตรงกันข้ามเนื่องจากความดันไอที่แตกต่างกัน ในระหว่างที่อากาศร้อน และของเหลวผสมกัน การทำแห้งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิดการระเหยที่บริเวณผิวของหยดของเหลว และเมื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเกิดการสร้างเปลือกแข็ง (dry crust) ที่บริเวณผิวหน้าทำให้เกิดการลดลงของอัตราการทำแห้งอย่างรวดเร็ว และกลายเป็นขึ้นอยู่กับการแพร่ของน้ำผ่านเปลือกแข็ง

2.3.4.4 ส่วนแยกผลิตภัณฑ์แห้งออกจากอากาศ (dry product separation)

ในขั้นตอนนี้จะใช้ไซโคลน (cyclone) ในการแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากอากาศร้อน อนุภาคของแข็งที่แน่นที่ได้จากส่วนทำแห้งบริเวณตัวเครื่อง (drying chamber) เมื่อผ่านมาที่บริเวณไซโคลนจะถูกแยกออกจากอากาศที่มีความชื้น ไซโคลนถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า bag houses

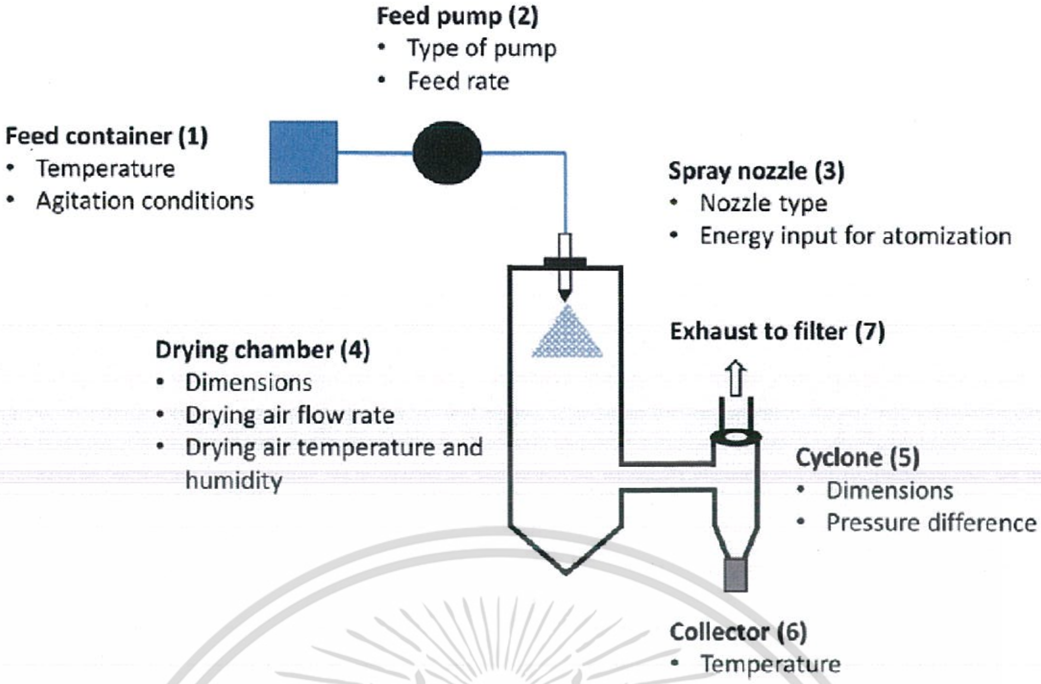
2.3.5 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วยลำดับขั้นตอน 6 ขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 2.30 จะเห็นได้ว่าสารผสม หรือของเหลวที่ต้องการทำแห้งแบบพ่นฝอย ของเหลวจะถูกปั๊มเข้ามาพ่นฝอยผ่านทางหัว nozzle ที่ตัวเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อผ่านหัว nozzle ออกมาแล้วนั้นจะสัมผัสกับอากาศร้อน หรือแก๊สร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งระยะเวลาที่สัมผัสกับอากาศร้อนนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และขนาดของตัวเครื่อง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ในระดับมิลลิวินาที (milliseconds) และจะเกิดการถ่ายเทพลังงานและความร้อนที่บริเวณผิวหน้าที่ส่วนนี้ จากนั้นผลิตภัณฑ์แห้งจะถูกแยกออกด้วยไซโคลน และถูกเก็บลงในภาชนะบรรจุ ส่วนอากาศร้อน หรือแก๊สก็จะถูกปลดปล่อยออกไป

2.3.6 ปัจจัยของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีปัจจัยต่างๆ ที่เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เช่น ปัจจัยทางด้านกระบวนการแปรรูป คุณสมบัติของของเหลวที่ต้องการทำแห้ง และรูปแบบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย แสดงดังตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.30 แผนภาพแสดงองค์ประกอบและขั้นตอนของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : Singh และ Mooter (2016)

ตารางที่ 2.7 ปัจจัยของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยแต่ละส่วน

Parameter		
Process	**Liquid feed**	**Equipment**
Flow rate of liquid feed	Concentration	Co-current flow
Flow rate of drying gas	Viscosity	Counter-current flow
Gas inlet temperature	Density	Mixed flow
Drying rate	Surface tension	Atomizer geometry
Aspiration (%)	Solvent point boiling	
Pressure		
Type of gas		

ที่มา : ดัดแปลงจาก Sosnik และ Seremeta (2015)

2.3.7 ประโยชน์ของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเคมี เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมอาหาร โดยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับกระบวนการทำแห้งแบบดั้งเดิม พบว่ามีความแตกต่างกันดังตารางที่ 2.8 อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห้งแบบแช่เยือกแข็ง ยังพบว่ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นใช้ระยะเวลาสั้นกว่า และมีราคาถูกกว่ามากถึง 30 – 50 เท่า และเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นยังสามารถหาได้อย่างง่ายดาย และยังมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าวิธีการทำแห้งวิธีอื่นๆ อีกด้วย (Sosnik และ Seremeta, 2015; Gharsallaoui และคณะ, 2007)

จากตารางที่ 2.8 จะเห็นได้ว่ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นมีขั้นตอนการทำที่ง่าย สามารถทำการผลิตได้ต่อเนื่อง มีความรวดเร็วในการแปรรูปอาหาร สามารถทำการผลิตซ้ำได้ รวมไปถึงยังมีต้นทุนต่ำ สามารถใช้ได้อย่างคุ้มค่า และยังสามารถควบคุมการเสื่อมเสียของสารประกอบที่ไวต่อความร้อน หรือไม่ทนร้อนได้อีกด้วย

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยกับกระบวนการทำแห้งแบบดั้งเดิม

Characteristics of the process	**Production methods**	
	Spray drying	**Conventional methods**
Steps	Single-step	Multi-steps
Continuity	Continuous	No-continuous
Speed	High	Medium to low
Reproducibility	High	Medium
Scalability	Easy	Difficult
Final drying step	Not required	Required
Cost-effectiveness	High	Low
Versatility	High	Medium to low
Manipulation of heat-sensitive or labile substances with negligible degradation	Yes	Sometimes
Encapsulation efficiency of drugs within polymeric carriers	High	Depends on the characteristics of drugs and polymers

ที่มา : ดัดแปลงจาก Sosnik และ Seremeta (2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Simon-Brown และคณะ (2016) ได้ทำการศึกษาผลของการทำ Microencapsulation สารสกัดจากขิงโดยใช้สารห่อหุ้ม คือ มอลโตเด็กซ์ตริน ต่อ กัมอารบิก ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (4:1, 1:4, 5:0 และ 0:5 กรัม:กรัม) และทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 160 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าการทำ microencapsulation โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยส่งผลทำให้ปริมาณ 6-gingerol ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดน้อยลง หรืออาจกล่าวในอีกนัยหนึ่งว่าไม่สามารถปกป้องการเสื่อมเสียได้ และพบว่าขิงสกัดแห้งที่ได้จากการใช้อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตริน ต่อ กัมอารบิก (1:4 และ 0:5 กรัม:กรัม) มีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่าอีก 2 อัตราส่วน รวมทั้งอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตริน ต่อ กัมอารบิก (4:1 และ 5:0 กรัม:กรัม) มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ดีกว่าอีก 2 อัตราส่วนอีกด้วย

Santiago-Adame และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาผลของการทำ microencapsulation ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการชงอบเชยด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จากนั้นนำมาผสมกับสารละลายมอลโตเด็กซ์ตริน ความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร และนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 3 ระดับ ประกอบด้วย 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 2 ระดับ ประกอบด้วย 8 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH โดยใช้สารอนุมูลอิสระ คือ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ลักษณะทางสัณฐานวิทยา รวมทั้งคุณสมบัติทางรีโอโลยี พบว่าผงอบเชยที่ได้รับจากอุณหภูมิ 160 และ 180 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 10 มิลลิลิตรต่อนาที ได้ปริมาณผลผลิต และสามารถปกป้องสารประกอบที่สำคัญของผงอบเชยได้ดีที่สุด

Mishra และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาผลของระดับความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิอากาศขาเข้าในระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ amla (*Emblica officinalis*) juice powder ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และระดับความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินมีผลต่อปริมาณความชื้น และการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบว่าการเพิ่มระดับอุณหภูมิอากาศขาเข้า และระดับความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินยังมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดต่ำลง และขนาดอนุภาคผงมีขนาดเล็กลงเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้นอีกด้วย โดยพบว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 175 องศาเซลเซียส และใช้ระดับความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินที่ร้อยละ 7 พบว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีการดูดความชื้นต่ำ และมีสีที่ยอมรับได้ รวมไปถึงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tonon และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสภาวะการผลิตโดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของอาคาอิ (acai) (*Euterpe oleraceae* Mart.) โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิอากาศขาเข้า ที่ช่วงอุณหภูมิ 138 ถึง 202 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการป้อนสาร ที่ช่วงอัตราเร็ว 5 ถึง 25 กรัมต่อมิลลิลิตร และระดับความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตริน ที่ช่วงระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 ถึง 30 จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีผลต่อปริมาณความชื้น และปริมาณผลผลิตโดยให้ผลในทิศทางที่ดีเมื่อมีการเพิ่มระดับของปัจจัยให้สูงขึ้น ในขณะที่อัตราเร็วในการป้อนสารให้ผลในทิศทางที่ไม่ดีเมื่อมีการเพิ่มระดับของปัจจัยอันเนื่องมาจากผลของการถ่ายโอนพลังงาน และความร้อน โดยผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิต และการดูดความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ทำให้ปริมาณความชื้น และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ต่ำลง และพบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสาร และระดับความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินให้ผลในทิศทางที่ไม่ดี

Caliskan และ Dirim (2013) ได้ทำการศึกษาผลของสภาวะการทำแห้ง และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินในระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อสารสกัด sumac (*Rhus coriaria* L.) โดยทำการศึกษาอุณหภูมิอากาศขาเข้า และปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส และปริมาณของแข็งร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 น้ำหนักต่อน้ำหนัก จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า มอลโตเด็กซ์ตริน และอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า กับมอลโตเด็กซ์ตรินเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลทำให้คุณสมบัติต่างๆ เช่น ความชื้น วอเตอร์ แอคทิวิตี้ เถ้า คุณลักษณะด้านสี ความหนาแน่นโดยรวม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ รวมไปถึงโครงสร้างจุลภาคของอนุภาคผงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Phoungchandang และ Sertwasana (2010) ได้ศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำขิงที่ได้จากการบีบอัด และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของขิงผงที่ได้ โดยศึกษาผลของปัจจัยในการทำแห้งต่างๆ เช่น มอลโตเด็กซ์ตริน ลิควิด กลูโคส (liquid glucose) และอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ขิงผงที่ได้ จากการทดลองพบว่าปริมาณความชื้น วอเตอร์ แอคทิวิตี้ ความหนาแน่นโดยรวม การดูดกลืนน้ำกลับ คุณลักษณะด้านสี และปริมาณสารประกอบ 6-gingerol มีการลดลง เมื่อเพิ่มระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้า ผลการทดลองสรุปได้ว่าการใช้ลิควิด กลูโคส ความเข้มข้นร้อยละ 5 และอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 120 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ขิงผงมีคุณสมบัติดีที่สุด และมีปริมาณสาร 6-gingerol สูงที่สุด

Kha และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงฟักข้าว (*Momordica cochinchinensis*) (Gac fruit aril powder) โดยศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 120, 140, 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส และการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 20 และ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ผลการศึกษาพบว่าทั้ง 2 ปัจจัยที่ทำการศึกษามีผลต่อปริมาณความชื้น ความหนาแน่นโดยรวม คุณลักษณะด้านสี รวมไปถึงปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 120 องศาเซลเซียส และใช้ความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 10 น้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าผงฟักข้าวมีคุณภาพดีที่สุดในแง่ของคุณลักษณะด้านสี ปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

1. ขิงผง	บริษัทเอกชน, ไทย
2. มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) DE:20	Brenntag, ไทย

3.1.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์

1. สารละลายเอทานอล เข้มข้นร้อยละ 95	TS Interlab, ไทย
2. สารละลายเมทานอล เข้มข้นร้อยละ 95	Lab-scan, ไอร์แลนด์
3. สารละลายโฟลินซิโอคาลโช (Folin-Ciocalteau reagent)	Carlo Erba, อิตาลี
4. โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na_2CO_3)	Ajax Finechem, ออสเตรเลีย
5. โซเดียมไนไตรท์ (sodium nitrite, $NaNO_2$)	Merck, เยอรมนี
6. อลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminium chloride, $AlCl_3$)	Sigma-Aldrich, เยอรมนี
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH)	Carlo Erba, อิตาลี
8. ดีพีพีเอช (DPPH, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)	Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา
9. โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (potassium persulfate, $K_2S_2O_8$)	Ajax Finechem, ออสเตรเลีย
10. เอบีทีเอส (ABTS, 2,2′-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline -6-sulfonic acid) diammonium salt)	Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา

สารมาตรฐาน

11. กรดแกลลิก (gallic acid, 3,4,5-Trihydroxybenzoic acid monohydrate)	Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. รูติน (rutin, $C_{27}H_{30}O_{16}.3H_2O$) Acros, สหรัฐอเมริกา
13. บีเอชเอ (BHA, Butylated hydroxyanisole) Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา
14. โทรล็อกซ์ (trolox, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) Sigma-Aldrich, สหรัฐอเมริกา

3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง รุ่น SI-234 Denver Instrument, เยอรมนี
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง รุ่น ARC120 Ohaus, สหรัฐอเมริกา
3. เครื่องร่อนตะแกรง Restch, เยอรมนี
4. เครื่องเขย่าด้วยแรงกล (mechanical shaker) Gerhart, เยอรมนี
5. เครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน รุ่น Universal 320 (centrifuge) Hettich, เยอรมนี
6. เครื่องกรองสุญญากาศ ABM Greiffenberger, เยอรมนี
7. เครื่องระเหยสุญญากาศ รุ่น R-200 (rotary evaporator) Buchi, ญี่ปุ่น
8. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย รุ่น SDE-5 (spray dryer) Euro Best Technology, ไทย
9. เครื่องผสมสาร รุ่น SI-0236 (vortex mixer) Scientific Industries, สหรัฐอเมริกา
10. เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ รุ่น T25 Ultra-Turrax (homogenizer) IKA, เยอรมนี
11. เครื่องวัดวอเตอร์ แอคทิวิตี้ รุ่น 4TE (water activity meter) Aqualab, สหรัฐอเมริกา
12. เครื่องวัดสี (color meter) รุ่น ColorQuest XE HunterLAB, สหรัฐอเมริกา
13. เครื่อง UV-Visible spectrophotometer รุ่น UV 1601 Shimadzu, ญี่ปุ่น
14. ตู้เย็น รุ่น WRN-S423 Whirlpool, เกาหลี
15. ตู้แช่เยือกแข็ง รุ่น SNH-0203D41C Sanden Intercool, ไทย
16. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) Binder, เยอรมนี
17. ออโตปิเปต (autopipette) ขนาด 20 – 200 ไมโครลิตร Daihan Scientific, ไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. ออโตปิเปต (autopipette) Daihan Scientific, ไทย
ขนาด 100 – 1000 ไมโครลิตร
19. เครื่องวัดขนาดและการกระจายตัว Malvern, อังกฤษ
รุ่น Mastersizer 3000 (laser particle size distribution analyzer)
20. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Jeol, ญี่ปุ่น
(scanning electron microscope) รุ่น JSM-6400

3.2.2 วัสดุอุปกรณ์

1. กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1
2. ถ้วยอลูมิเนียม
3. โถดูดความชื้น (dessicator)

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

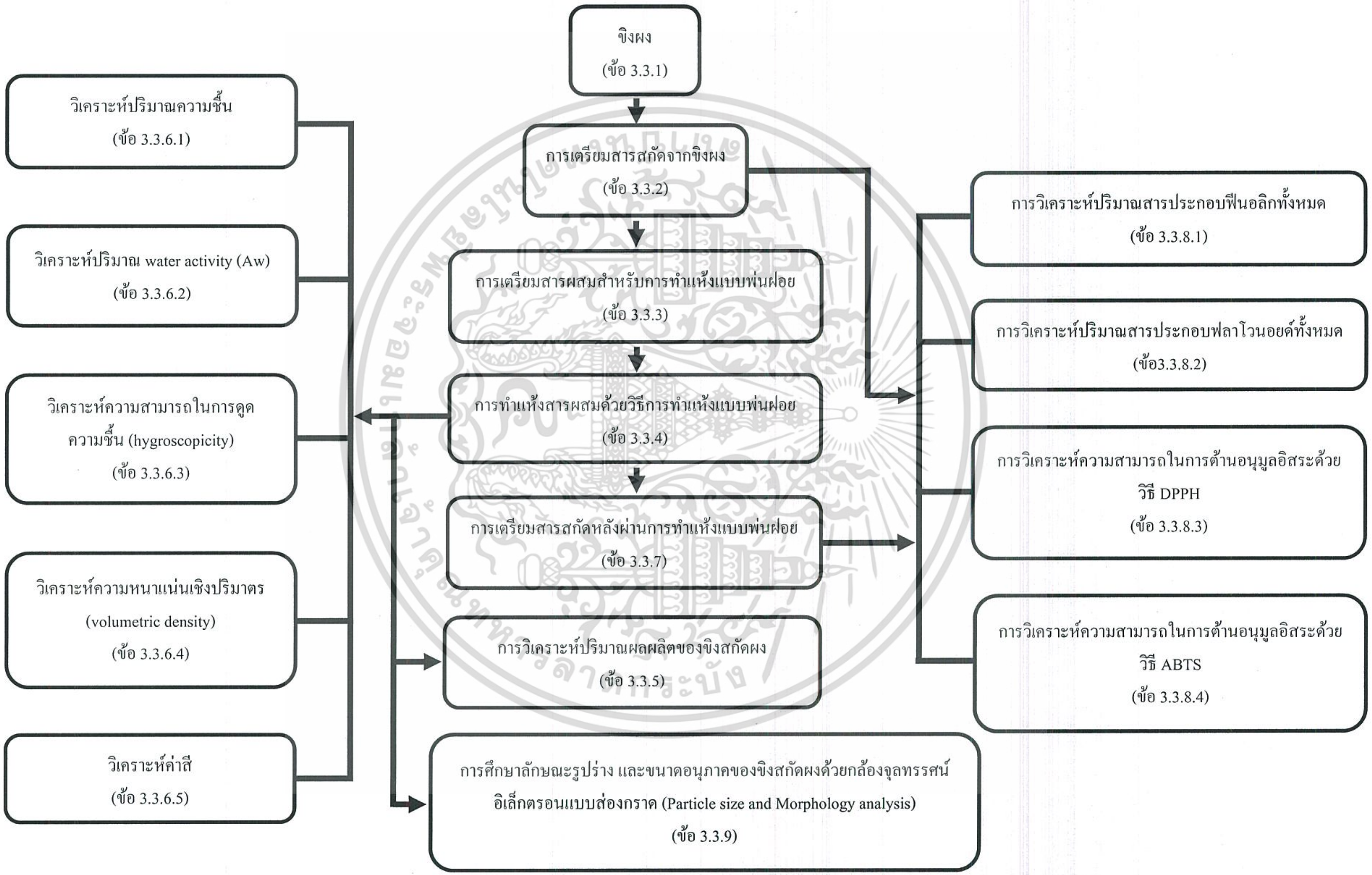
3.3.1 การเตรียมวัตถุดิบขิงผง

ขิงผง ร่อนด้วยเครื่องร่อนตะแกรงให้ได้ขนาด 60 mesh จากนั้นบรรจุลงในภาชนะบรรจุที่เป็นถุงฟอยด์สีเงินที่สะอาด และปิดสนิท เก็บไว้ในที่แห้ง ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อรอการทดลองในขั้นตอนต่อไป โดยมีแผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.1

3.3.2 การเตรียมสารสกัดจากขิงผง

เตรียมสารละลายเอทานอล ที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 (ปริมาตรต่อปริมาตร) (ภาคผนวก ข.1) จากนั้นนำขิงผง มาทำการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยใช้ขิงผงที่ได้จากข้อ 3.3.1 ต่อสารละลายเอทานอลเป็นสัดส่วน 1 ต่อ 4 ใส่ลงในฟลาสก์รูปชมพู่ แล้วทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยแรงกล (mechanical shaker) ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด นำสารละลายไปแยกตะกอนออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และทำการกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 (Adel และ Prakash, 2010) และระเหยจนกระทั่งสารละลายเอทานอลระเหยออกไปจนหมดด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (Chari และคณะ, 2013) แล้วนำสารสกัดที่สกัดได้ นำไปตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในข้อ 3.3.8 และใช้ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การเตรียมสารผสมสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ในการเตรียมสารผสม นำมอลโตเด็กซ์ตริน (DE:20) 340 กรัม มาละลายในน้ำกลั่น 1326 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำสารสกัดจากขิงที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 ปริมาณ 34 กรัม ผสมกับ มอลโตเด็กซ์ตริน (DE:20) ที่ละลายในน้ำกลั่นแล้ว จะได้สารผสมที่มีสัดส่วนของสารสกัดจากขิง ต่อ มอลโตเด็กซ์ตริน ต่อ น้ำกลั่น เป็นสัดส่วนร้อยละ 2 ต่อ 20 ต่อ 78 หรือมีปริมาณของแข็งร้อยละ 22 จากสารผสมทั้งหมด จากนั้นทำให้สารผสมเป็นเนื้อด้วยกัน (homogenized) ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ที่ความเร็วรอบ 19000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำสารผสมที่ผ่านการทำให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว (homogenous) ไปทำแห้งแบบพ่นฝอยในขั้นตอนต่อไป

3.3.4 การทำแห้งสารผสมด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ทำแห้งสารผสมที่ได้จากข้อ 3.3.3 โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย กำหนดสภาวะการทำแห้ง ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 3 ระดับ คือ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที (ตารางที่ 3.1) อุณหภูมิอากาศขาออก 75±1, 80±1 และ 85±1 องศาเซลเซียส ตามลำดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราเร็วของลม (blower speed) 42 รอบต่อนาที แรงดันของท่อส่งสารผสม 0.1 เมกะปาสคาล และแรงดันของท่อ hammer 0.3 เมกะปาสคาล จากนั้นทำการเก็บขิงสกัดผงที่ได้ลงในถุงพลาสติกร้อน ชนิด PP (polypropylene) ปิดสนิท ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ และเก็บลงในโถดูดความชื้น (desiccator) ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 3.1 สภาวะของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ทำการศึกษา

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิอากาศขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราเร็วในการป้อนสาร (มิลลิลิตรต่อนาที)
1	130	15
2	130	20
3	130	25
4	150	15
5	150	20
6	150	25
7	170	15
8	170	20
9	170	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผง

วิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยวิเคราะห์เป็นร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งได้จากสมการที่ 3.1 (ภาคผนวก ค.1)

$$\text{ร้อยละของปริมาณผลผลิต} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งที่ได้ (กรัม)} \times 100}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารผสม (กรัม)}} \quad (3.1)$$

3.3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของขิงสกัดผง

3.3.6.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยใช้วิธีของ AOAC 930.15 (AOAC, 1999) ชั่งน้ำหนักขิงสกัดผง ปริมาณ 2 กรัม ลงในถ้วยอลูมิเนียม และกระจายตัวอย่างให้เหมาะสม จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 135±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดเก็บลงในโถดูดความชื้น (desiccator) และคำนวณหาความชื้นจากน้ำหนักที่หายไป ดังสมการที่ 3.2 (ภาคผนวก ข.2 และ ง.2)

$$\underset{\text{(น้ำหนักฐานเปียก)}}{\text{ร้อยละของความชื้น}} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักขิงสกัดผงก่อนและหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักของขิงสกัดผงก่อนอบ}} \quad (3.2)$$

3.3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณวอเตอร์ แอคทิวิตี้ (water activity, A_w)

วิเคราะห์ปริมาณวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงที่ได้ โดยใช้เครื่องวัดวอเตอร์ แอคทิวิตี้ (water activity meter) ยี่ห้อ Aqualab รุ่น 4TE (ภาคผนวก ข.3)

3.3.6.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดความชื้น (hygroscopicity)

วิเคราะห์ความสามารถในการดูดความชื้น โดยใช้วิธีของ Cai และ Corke (2000) โดยการชั่งน้ำหนักขิงสกัดผง ปริมาณ 1.5 กรัม จากนั้นเก็บลงในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่บรรจุด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่อิ่มตัว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อศึกษาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป โดยรายงานผลของความสามารถในการดูดความชื้นในหน่วยกรัมของความชื้นที่ถูกดูดซึมต่อ 100 กรัมของขิงสกัดผง (ภาคผนวก ข.4 และ ง.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6.4 การวิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (volumetric density)

วิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผง โดยใช้วิธีดัดแปลงของ Papadakis และคณะ (2006) โดยการนำขิงสกัดผง ปริมาณ 30 กรัม ใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปิดปากกระบอกตวงแล้วทำการเขย่าขึ้นลงด้วยความสูง 10 เซนติเมตร เป็นจำนวน 100 ครั้ง หลังจากนั้นทำการคำนวณความหนาแน่นโดยรวมจากมวลของขิงสกัดผงหารด้วยปริมาตรสุดท้ายที่วัดได้จากกระบอกตวง (ภาคผนวก ก.1 และ ค.4)

3.3.6.5 การวิเคราะห์ค่าสี

วัดค่าสีของขิงสกัดผงที่ได้ โดยใช้วิธีของ Simon-Brown และคณะ (2016) โดยรายงานผลในรูปแบบ CIELAB colour scales L^*, a^* และ b^* เมื่อ L^* คือ ระดับของความสว่าง a^* คือ ระดับของความมีสีแดงถึงสีเขียว และ b^* คือ ระดับของความมีสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน และนำค่า L^*, a^* และ b^* ที่ได้มาคำนวณหาค่า Chroma และ Hue ดังสมการที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ (ภาคผนวก ก.2 และ ค.5)

$$\text{Chroma} = [(a*)^2 + (b*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1}(\frac{b*}{a*}) \quad (3.4)$$

3.3.7 การเตรียมสารสกัดหลังผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย

นำขิงสกัดผง ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย ข้อ 3.3.3 ทำการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยใช้ขิงสกัดผงต่อสารละลายเอทานอล เป็นสัดส่วน 1 ต่อ 4 ใส่ลงในฟลาสก์รูปชมพู่ แล้วทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยแรงกล (mechanical shaker) ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด นำสารละลายไปแยกตะกอนออกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน ที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และทำการกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 (Adel และ Prakash, 2010) และระเหยจนกระทั่งสารละลายเอทานอล ระเหยออกไปจนหมดด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (Chari และคณะ, 2013) แล้วนำสารสกัดที่สกัดได้มาใช้ในการศึกษาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3.3.8.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ได้ใช้วิธีของ Chari และคณะ (2013) โดยนำสารสกัดจากขิงที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 และสารสกัดที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.7 มาทำการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteau ในการทดลองใช้สารสกัดจากขิงที่สกัดได้ นำมาปรับสัดส่วนให้ได้ 1 ต่อ 10 ด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 จากนั้นดูดสารสกัดที่ปรับสัดส่วนแล้วปริมาตร 0.2 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลอง ตามด้วยสารละลาย Folin-Ciocalteau reagent (ที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้สัดส่วน 1 ต่อ 10) ลงไป 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 4 นาที เมื่อครบเวลาแล้วใส่สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 75 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลงไป 0.8 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร และใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน และนำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้จากตัวอย่างมาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสารสกัดที่ได้ต่อไป โดยรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด (ภาคผนวก ข.5 และ ค.6)

3.3.8.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

นำสารสกัดจากขิงที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 และสารสกัดที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.7 มาทำการเจือจางให้ได้ระดับการเจือจางที่เหมาะสม และใช้วิธีของ Jelled และคณะ (2015) ในการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด โดยการดูดสารสกัดจากขิงที่ทำการเจือจางที่ระดับต่างๆ แล้ว ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายโซเดียมไนไตรท์เข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 นาที จากนั้นดูดสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 6 นาที และตามด้วยดูดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด ผสมให้เข้ากันด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 5.4 มิลลิลิตร และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และใช้รูตินเป็นสารมาตรฐาน และนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่างมาคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจากสารสกัดที่ได้ต่อไป โดยรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของรูตินต่อกรัมของสารสกัด (ภาคผนวก ข.6 และ ค.7)

3.3.8.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช (DPPH)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช ได้ใช้วิธีของ Abdou (2011) โดยนำสารสกัดจากขิงที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 และสารสกัดที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.7 มาศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช โดยการดูดสารสกัดจากขิงที่ทำการเจือจางที่ระดับต่างๆ แล้ว ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และตามด้วยสารละลายดีพีพีเอช ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง จากนั้นผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และใช้บีเอชเอ (standard BHA) เป็นสารมาตรฐาน จากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้จากตัวอย่างมาคำนวณหาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity, RSA) โดยใช้สมการที่ 3.5 โดยรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของสารมาตรฐานบีเอชเอต่อกรัมของสารสกัด (ภาคผนวก ข.7 และ ค.8)

$$\%RSA = 1 - \frac{\text{Sample absorbance}}{\text{Blank absorbance}} \times 100 \qquad (3.5)$$

3.3.8.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีเอบีทีเอส (ABTS)

นำสารสกัดจากขิงที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2 และสารสกัดที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.7 มาศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีเอบีทีเอส โดยดัดแปลงวิธีการจากวิธีการของ Sogi และคณะ (2013) เริ่มต้นที่การเตรียมสารละลายเอบีทีเอส ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ โดยละลายลงในน้ำกลั่น เมื่อเตรียมสารละลายเอบีทีเอส ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการผสมกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 0.5 จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 12 ถึง 16 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายสร้างอนุมูลเอบีทีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ABTS$^{\bullet+}$ working solution) นำสารละลาย ABTS$^{\bullet+}$ working solution มาทำการเจือจาง และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนแสงจะต้องอยู่ในช่วง 0.70±0.02 จึงจะนำมาใช้งานต่อไป จากนั้นดูดสารละลาย ABTS$^{\bullet+}$ working solution ปริมาตร 3.6 มิลลิลิตร ผสมลงในหลอดทดลองที่มีสารสกัดจากขิงที่ระดับการเจือจางต่างๆ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร และใช้โทรล็อกซ์เป็นสารมาตรฐาน จากนั้นนำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้จากตัวอย่างมาคำนวณหาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (radical scavenging activity, RSA) โดยใช้สมการที่ 3.6 โดยรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ต่อกรัมของสารสกัด (ภาคผนวก ข.8 และ ค.8)

$$\%RSA = 1 - \frac{\text{Sample absorbance}}{\text{Blank absorbance}} \times 100 \qquad (3.6)$$

3.3.9 การศึกษาลักษณะรูปร่าง และขนาดอนุภาคของขิงสกัดผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Particle size and Morphology analysis)

ทำการศึกษาลักษณะรูปร่าง และโครงสร้างของขิงสกัดผง ได้ทำการส่งตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (The Scientific and Technological Research Equipment Centre, STREC) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) รุ่น JSM-6400 และศึกษาหาขนาดอนุภาคของขิงสกัดผงที่ได้ โดยใช้เครื่องวัดขนาดและการกระจายตัวของตัวอย่าง (laser particle size distribution analyzer) รุ่น Mastersizer 3000 โดยอาศัยแสงเลเซอร์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของตัวอย่าง (ภาคผนวก ก.3 และ ก.4)

3.3.10 การวางแผนการทดลอง และวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองทุกการทดลองทำซ้ำอย่างน้อย 3 ซ้ำ (triplicates) และทำซ้ำการทดลองทั้งหมดอย่างน้อย 3 ซ้ำของการทดลอง ($n \geq 3$)

ศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต ปริมาณความชื้น วอเตอร์ แอคทิวิตี้ ความสามารถในการดูดความชื้น ความหนาแน่นเชิงปริมาตร ค่าสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธี โดยวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนการทดลองแบบ 3^2 Factorial in CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้ โดยใช้วิธี DMRT (Duncan's Multiple-Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อขนาดของอนุภาค โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้ โดยใช้วิธี DMRT (Duncan's Multiple-Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

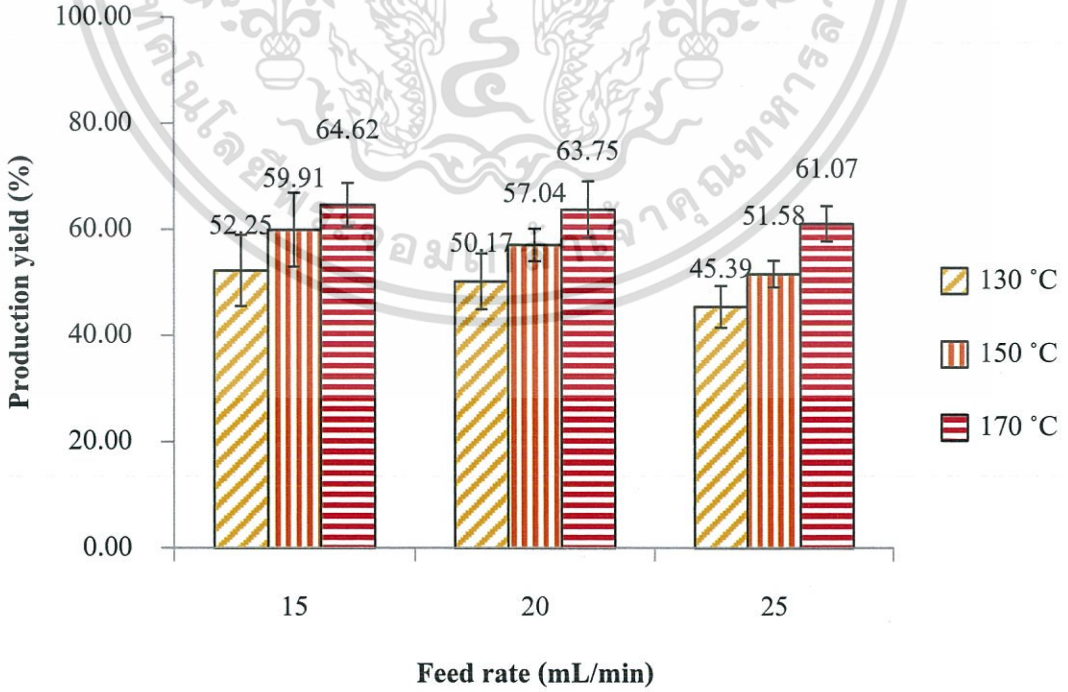
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผง

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.1 แสดงถึงผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผง พบว่าทั้งอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการทดลองได้ปริมาณผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 45.39±3.95 ถึง 64.62±4.15 โดยพบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที ได้ปริมาณผลผลิตอยู่ที่ร้อยละ 45.39±3.95 ซึ่งเป็นปริมาณผลผลิตต่ำที่สุด และที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที ได้ปริมาณผลผลิตอยู่ที่ร้อยละ 64.62±4.15 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับนี้ มีผลต่อกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับขิงสกัดผง โดยทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับอื่นๆ



ภาพที่ 4.1 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ของขิงสกัดผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาผลการทดลองในส่วนของอุณหภูมิอากาศขาเข้าอื่นๆ ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 3 ระดับ ประกอบด้วย 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส มีปริมาณผลผลิตต่ำที่สุด แต่พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าเป็น 150 และ 170 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้น มีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศขาเข้า มีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งคาดว่าเกิดจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง ทำให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวล และความร้อนสูง ส่งผลให้ขิงสกัดผงแห้งอย่างรวดเร็ว จึงช่วยลดการเกาะติดของขิงสกัดผงบนผนังด้านในของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่วนที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ใช้สำหรับการทดลองนี้ พบว่าให้ปริมาณผลผลิตต่ำที่สุด อันเนื่องมาจากการถ่ายเทมวล และความร้อนของการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ มีประสิทธิภาพไม่ดีเหมือนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้ระเหยน้ำออกจากขิงสกัดผงได้ไม่ดีเท่าการใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง จึงทำให้ขิงสกัดผงยังคงมีปริมาณน้ำที่สูง ทำให้ขิงสกัดผงที่มีความชื้นสูงอยู่ เกิดการเกาะติดที่ผนังด้านในของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ง่ายกว่า และส่งผลทำให้ปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงลดต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fazaeli และคณะ (2012) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผงแบล็คเบอรี่ โดยพบว่าการใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงมีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตที่สูง และลดโอกาสที่ผลิตภัณฑ์ผงจะเกิดการเกาะติดกับผนังด้านในของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ในส่วนของอัตราเร็วในการป้อนสารที่ทำการศึกษา ซึ่งได้ทำการศึกษาที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 3 ระดับ ประกอบด้วย 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าการใช้อัตราเร็วในการป้อนสารที่ 25 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำ ในขณะที่เมื่อใช้อัตราเร็วในการป้อนสารที่ 15 มิลลิลิตรต่อนาที ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงสูงกว่า จึงสามารถกล่าวได้ว่าอัตราเร็วในการป้อนสารในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน โดยพบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ (15 มิลลิลิตรต่อนาที) มีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตที่สูง ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่ใช้อัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ ทำให้สารผสมนั้นสัมผัสกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้เป็นระยะเวลานานกว่าการใช้อัตราเร็วในการป้อนสารสูง ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกไปมากกว่า จึงไม่เกิดการเกาะติดกับผนังด้านในของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงกว่า ในขณะที่การใช้อัตราเร็วในการป้อนสารสูงทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวล และความร้อนไม่ดี ส่งผลให้สารผสมที่สัมผัสกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นเกิดการระเหยของน้ำออกได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ หรืออาจกล่าวได้ว่าสามารถระเหยน้ำออกจากสารผสมได้ช้ากว่า อันเนื่องมาจากอัตราเร็วในการป้อนสารสูงทำให้สารผสมสัมผัสกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพียงระยะเวลาสั้น จึงเป็นผลทำให้ขิงสกัดผงที่ได้นั้นไม่สามารถถูกทำให้แห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มีการเกาะติดของขิง

เอกสาร ... ค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกัดผงภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นผลทำให้ปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงลดลงได้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tonon และคณะ (2008) โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสภาวะของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผงอาคาอิเบอรี่ (acai berry) โดยพบว่าจากการทดลองเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสารให้สูงขึ้น มีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำลง เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารจึงสามารถกล่าวได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า และลดอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เมื่อลดอุณหภูมิอากาศขาเข้า และเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงลดต่ำลง

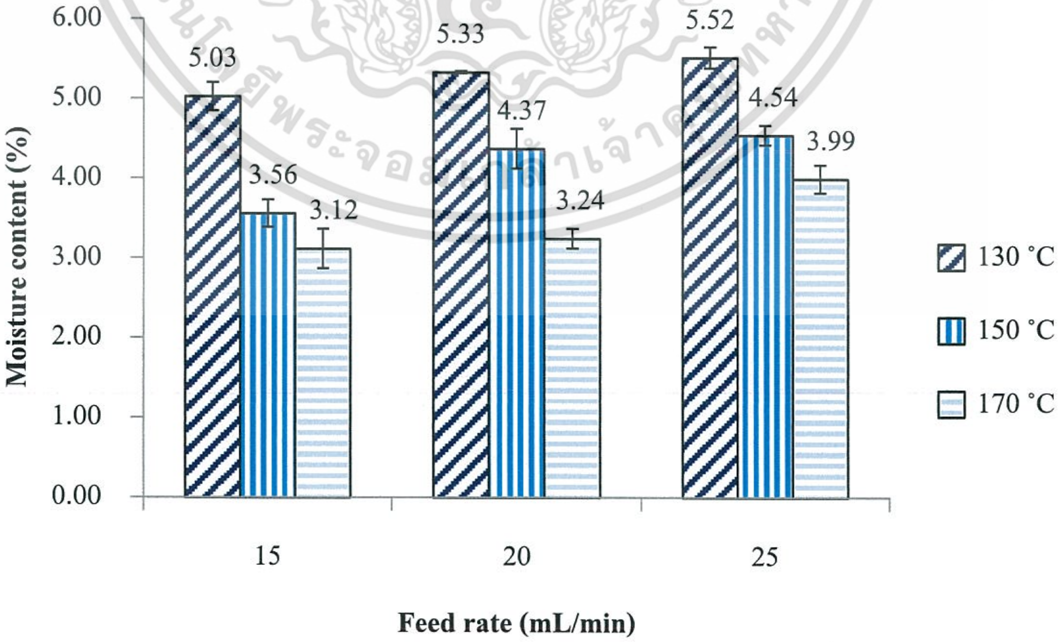
4.2 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณความชื้น และวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผง

ปริมาณความชื้นบ่งบอกถึงองค์ประกอบที่เป็นน้ำทั้งหมดในอาหาร (Quek และคณะ, 2007; Kha และคณะ, 2010) จากผลการทดลองดัง ภาพที่ 4.2 แสดงถึงผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อปริมาณความชื้นของขิงสกัดผง พบว่าทั้งอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า ขิงสกัดผงที่ได้นั้นมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 3.12±0.25 ถึง 5.52±0.13 จากการใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้า 3 ระดับ ประกอบด้วย 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าให้สูงขึ้นขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณความชื้นลดลง โดยขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วในการป้อนสารทั้ง 3 ระดับ พบว่ามีปริมาณความชื้นสูงที่สุด คือ ร้อยละ 5.03±0.18, 5.33±0.01 และ 5.52±0.13 ซึ่งสูงกว่าขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วในการป้อนสารทั้ง 3 ระดับ แต่เมื่อเพิ่มระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้าเป็น 150 และ 170 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณความชื้นในขิงสกัดผงลดลง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีผลต่อปริมาณความชื้นของขิงสกัดผง โดยเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศขาเข้า ทำให้อากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยสัมผัสกับสารผสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยส่งผลให้ปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงลดต่ำลง เนื่องจากที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ระดับสูงนั้น มีผลทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า และทำให้สามารถกำจัดน้ำออกจากสารผสมได้รวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ระดับต่ำ ส่งผลทำให้ขิงสกัดผงที่ได้นั้นมีปริมาณความชื้นต่ำ จากผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่มีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์นั้นมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tonon และคณะ (2008), Kha และคณะ (2010), Fazaeli และคณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2012) และ Caliskan และ Dirim (2013) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าแล้วนั้น ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณความชื้นลดลง

สำหรับอัตราเร็วในการป้อนสาร พบว่ามีผลทำให้ปริมาณความชื้นในขิงสกัดผงที่ได้ มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น โดยเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ระดับเดียวกัน แต่ใช้อัตราเร็วในการป้อนสารที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้จากอัตราเร็วในการป้อนสารที่แตกต่างกัน โดยพบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที ขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณความชื้นสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิระดับเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นอัตราเร็วที่สูงสุดในการทดลองนี้ ทำให้สารผสมสัมผัสกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพียงระยะเวลาสั้น ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนน้อยลง จึงทำให้มีการระเหยของน้ำออกจากสารผสมลดน้อยลง ส่งผลให้ขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณความชื้นสูง ในขณะที่เมื่อใช้อัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ ทำให้สารผสมสัมผัสกับอากาศร้อนได้ทั่วถึง เป็นระยะเวลานานมากขึ้น ทำให้น้ำระเหยออกไปได้มากกว่าเนื่องจากที่อัตราเร็วในการป้อนสารต่ำมีประสิทธิภาพในการทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับสารผสมได้มากกว่า จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ขิงสกัดผงที่ได้มีความชื้นหลงเหลืออยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่า ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tonon และคณะ (2008) ได้กล่าวว่าอัตราเร็วในการป้อนสารนั้นมีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง โดยพบว่ายิ่งใช้อัตราเร็วในการป้อนสารสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความชื้นสูงมากขึ้น



ภาพที่ 4.2 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณความชื้นของขิงสกัดผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารร่วมกัน จึงพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง และอัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ ดังเช่น อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้ได้ขิงสกัดผงที่มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 3.12±0.25 แต่พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ และอัตราเร็วในการป้อนสารสูง ดังเช่น อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้ขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณความชื้นหลงเหลืออยู่ร้อยละ 5.52±0.13 ซึ่งพบว่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่นๆ ที่ทำการศึกษา

ในขณะที่วอเตอร์ แอคทิวิตี้ (A_w) บ่งบอกถึงปริมาณน้ำอิสระที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผง ถ้าผลิตภัณฑ์ผงมีค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้สูง บ่งบอกถึงปริมาณน้ำอิสระมีอยู่ในผลิตภัณฑ์ผงในปริมาณที่สูง ซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี อันจะนำมาซึ่งการลดลงของอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผงได้ โดยจากผลการทดลอง ขิงสกัดผงที่ได้มีค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ที่ต่ำกว่า 0.60 ซึ่งเป็นค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีได้ รวมไปถึงเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของอาหารได้ แสดงให้เห็นว่าขิงสกัดผงที่ได้นั้นมีความปลอดภัยจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ (Quek และคณะ, 2007; Kha และคณะ, 2010)

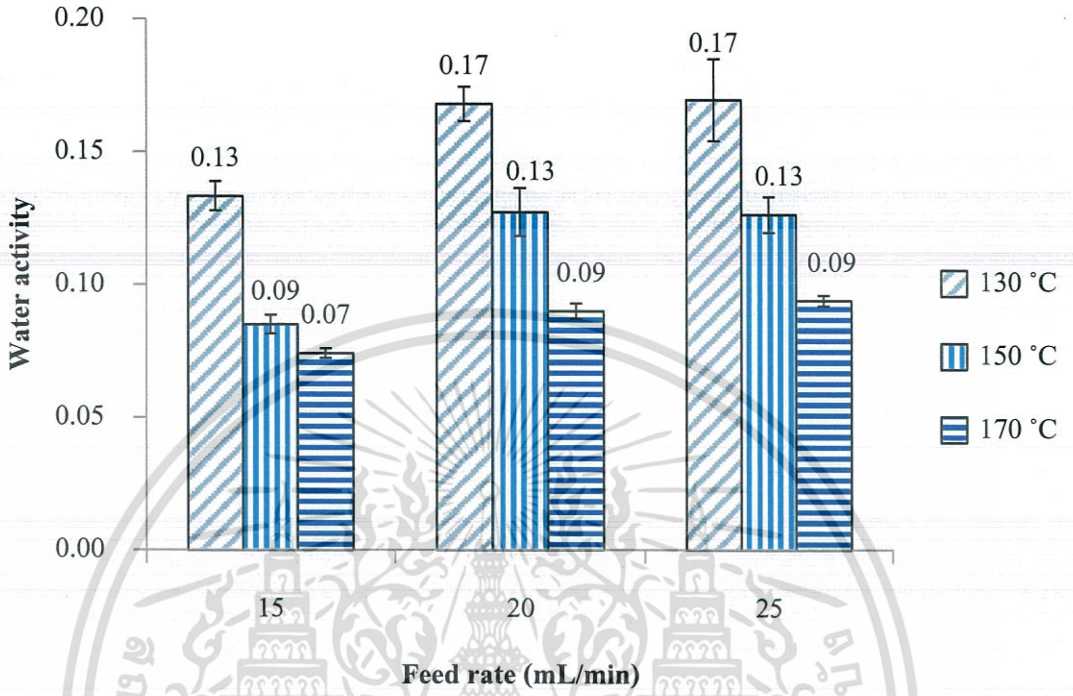
ผลการทดลองในส่วนของค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้แสดงดังภาพที่ 4.3 แสดงถึงผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับต่างๆ พบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสาร มีผลทำให้ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองที่ได้พบว่าขิงสกัดผงมีค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้อยู่ในช่วง 0.09±0.00 ถึง 0.17±0.00

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าให้สูงขึ้น พบว่าขิงสกัดผงที่ได้มีค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ลดต่ำลง และพบว่าเมื่อใช้อัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ ทำให้ขิงสกัดผงที่ได้นั้นมีค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ลดต่ำลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศขาเข้า เป็นผลทำให้เกิดการถ่ายเทมวล และความร้อนได้ดีกว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ โดยให้ผลการทดลองในทิศทางเดียวกับผลการทดลองในส่วนของปริมาณความชื้น เนื่องจากที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง มีผลทำให้น้ำสามารถระเหยออกจากสารผสมได้ดีกว่า จึงทำให้ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงลดต่ำลง

ในขณะเดียวกันอัตราเร็วในการป้อนสารก็มีผลต่อค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้เช่นกัน โดยพบว่าที่อัตราเร็วสูง ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงที่ได้จะมีค่าสูง ในขณะที่อัตราเร็วต่ำ ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงที่ได้จะมีค่าต่ำลง เนื่องจากอัตราเร็วในการป้อนสารสูงของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีผลทำให้สารผสมสัมผัสกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพียง

เอกสารนี้เป็นของ... ห้ามนำไปใช้ในเชิงการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาสั้น ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนไม่ดีเพียงพอที่จะระเหยน้ำออกจากสารผสม เป็นผลทำให้ขิงสกัดผงที่ได้มีค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้สูง



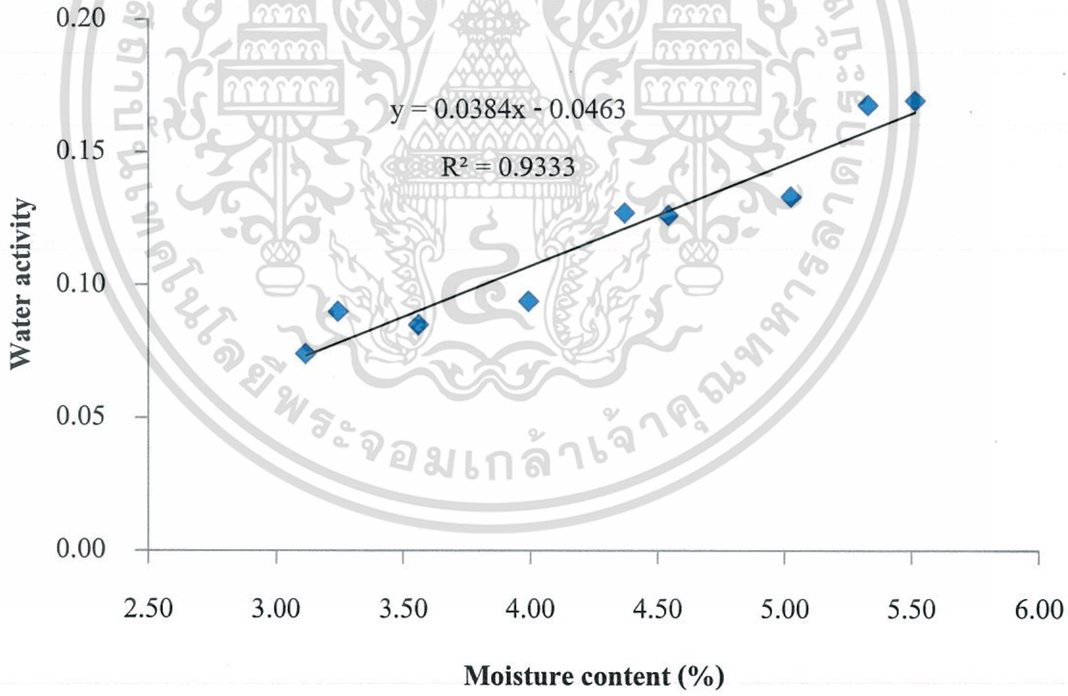
ภาพที่ 4.3 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผง

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารร่วมกัน พบว่ามีส่วนช่วยในการส่งเสริมการลดลงของค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ได้ โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าให้สูงขึ้น และลดอัตราเร็วในการป้อนสารให้ช้าลง มีผลทำให้ได้ขิงสกัดผงที่มีค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ต่ำ จากผลการทดลองที่ได้นี้ มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Silva และคณะ (2014) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของ pulp umbu พบว่าได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกัน ทั้งนี้ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของผู้วิจัยที่ได้นั้นมีค่าต่ำมากถึง 0.07±0.00 ซึ่งได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ 170 องศาเซลเซียส และ 15 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ ทั้งนี้คาดว่าเกิดจากในการทดลองใช้ความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินสูงถึงร้อยละ 20 ซึ่งจากการที่มีปริมาณสัดส่วนของแข็งในสารผสมมากขึ้น เป็นผลทำให้ปริมาณน้ำในสารผสมลดลง จึงทำให้ในระหว่างการทำแห้งนั้น สามารถระเหยน้ำออกไปได้ในปริมาณที่มากกว่ากรณีที่ใช้ความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Quek และคณะ (2007) จึงเป็นผลทำให้ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้มีค่าน้อยกว่าการทดลองอื่นๆ

จะเห็นได้ว่าผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ทำการศึกษา ส่งผลต่อปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผง โดยเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่แตกต่างกัน พบว่าผลการทดลองทั้ง 2 ส่วนนั้นมีความสัมพันธ์กันโดยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า แต่ลดอัตราเร็วในการป้อนสาร ส่งผลให้ปริมาณความชื้น และวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงลดลง ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงก็ลดลงเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และวอเตอร์ แอคทิวิตี้มีความสัมพันธ์กันสูง (R^2 = 0.9333) และเมื่อนำมาทดสอบด้วย Pearson correlation test พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (pearson correlation coefficient) เท่ากับ 0.930 โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าระหว่าง 0.90 ถึง 1.00 จะบ่งบอกถึงระดับความสัมพันธ์ของข้อมูลว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมาก และพบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.000 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้มีความสัมพันธ์กันในทางบวก ในระดับสูงมาก โดยเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน

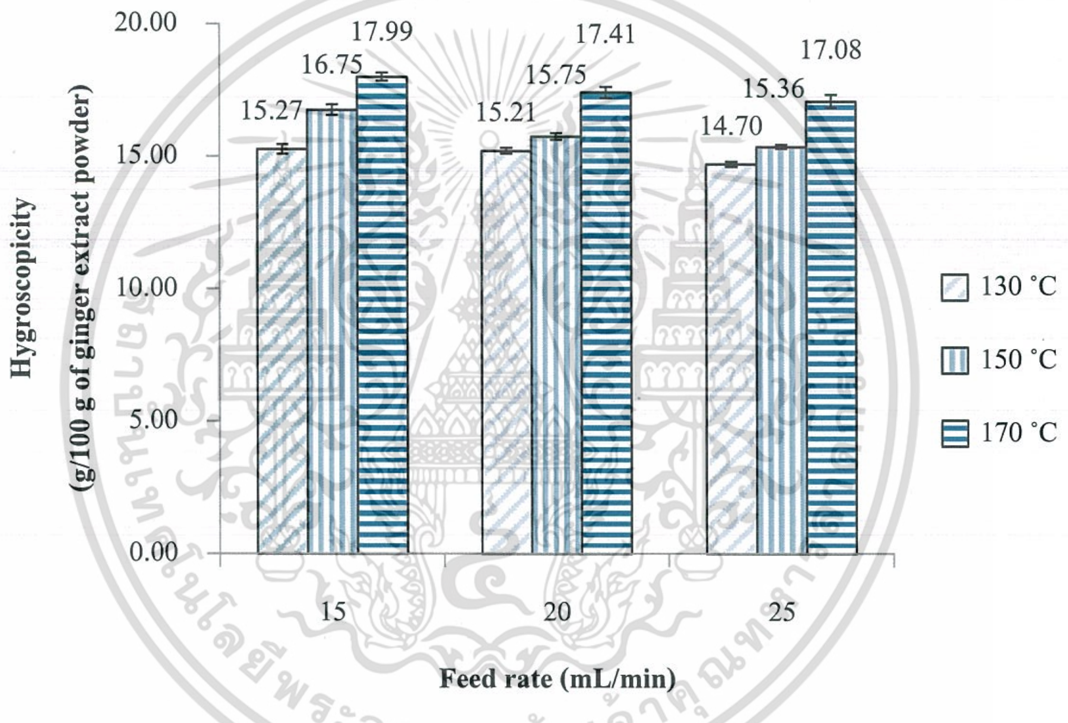


ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อการดูดความชื้นของขิงสกัดผง

มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ ทำให้มีประสิทธิภาพในการเป็นสารห่อหุ้มสำหรับกระบวนการห่อหุ้มสาร (Tonon และคณะ, 2008) จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.5 แสดงถึงผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อการดูดความชื้นของขิงสกัดผง พบว่าทั้งอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้การดูดความชื้นของขิงสกัดผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการผลการทดลองพบว่า ขิงสกัดผงที่ได้นั้นมีค่าการดูดความชื้นอยู่ในช่วง 14.70±0.10 ถึง 17.99±0.15 กรัมของความชื้นที่ถูกดูดซึมต่อ 100 กรัมของขิงสกัดผง



ภาพที่ 4.5 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อการดูดความชื้นของขิงสกัดผง

จากการผลการทดลองพบว่า ในส่วนของอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีผลทำให้ขิงสกัดผงมีความสามารถในการดูดความชื้นแตกต่างกัน โดยพบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง มีผลทำให้ขิงสกัดผงมีความสามารถในการดูดความชื้นสูง ดังเช่นที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ขิงสกัดผงที่ได้มีความสามารถในการดูดความชื้น 17.99±0.15, 17.41±0.21 และ 17.08±0.25 กรัมของความชื้นที่ถูกดูดซึมต่อ 100 กรัมของขิงสกัดผง ในขณะที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ ที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ขิงสกัดผงที่ได้มีความสามารถในการดูดความชื้นได้ต่ำกว่าที่อุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของอัตราเร็วในการป้อนสารพบว่ามีผลทำให้ความสามารถในการดูดความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้มีความแตกต่างกันเช่นกัน แต่พบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อใช้อัตราเร็วในการป้อนสารที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าระดับเดียวกัน โดยพบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสารต่ำจะทำให้ขิงสกัดผงที่ได้มีค่าความสามารถในการดูดความชื้นสูง แต่เมื่อใช้อัตราเร็วในการป้อนสารสูงพบว่าจะทำให้ความสามารถในการดูดความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้มีค่าต่ำลง

ทั้งนี้มีรายงานวิจัยของ Tonon และคณะ (2008) ได้กล่าวว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดความชื้นของอนุภาคผง โดยพบว่าอนุภาคผงที่มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำที่สุด ได้จากการทดลองลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าและเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสาร ซึ่งเป็นสภาวะที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีปริมาณความชื้นที่สูงดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น นอกจากนี้ยังระบุอีกว่าการที่ผลิตภัณฑ์ผงมีปริมาณความชื้นต่ำ แต่มีความสามารถในการดูดความชื้นสูงนั้น เกิดจากความสัมพันธ์ของความสามารถในการดูดความชื้นโดยรอบ กับความเข้มข้นของน้ำในผลิตภัณฑ์ผง ทำให้เกิดการดูดซึมของความชื้นในบรรยากาศ ดังนั้นการใช้สภาวะอุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง พร้อมกับอัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีความชื้นต่ำ แต่มีความสามารถในการดูดความชื้นสูง และผลการทดลองที่ได้ยังมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Goula และคณะ (2004) อีกด้วย

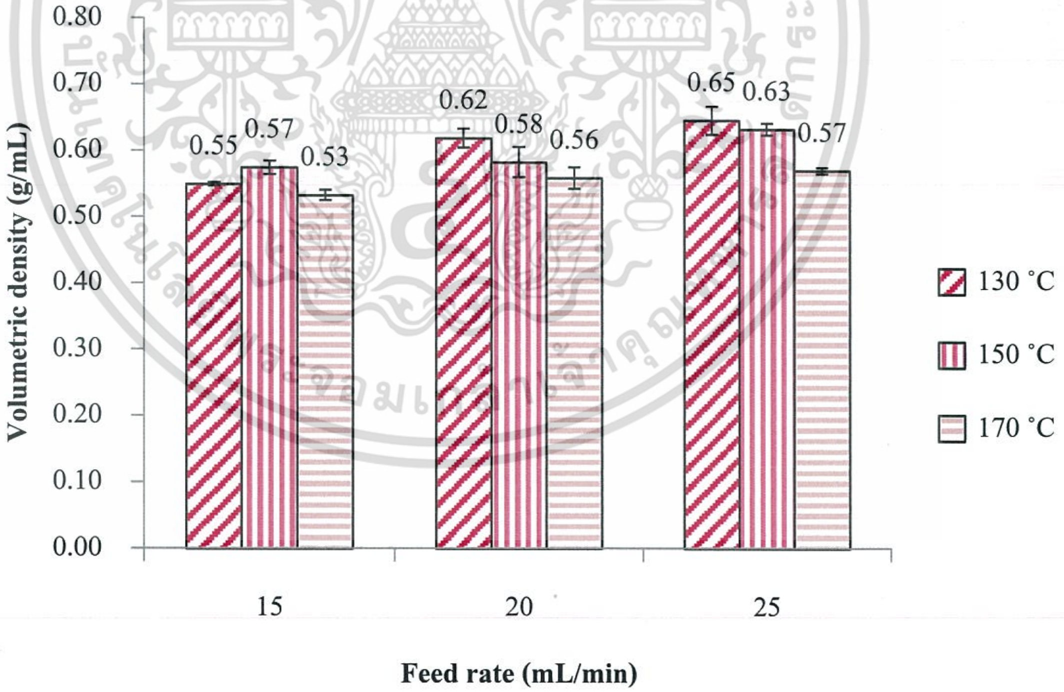
เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า ร่วมกับอัตราเร็วในการป้อนสารจากการทดลองนี้พบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง และอัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ ดังเช่น อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที ทำให้ได้ขิงสกัดผงที่มีความสามารถในการดูดความชื้นสูงที่สุด คือ 17.99±0.15 กรัมของการดูดความชื้นต่อ 100 กรัมของขิงสกัดผง ในขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ ร่วมกับอัตราเร็วในการป้อนสารสูง ดังเช่น อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้ได้ขิงสกัดผงที่มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำที่สุด คือ 14.70±0.10 กรัมของการดูดความชื้นต่อ 100 กรัมของขิงสกัดผง

4.4 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผง

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.6 แสดงถึงผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผง พบว่าทั้งอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า ขิงสกัดผงที่ได้มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรอยู่ในช่วง 0.53±0.01 ถึง 0.65±0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า ในส่วนของอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีผลต่อความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้ โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า มีผลทำให้ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงลดลง ซึ่งจะเห็นได้จากที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับเดียวกัน พบว่าขิงสกัดผงที่ได้มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 130 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Caliskan และ Dirim (2013) ที่ได้ศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อสารสกัด sumac พบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สูงขึ้น มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความหนาแน่นลดลง และยังมีรายงานวิจัยของ Goula และ Adamopoulos (2008) ซึ่งได้รายงานว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศขาเข้า มีผลทำให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์บางชนิดลดลง เช่น tomato pulp, น้ำส้มเข้มข้น (Chegini และ Ghobadian, 2005) และ gac fruit aril powder (Kha และคณะ, 2010) ทั้งนี้เนื่องจากเกิดจากการที่น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยที่อัตราเร็วสูง ส่งผลทำให้เกิดรูพรุนบนผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มาก และอาจเกิดการแตกหักของอนุภาคของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ อีกทั้งยังอาจส่งผลทำให้อนุภาคผงเกิดการหดตัวน้อยอีกด้วย จึงส่งผลให้ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ



ภาพที่ 4.6 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผง

ในส่วนของอัตราเร็วในการป้อนสาร พบว่ามีผลทำให้ขิงสกัดผงที่ได้มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรแตกต่างกันเช่นเดียวกันกับอุณหภูมิอากาศขาเข้า แต่พบว่าส่งผลในทางกลับกันกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศขาเข้า โดยพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสาร มีผลทำให้ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 130 องศาเซลเซียส แต่อัตราเร็วในการป้อนสารแตกต่างกัน คือ 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ คือ 0.55±0.00, 0.62±0.01 และ 0.65±0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วในการป้อนสารแตกต่างกัน 3 ระดับ ให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกัน จะเห็นว่าเกิดจากอัตราเร็วในการระเหยของน้ำจากการใช้อัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับแตกต่างกัน โดยที่อัตราเร็วในการป้อนสารสูง ทำให้สารผสมสัมผัสกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยน้อย จึงมีผลทำให้เกิดการระเหยออกของน้ำได้น้อยกว่าการใช้อัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ จึงส่งผลทำให้ขิงสกัดผงที่ได้นั้น เกิดการหดตัวน้อยกว่า และมีความหนาแน่นน้อยกว่าขิงสกัดผงที่ได้จากอัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ได้ทำการศึกษาในการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า แต่ลดอัตราเร็วในการป้อนสาร ดังสภาวะในการทดลอง คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที ขิงสกัดผงที่ได้มีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.53±0.01 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งพบว่าน้อยที่สุดจากทุกสภาวะที่ใช้ในการทดลอง แต่พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ ร่วมกับใช้อัตราเร็วในการป้อนสารสูง ขิงสกัดผงที่ได้มีความหนาแน่นสูงที่สุด จากสภาวะที่ใช้ คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที ได้ขิงสกัดผงที่มีค่าความหนาแน่น 0.65±0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร

4.5 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อค่าสีของขิงสกัดผง

ผลของอุณหภูมิขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อค่าความสว่าง (lightness, *L**) ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับต่างๆ พบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ค่าความสว่างของขิงสกัดผงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่าจากการทดลองได้ขิงสกัดผงที่มีค่าความสว่างแตกต่างกันอยู่ในช่วง 82.98±0.39 ถึง 87.05±0.30 แสดงดังตารางที่ 4.1

โดยพบว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้ค่าความสว่างของขิงสกัดผงมีค่าต่ำที่สุด คือ 82.98±0.39 และพบว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้ค่าความสว่างของขิงสกัดผงมีค่าสูงที่สุด คือ 87.05±0.30 ทั้งนี้เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ผงนั้น มีอิทธิพลมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ อนุญาตให้ทั่วไปแล้วค่าเอกสารทั้งนี้ ไม่ให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเป็นหลัก จากผลการทดลองในส่วนนี้ จึงสามารถเห็นได้ว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าให้สูงขึ้น ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mishra และคณะ (2014) ซึ่งทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตริน กับอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่มีผลต่อผงน้ำมะขามป้อมซึ่งพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง มีผลทำให้ค่าความสว่างของสีมีค่าสูงกว่า การใช้อุณหภูมิขาเข้าต่ำในการทำแห้งแบบพ่นฝอย รวมทั้งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Sousa และคณะ (2008) ซึ่งได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำมะเขือเทศ ได้รายงานว่าค่าความสว่างของสีเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้น อีกทั้งในส่วนของความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินนั้นมีผลต่อค่าความสว่างเนื่องจากมอลโตเด็กซ์ตรินมีสีขาว การเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินนั้น จึงมีผลทำให้ค่าความสว่างมีค่าสูงขึ้นได้อีก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 20 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mishra และคณะ (2014) และ Caliskan และ Dirim (2013) ที่ใช้ความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินสูงขึ้น ร่วมกับการใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้น มีผลทำให้ค่าความสว่างของสีมีแนวโน้มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะด้านสีของขิงสกัดผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน

Inlet air temperature (°C)	Feed rate (mL/min)	*L**	*a*/b**	Hue angle (°)	Chroma
130	15	82.98±0.39[e]	0.061±0.002[a]	1.510±0.002[d]	20.94±0.20[a]
	20	85.12±0.03[d]	0.045±0.002[cd]	1.526±0.002[bc]	17.96±0.31[c]
	25	85.85±0.49[c]	0.039±0.005[ef]	1.532±0.005[b]	16.97±0.21[d]
150	15	84.65±0.20[d]	0.058±0.002[ab]	1.523±0.001[bcd]	18.65±0.18[b]
	20	84.67±0.07[d]	0.049±0.002[c]	1.512±0.003[cd]	18.34±0.06[b]
	25	86.53±0.12[b]	0.034±0.005[fg]	1.537±0.005[b]	15.98±0.10[f]
170	15	85.18±0.19[b]	0.055±0.003[b]	1.516±0.003[cd]	16.57±0.19[e]
	20	85.89±0.43[c]	0.042±0.001[de]	1.553±0.021[a]	15.96±0.11[f]
	25	87.05±0.30[a]	0.033±0.002[g]	1.564±0.002[a]	15.61±0.36[f]

ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จำนวนตัวอย่าง = 3)

ค่าในแต่ละแถวในแนวตั้งที่มีอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ในส่วนของค่า *a*/b** และค่า hue angle นั้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นสีเหลือง (yellowness) ของขิงสกัดผง จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 แสดงถึงผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอัตราเร็วในการป้อนสารนั้นมีผลทำให้ขิงสกัดผงมีค่า a^*/b^* และค่า hue angle มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับต่างๆ พบว่า มีผลทำให้ค่า a^*/b^* ของขิงสกัดผงที่ได้นั้นอยู่ในช่วง 0.033±0.002 ถึง 0.061±0.002 และพบว่าค่า hue angle ของขิงสกัดผงอยู่ในช่วง 1.510±0.002 ถึง 1.564±0.002 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสาร ค่า a^*/b^* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า hue angle มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสารให้เร็วขึ้น ผลที่ได้บ่งบอกถึงการสูญเสียความเป็นสีเหลือง อีกทั้งในส่วนของอุณหภูมิอากาศขาเข้าเมื่อทำการเพิ่มระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้าให้สูงขึ้น พบว่าค่า a^*/b^* มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า Hue angle มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งบ่งบอกถึงการสูญเสียความเป็นสีเหลืองเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sousa และคณะ (2008) ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า แล้วพบว่าค่า a^*/b^* ของมะเขือเทศผงมีค่าลดลง และงานวิจัยของ Kha และคณะ (2010) ซึ่งพบว่าค่า a^*/b^* ของฟักข้าวผงมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า และปริมาณความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตริน

จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 พบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้เกิดการสูญเสียความเป็นสีเหลืองกับขิงสกัดผงน้อยที่สุด โดยสามารถพิจารณาได้จากค่า a^*/b^* ที่ได้ คือ 0.061±0.002 และค่า Hue angle 1.510±0.002 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด และต่ำที่สุดตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงที่อุณหภูมิอากาศขาเข้านี้เป็นอุณหภูมิที่สามารถคงรักษาความเป็นสีเหลืองของขิงสกัดผงไว้ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับอื่นๆ

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่มีผลต่อค่าความสดของสี (chroma) ของขิงสกัดผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ระดับต่างๆ (ตารางที่ 4.1) ค่าความสดของสี นอกจากบ่งบอกถึงความสดของสีแล้ว ยังบ่งบอกถึงความเข้มของสีอีกด้วย (Quek และคณะ, 2007) โดยผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ค่าความสดของสีของขิงสกัดผงมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าค่าความสดของสีของขิงสกัดผงที่ได้นั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 15.61±0.36 ถึง 20.94±0.20 ซึ่งพบว่าการใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาทีมีผลทำให้ได้ค่าความสดของสีสูงที่สุด คือ 20.94±0.20 ซึ่งบ่งบอกถึงความสดของสีของขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับนี้มีความสดของสีมากที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์มีสีสันดูสดใสมากที่สุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับอื่นๆ อีกทั้งยังพบว่าที่ระดับอุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที ยังมีผลทำให้ได้ขิงสกัดผงที่มีค่าความสดของสีต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด คือ 15.61±0.36 นั่นแสดงให้เห็นว่าขิงสกัดผงที่ได้นั้นมีสีสันที่ไม่สดใส หรือสีมีความซีดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับต่างๆ

ทั้งนี้จากผลการทดลองที่ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับต่างๆ ยังพบว่าการเพิ่มระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้านั้นมีผลทำให้ค่าความสดของสีมีแนวโน้มลดลง และพบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับอัตราเร็วในการป้อนสารยังมีผลทำให้ความสดของสีมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน จากผลการทดลองที่ได้นี้ พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Caliskan และ Dirim (2013) พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ร้อยละ 20 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าให้สูงขึ้นจาก 160 เป็น 200 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าค่าความสดของสีของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีแนวโน้มลดลง และงานวิจัยของ Mishra และคณะ (2014) พบว่าค่าความสดของสีของผลิตภัณฑ์ผงที่ใช้มอลโตเด็กซ์ตรินความเข้มข้นร้อยละ 9 ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินที่สูงที่สุดในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ศึกษาอุณหภูมิอากาศขาเข้าในช่วง 125 ถึง 200 องศาเซลเซียส โดยจากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้าจาก 125 เป็น 150 องศาเซลเซียสพบว่าค่าความสดใสของสีของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีแนวโน้มลดลง

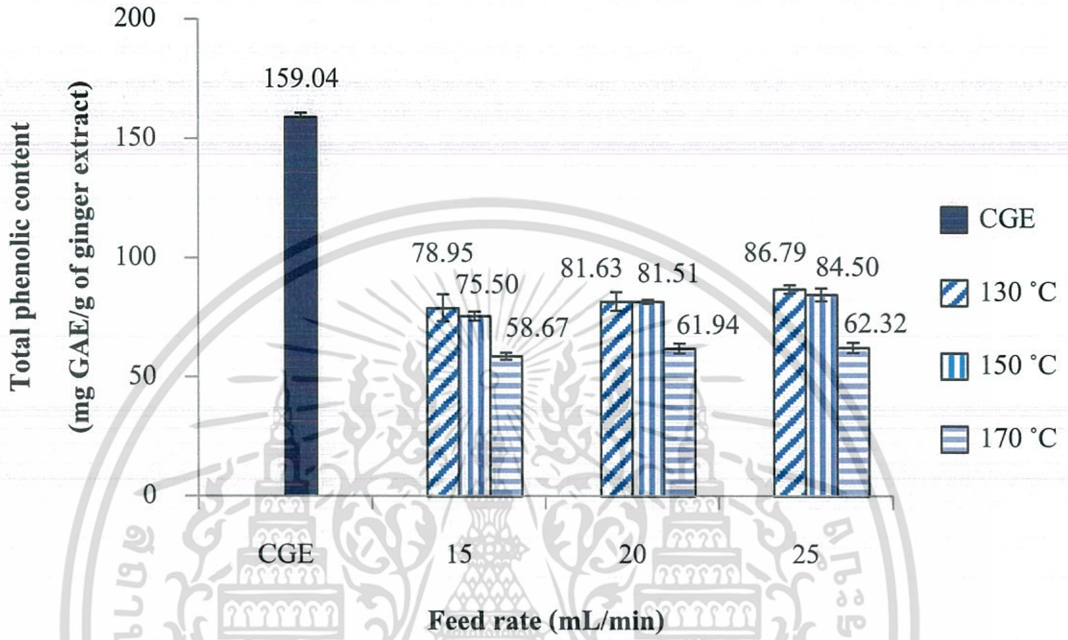
4.6 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.7 แสดงถึงผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผง พบว่าทั้งอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า ขิงสกัดผงที่ได้นั้นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 58.67±1.53 ถึง 86.79±1.71 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

จากการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ โดยเทียบกับสารสกัดจากขิงที่ไม่ได้ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย (crude ginger extract, CGE) จากการตรวจสอบพบว่าสารสกัดจากขิงที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 เมื่อนำมาตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 159.04±1.75 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด ซึ่งพบว่ามีปริมาณสูงกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากขิงลดลง และเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียสที่ทำการศึกษา จากผลการทดลองเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

130 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีการลดลงน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 และ 170 องศาเซลเซียส จากการทดลอง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าให้สูงขึ้น พบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากขิงลดต่ำลง โดยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส ขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.7 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผง

มีรายงานวิจัยของ Mishra และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่มีผลต่อน้ำมะขามป้อมผง ในช่วง 125 ถึง 200 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีปริมาณลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าจาก 125 ถึง 175 องศาเซลเซียส และพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ช่วงอุณหภูมิ 175 ถึง 200 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) ของสารประกอบฟีนอลิก หรืออาจเกิดการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกขึ้นมาใหม่ จึงทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำมะขามป้อมผงเพิ่มมากขึ้น และจากงานวิจัยของ Caliskan และ Dirim (2013) ก็พบว่าการสกัด sumac berries ด้วยน้ำ และนำมาผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteau พบว่า sumac berries นั้นมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง โดยพบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 160 และ 180 องศาเซลเซียส ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด มีปริมาณลดลง แต่เมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิอากาศขาเข้าเป็น 200 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากปรากฏการณ์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวไว้ในงานของผู้วิจัยก่อนหน้านี้ และจากรายงานการวิจัยของ Santiago-Adame และคณะ (2015) ที่ได้ทำการศึกษาสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำอบเชย พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าจาก 140 ถึง 160 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำอบเชยผงมีปริมาณลดน้อยลง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศขาเข้าให้ผลการทดลองในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองของผู้วิจัย

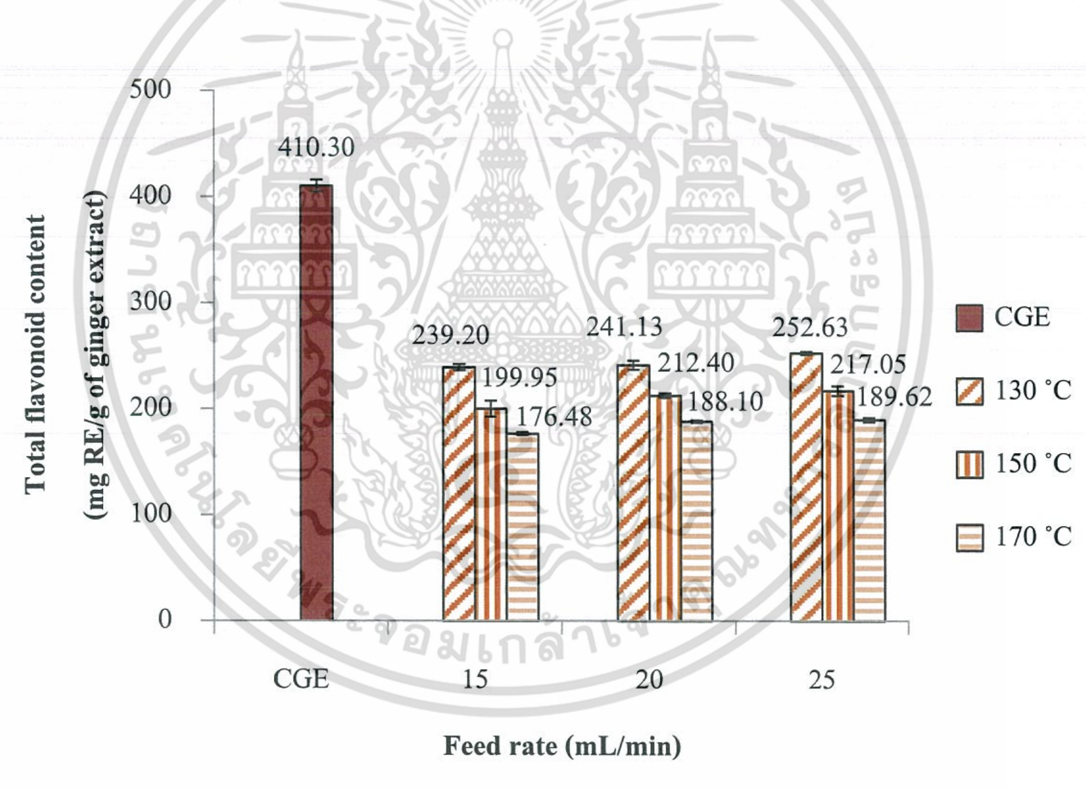
ในส่วนของอัตราเร็วในการป้อนสารพบว่ามีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงมีความแตกต่างกันอีกด้วยเช่นกัน จากการศึกษาที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ระดับอุณหภูมิอากาศขาเข้าเดียวกัน พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงมีแนวโน้มคงอยู่เพิ่มมากขึ้น เมื่อใช้อัตราเร็วในการป้อนสารสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 78.95±5.68, 81.63±3.88 และ 86.79±1.71 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที ขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด ซึ่งเมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิอากาศขาเข้าเป็น 150 และ 170 องศาเซลเซียส และใช้อัตราเร็วในการป้อนสารที่แตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงให้ผลการทดลองในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากอัตราเร็วในการป้อนสารบ่งบอกถึงระยะเวลาที่สารผสมจะสัมผัสกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ถ้าใช้อัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ สารผสมจะสัมผัสกับอากาศร้อนเป็นระยะเวลานานกว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสารสูง ซึ่งจะลดระยะเวลาที่สารผสมสัมผัสกับอากาศร้อนทำให้สามารถป้องกันการแตกสลายของโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดจากขิงได้มากกว่า โดยพบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Santiago-Adame และคณะ (2015) ซึ่งพบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 10 มิลลิลิตรต่อนาที น้ำอบเชยผงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 8 มิลลิลิตรต่อนาที จึงสามารถกล่าวได้ว่าอัตราเร็วในการป้อนสารที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงมีความแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารร่วมกัน พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง และอัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด คือ 58.67±1.53 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด โดยสูญเสียไประหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคิดเป็นร้อยละ 63.11 เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย แต่พบว่าเมื่อลดระดับอุณหภูมิอากาศขาเข้า และเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสาร เป็น 130 องศาเซลเซียส และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ พบว่าสามารถป้องกันการเสื่อมสลายของสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขิงได้ โดยพบว่าขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด เมื่อเทียบกับสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยอื่นๆ ที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ 86.79±1.71 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด โดยสูญเสียไประหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคิดเป็นร้อยละ 45.43 เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สำหรับผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.8 แสดงถึงผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผง พบว่าทั้งอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า ขิงสกัดผงที่ได้นั้นมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 176.48±1.37 ถึง 252.63±1.40 กรัมต่อมิลลิลิตร



ภาพที่ 4.8 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผง

จากการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษา เปรียบเทียบกับสารสกัดจากขิงที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ที่ไม่ได้ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(crude ginger extract, CGE) ซึ่งพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด คือ 410.30±5.60 มิลลิกรัมสมมูลของรูตินต่อกรัมของสารสกัด จากผลการทดลองพบว่ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารแตกต่างกัน มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดจากขิงลดลง

เมื่อเพิ่มระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้าจาก 130 เป็น 170 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงมีปริมาณลดต่ำลง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีผลทำให้ขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดแตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถลดการถูกทำลายของสารประกอบฟลาโวนอยด์ของขิงสกัดผงได้ โดยพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 150 และ 170 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังพบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 170 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สารประกอบฟลาโวนอยด์ถูกทำลายไปมากที่สุดอีกด้วย ซึ่งจากผลการทดลองในเรื่องของสารประกอบฟลาโวนอยด์นั้นมีความสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้ทำการศึกษา แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีผลต่อการคงอยู่ของสารประกอบฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกของขิงสกัดผง ทั้งนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Santiago-Adame และคณะ (2015) ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิอากาศขาเข้าจาก 140 เป็น 160 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าน้ำอบเชยผงมีการลดลงของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

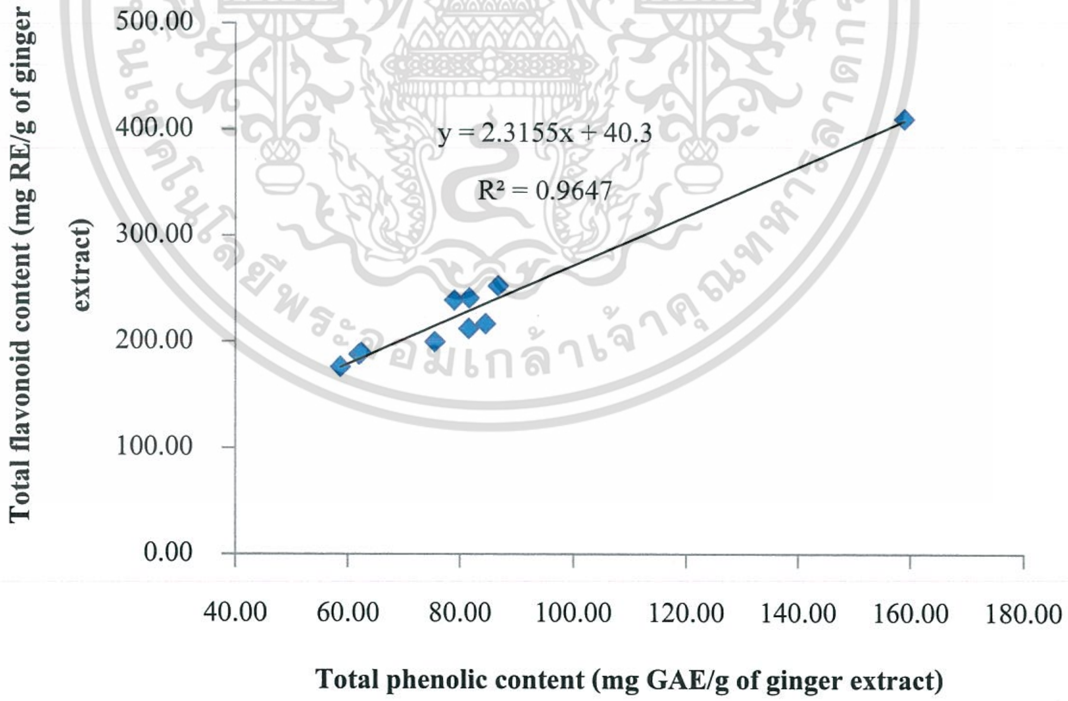
ในส่วนของอัตราเร็วในการป้อนสารพบว่ามีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ของขิงสกัดผงที่ได้มีความแตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสารแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ระดับอุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากัน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสารให้สูงขึ้น พบว่าสามารถป้องกันการเสื่อมสลายของสารประกอบฟลาโวนอยด์ของสารสกัดจากขิงได้ โดยพบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ระดับอุณหภูมิอากาศขาเข้าเดียวกัน ทั้งนี้มีสาเหตุเช่นเดียวกันกับอัตราเร็วในการป้อนสารที่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น อีกทั้งยังมีงานวิจัยของ Santiago-Adame และคณะ (2015) ซึ่งพบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสารสูง สามารถลดการเสื่อมสลายของสารประกอบโพลีฟีนอลได้ในระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า ร่วมกับอัตราเร็วในการป้อนสาร พบว่าเมื่อเพิ่มระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้า แต่ลดอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงลดลง ดังเช่น ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าขิงสกัดผงที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟลาโว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอยด์ทั้งหมดต่ำที่สุด คือ 176.48±1.37 มิลลิกรัมสมมูลของรูตินต่อกรัมของสารสกัด โดยสูญเสียไประหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคิดเป็นร้อยละ 56.49 เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย แต่พบว่าเมื่อลดระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสาร มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงลดลงน้อย ดังเช่น ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าขิงสกัดผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้ มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด เมื่อเทียบกับสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยอื่นๆ ที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ 252.63±1.40 มิลลิกรัมสมมูลของรูตินต่อกรัมของสารสกัด โดยสูญเสียไประหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคิดเป็นร้อยละ 38.43 เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จะเห็นได้ว่าผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ทำการศึกษา ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงโดยเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าผลการทดลองทั้ง 2 ส่วนนั้นมีความสัมพันธ์กันโดยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า แต่ลดอัตราเร็วในการป้อนสาร ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงลดลง ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงก็ลดลงเช่นกัน จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันสูง (R^2 = 0.9647) และเมื่อนำมาทดสอบด้วย Pearson correlation test พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (pearson correlation coefficient) เท่ากับ 0.977 โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าระหว่าง 0.90 ถึง 1.00 จะบ่งบอกถึงระดับความสัมพันธ์ของข้อมูลว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมาก และพบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.000 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีความสัมพันธ์กันในทางบวก ในระดับสูงมาก โดยเมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน

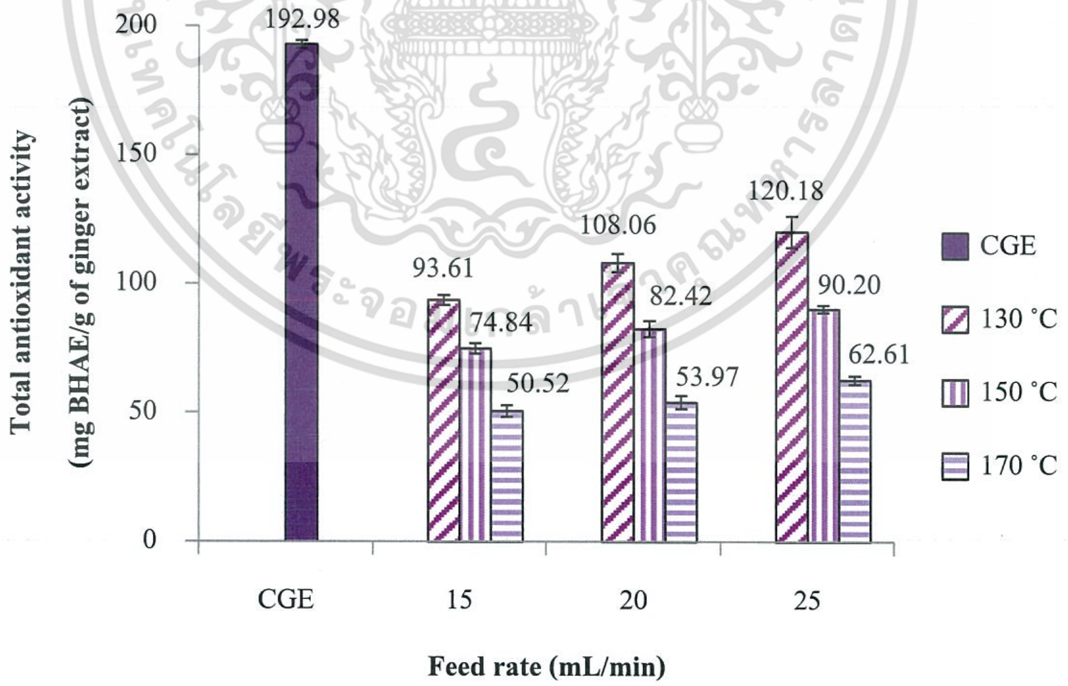
4.7 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เป็นอีกหนึ่งคุณสมบัติที่สำคัญในกระบวนการแปรรูปอาหารต่างๆ เพราะในอาหารต่างๆ ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จะส่งผลให้สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระต่างๆ จากอาหาร และจากสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ จึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ต้องทำการศึกษา จากภาพที่ 4.10 แสดงถึงผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากขิง และขิงสกัดผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสาร มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผง โดยพบว่าขิงสกัดผงที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับต่างกัน มีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองพบว่าสารสกัดจากขิงที่ไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (crude ginger extract, CGE) เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH พบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดสูงที่สุด คือ 192.98±1.49 มิลลิกรัมสมมูลของบีเอชเอต่อกรัมของสารสกัด ในขณะที่ขิงสกัดผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝอยนั้น มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดอยู่ในช่วง 50.52±2.24 ถึง 120.18±6.14 มิลลิกรัมสมมูลของบีเอชเอต่อกรัมของสารสกัด ในส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ได้ขิงสกัดผงที่มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดที่แตกต่างกัน และลดลงจากสารสกัดเริ่มต้นก่อนผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยพบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้ขิงสกัดผงที่ได้นั้น สูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดไปมากที่สุด โดยเหลือเพียง 50.52±2.24 มิลลิกรัมสมมูลของบีเอชเอต่อกรัมของสารสกัด โดยสูญเสียไประหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคิดเป็นร้อยละ 78.82 เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ในขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที ทำให้ขิงสกัดผงที่ได้มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดอยู่ที่ 120.18±6.14 มิลลิกรัมสมมูลของบีเอชเอต่อกรัมของสารสกัด โดยสูญเสียไประหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคิดเป็นร้อยละ 37.72 เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นขิงสกัดผงที่มีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดสูงที่สุด เมื่อเทียบกับขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับต่างๆ แต่พบว่ายังมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดน้อยกว่าสารสกัดจากขิงที่ไม่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย



ภาพที่ 4.10 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงด้วยวิธี DPPH

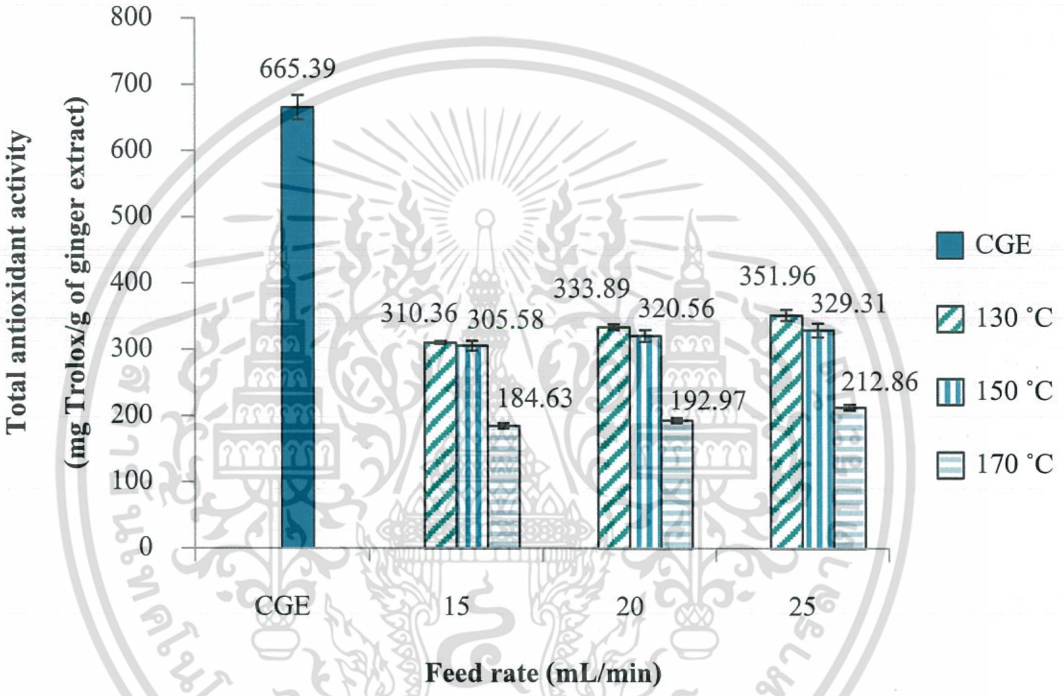
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศขาเข้า มีผลทำให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง และยังมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ลดลงจากสารสกัดเริ่มต้นอีกด้วย แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากขิงลดลงเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และสารสกัดจากขิงจะสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดไปมากเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ระดับสูง และในส่วนของอัตราเร็วในการป้อนสารก็พบว่าส่งผลต่อค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดเช่นกัน โดยพบว่าค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนสาร แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัตราเร็วในการป้อนสารที่เร็ว จะมีผลทำให้สามารถป้องกันการเสื่อมเสียของสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในสารสกัดจากขิงขณะที่แปรรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Caliskan และ Dirim (2013) ได้ทำการศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อ sumac extract พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้า และขาออกแล้วนั้นมีผลทำให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลิสระของ sumac extract ลดลง และเช่นเดียวกับ Mishra และคณะ (2014) ที่ได้ทำการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยของ amla juice powder ซึ่งให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกัน คือ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ amla juice powder ลดลง อันเนื่องมาจากการเพิ่มระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นผลทำให้เกิดการถูกทำลายของสารที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในขิงสกัดผง หรือสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ รวมไปถึงอาจทำให้เกิดการแตกสลาย หรือเสื่อมสลายของสารประกอบฟีนอลิกต่างๆ อันเนื่องมาจากอุณหภูมิสูง และในส่วนของอัตราเร็วในการป้อนสารนั้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งของการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีความสำคัญต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดเช่นกัน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่จะบ่งบอกถึงระยะเวลาที่สารสกัดต่างๆ จะสัมผัสกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยพบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสารเร็ว จะส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขิงสกัดผงเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Santiago-Adame และคณะ (2015) ซึ่งพบว่าเมื่อใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิต cinnamon infusion powder และงานวิจัยของ Gallegos-Infante และคณะ (2013) ที่ทำการศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิต oak leaf infusion แล้วพบว่าเมื่อใช้อัตราเร็วในการป้อนสารเร็ว ส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ได้มีค่าสูงกว่าการใช้อัตราเร็วในการป้อนสารช้า ทั้งนี้เนื่องมาจากที่อัตราเร็วในการป้อนสารเร็ว จะช่วยลดระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างสารผสมกับอากาศร้อนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่งผลให้ลดการเกิดการเสื่อมสลายของสารประกอบฟีนอลิก และช่วยปกป้องคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดต่างๆ เอาไว้ได้ ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้หลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยแล้วนั้นยังคงเป็นผลิตภัณฑ์ผงที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของผลการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.11 แสดงถึงผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อปริมาณความชื้นของขิงสกัดผง พบว่าทั้งอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากการผลการทดลองพบว่า ขิงสกัดผงที่ได้นั้นมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดอยู่ในช่วง 184.63±3.97 ถึง 351.96±8.32 มิลลิกรัมสมมูลของโทรล็อกซ์ต่อกรัมของสารสกัด



ภาพที่ 4.11 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงด้วยวิธี ABTS

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าสารสกัดจากขิงที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (crude ginger extract, CGE) มีความสามารถในการต้านอนูมลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS สูงที่สุด คือ 665.39±18.54 มิลลิกรัมสมมูลของโทรล็อกซ์ต่อกรัมของสารสกัด เมื่อเทียบกับขิงสกัดผงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ ที่ทำการศึกษา แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากขิงลดลง

ขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่แตกต่างกัน พบว่ามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดแตกต่างกัน โดยพบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง ทำให้ความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

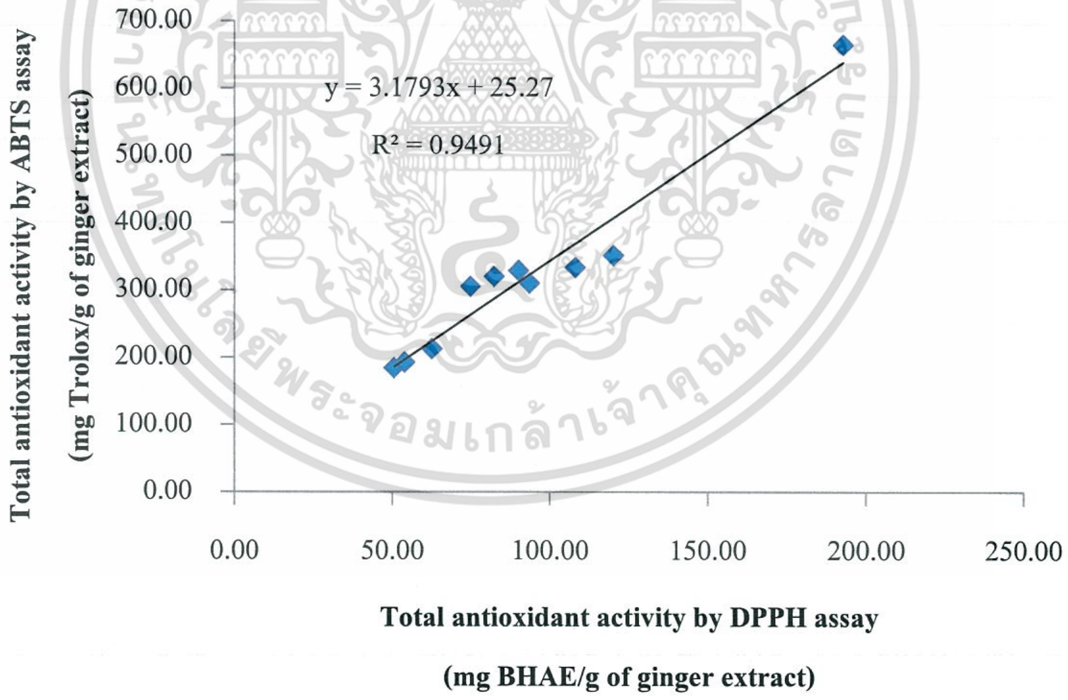
ต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงถูกทำลายไปมากที่สุด แต่ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ ขิงสกัดผงที่ได้ยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดหลงเหลือในปริมาณที่มากกว่า อีกทั้งในส่วนของอัตราเร็วในการป้อนสารก็มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงเช่นกัน โดยพบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสารต่ำมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงถูกทำลายไปมากที่สุด แต่พบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสารสูง ขิงสกัดผงที่ได้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดสูงกว่าการใช้อัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ ทั้งนี้มีสาเหตุเช่นเดียวกันกับผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า ร่วมกับอัตราเร็วในการป้อนสารที่มีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS ของขิงสกัดผง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า แต่ลดอัตราเร็วในการป้อนสารให้ต่ำลง มีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้ มีค่าลดต่ำลง โดยจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้ได้ขิงสกัดผงที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดต่ำที่สุด คือ 184.63±3.97 มิลลิกรัมสมมูลของโทรล็อกซ์ต่อกรัมของสารสกัด โดยสูญเสียไประหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคิดเป็นร้อยละ 72.25 เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ในขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ ร่วมกับอัตราเร็วในการป้อนสารสูง มีผลทำให้ได้ขิงสกัดผงที่ยังคงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดสูงอยู่ ดังเช่น ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้จากสภาวะนี้ยังคงมีค่าสูงอยู่ คือ 351.96±8.32 มิลลิกรัมสมมูลของโทรล็อกซ์ต่อกรัมของสารสกัด โดยสูญเสียไประหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคิดเป็นร้อยละ 47.10 เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย จากผลการทดลองในส่วนของการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS จะเห็นได้ว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลให้ได้ขิงสกัดผงยังคงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดอยู่ในปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับอื่นๆ

จะเห็นได้ว่าผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ทำการศึกษา ส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS ของขิงสกัดผง โดยเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS ของขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่แตกต่างกัน พบว่าผลการทดลองทั้ง 2 ส่วนนั้นมีความสัมพันธ์กันโดยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า แต่ลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

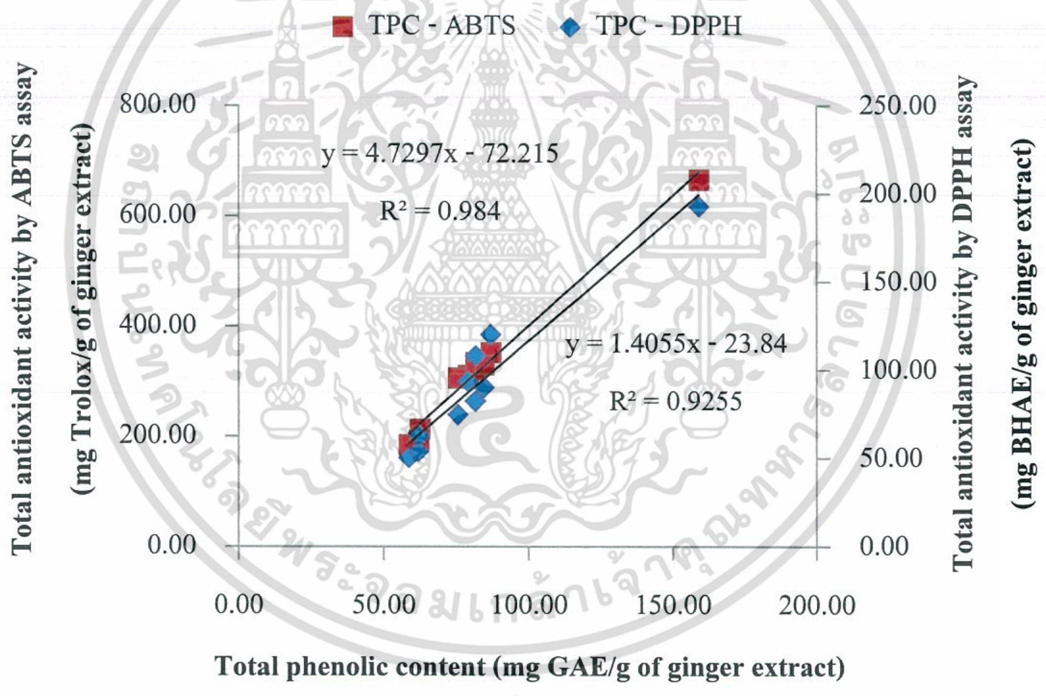
อัตราเร็วในการป้อนสาร ส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS ของขิงสกัดผงเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH ของขิงสกัดผงลดลง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS ของขิงสกัดผงก็ลดลงเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS มีความสัมพันธ์กันสูง (R^2 = 0.9491) และเมื่อนำมาทดสอบด้วย Pearson correlation test พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (pearson correlation coefficient) เท่ากับ 0.969 โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าระหว่าง 0.90 ถึง 1.00 จะบ่งบอกถึงระดับความสัมพันธ์ของข้อมูลว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมาก และพบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.000 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากขิง และขิงสกัดผงด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีความสัมพันธ์กันในทางบวก ในระดับสูงมาก โดยเมื่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH เพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงระหว่างวิธี DPPH และ ABTS ที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองในส่วนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS ของขิงสกัดผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน โดยเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS ของขิงสกัดผง พบว่าผลการทดลองทั้ง 2 ส่วนนั้นมีความสัมพันธ์กันโดยพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้า แต่ลดอัตราเร็วในการป้อนสาร ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์มั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS ของขิงสกัดผงเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS ของขิงสกัดผงก็ลดลงเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงระหว่างวิธี DPPH (DPPH) และ ABTS (ABTS) ที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS มีความสัมพันธ์กันสูง โดยมีค่า R^2 = 0.9255 และ R^2 = 0.9840 ตามลำดับ และเมื่อนำมาทดสอบด้วย Pearson correlation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

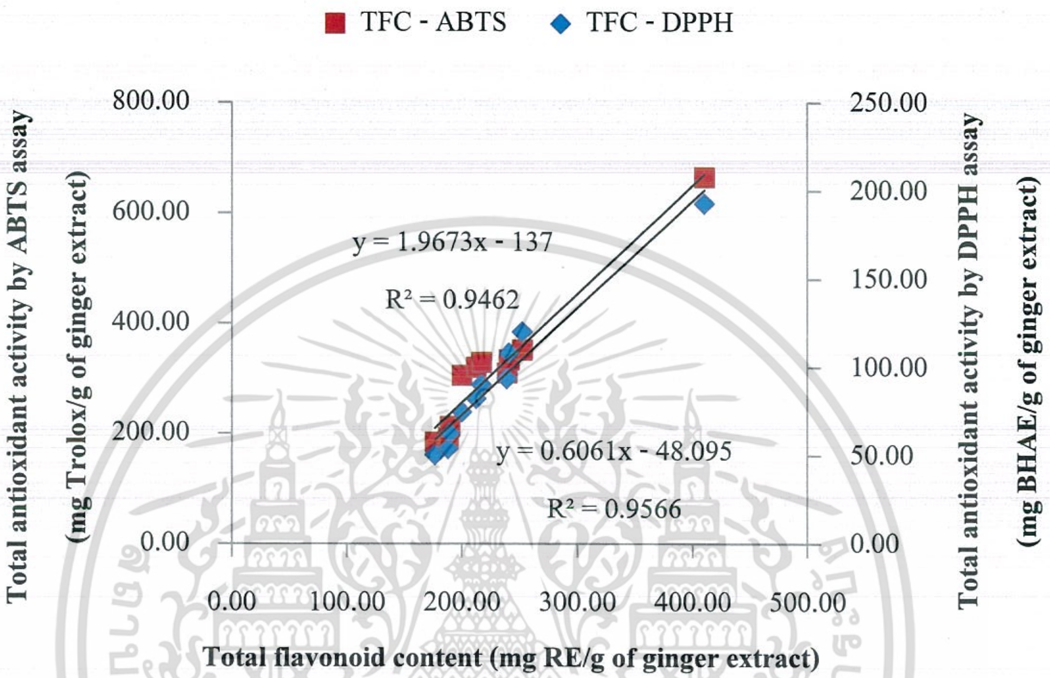
test ผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (pearson correlation coefficient) เท่ากับ 0.958 โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าระหว่าง 0.90 ถึง 1.00 จะบ่งบอกถึงระดับความสัมพันธ์ของข้อมูลว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมาก และพบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.000 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน มีความสัมพันธ์กันในทางบวก ในระดับสูงมาก ส่วนผลของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (pearson correlation coefficient) เท่ากับ 0.985 และพบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.000 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน มีความสัมพันธ์กันในทางบวก ในระดับสูงมาก โดยเมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH เพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน

จากการศึกษาพบว่าปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดลดลง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS ของขิงสกัดผงก็ลดลงเช่นกัน จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS มีความสัมพันธ์กันสูง โดยมีค่า R^2 = 0.9566 และ R^2 = 0.9462 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.14

เมื่อนำมาทดสอบด้วย Pearson correlation test ผลของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (pearson correlation coefficient) เท่ากับ 0.974 โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าระหว่าง 0.90 ถึง 1.00 จะบ่งบอกถึงระดับความสัมพันธ์ของข้อมูลว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมาก และพบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.000 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน มีความสัมพันธ์กันในทางบวก ในระดับสูงมาก ส่วนผลของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (pearson correlation coefficient) เท่ากับ 0.970 และพบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.000 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ปริมาณสารประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน มีความสัมพันธ์กันในทางบวก ในระดับสูงมาก โดยเมื่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH เพิ่มขึ้น ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS ก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของขิงสกัดผงระหว่างวิธี DPPH (DPPH) และ ABTS (ABTS) ที่ได้จากสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่แตกต่างกัน

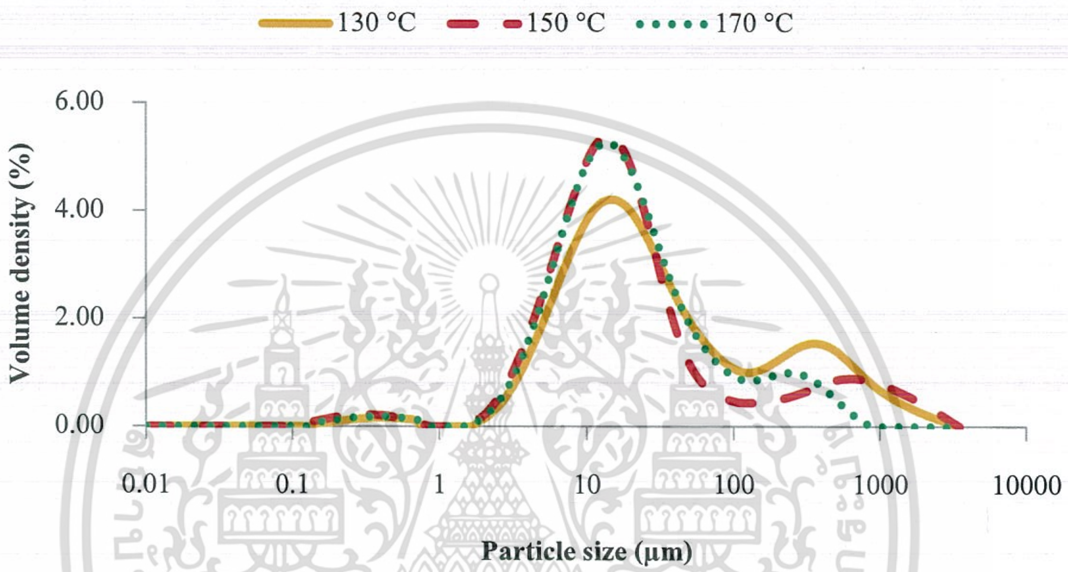
ทั้งนี้จากผลการทดลองในส่วนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดของสารสกัดจากขิง อาจมีความแปรปรวนอันเนื่องมาจากขึ้นอยู่กับอายุของขิง และกระบวนการทำแห้งเบื้องต้นก่อนที่จะนำมาใช้ในการสกัดอีกด้วย

4.8 ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อขนาดอนุภาค และรูปร่างของขิงสกัดผง

จากผลการทดลองในส่วนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของขิงสกัดผง พบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้ได้ขิงสกัดผงที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดสูงที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที ในการศึกษาขนาดอนุภาคของขิงสกัดผงจึงได้เลือกตัวอย่างที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที จำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการศึกษาขนาดอนุภาคของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อไป แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่แตกต่างกัน และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับเดียวกัน (25 มิลลิลิตรต่อนาที)

จากผลการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วในการป้อนสารเท่ากัน (25 มิลลิลิตรต่อนาที) พบว่ามีขนาดอนุภาคของขิงสกัดผงอยู่ในช่วง 0.128 ถึง 3080 ไมโครเมตร เป็นผลทำให้กราฟการกระจายตัวของขิงสกัดผงนั้นมีฐานที่กว้าง ทั้งนี้อนุภาคผงที่มีขนาดใหญ่เกิดจากการที่อนุภาคผงเกิดการเกาะตัวกัน และเกิดการรวมตัวกันอย่างต่อเนื่องเป็นผลทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคผง (particle agglomeration) จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส มีผลทำให้อนุภาคของขิงสกัดผงอยู่ในช่วง 0.146 ถึง 2710, 0.128 ถึง 3080 และ 0.146 ถึง 859 ไมโครเมตร ตามลำดับ

ผลการทดลองตารางที่ 4.2 แสดงถึงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร (D[4,3]) ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียสมีผลทำให้ขนาดอนุภาคของขิงสกัดผงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 และ 150 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคของขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส พบว่าขิงสกัดผงที่ได้มีค่าน้อยที่สุด หรือมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด คือ 53.80±6.72 ไมโครเมตร ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง มีผลทำให้อนุภาคผงเกิดการระเหยของน้ำออกอย่างรวดเร็ว ทำให้อนุภาคผงที่ได้มีขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคในเชิงปริมาตร (D[4,3]) ของขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่แตกต่างกัน และอัตราเร็วในการป้อนสารที่ระดับเดียวกัน (25 มิลลิลิตรต่อนาที)

Inlet air temperature (ºC)	Mean diameter (µm)
130	150.00±6.81[a]
150	146.00±9.85[a]
170	53.80±6.72[b]

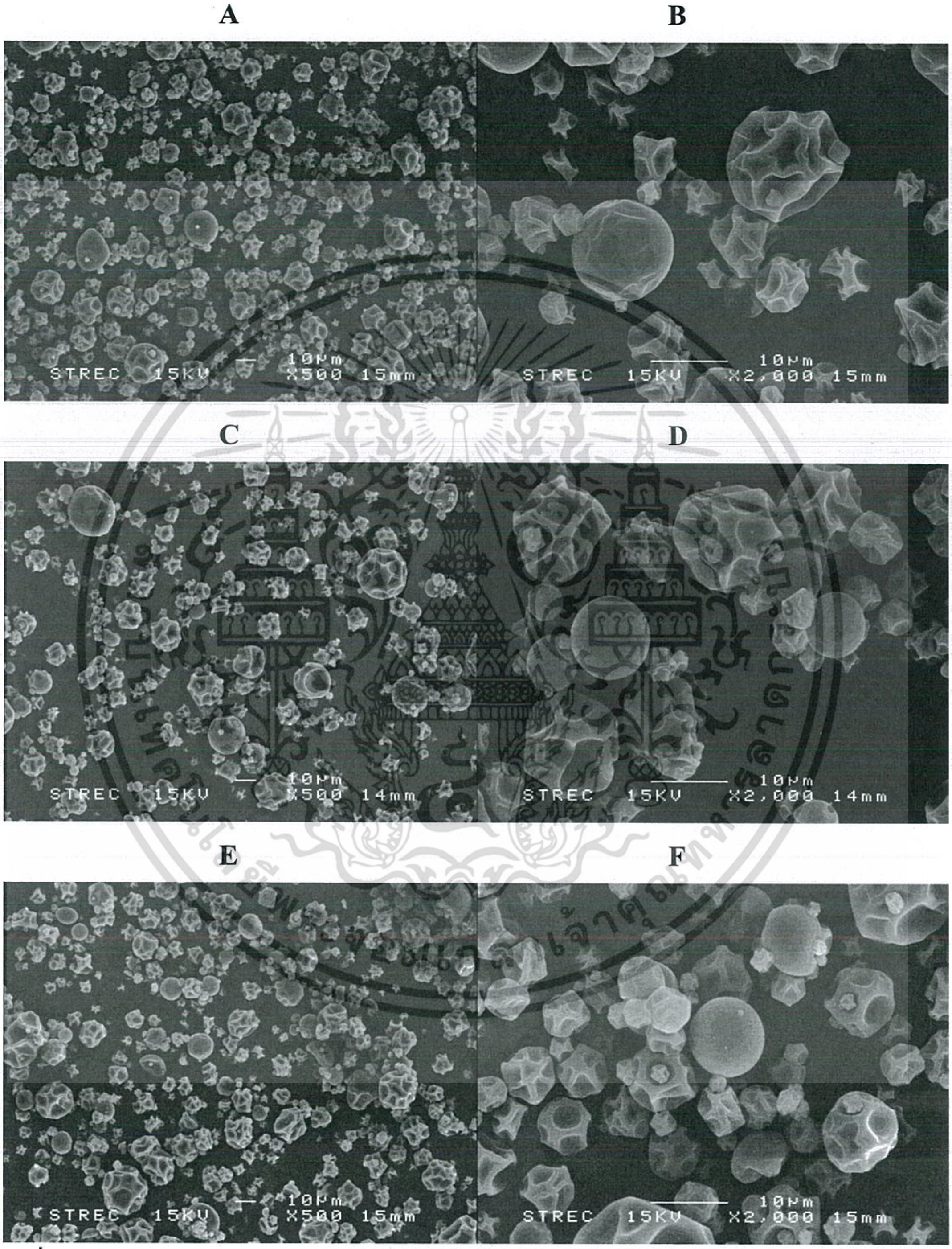
ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จำนวนตัวอย่าง = 3)
ค่าในแต่ละแถวในแนวตั้งที่มีอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

มีงานวิจัยของ Mishra และคณะ (2014) ได้รายงานว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง พบว่าค่าเฉลี่ยของอนุภาคผงมีขนาดเล็กลงกว่าการใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ และ Cai และ Corke (2000) ได้กล่าวว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง ทำให้เกิดอัตราการทำแห้งที่เร็ว เป็นผลทำให้อนุภาคมีขนาดเล็ก ในขณะที่ขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 และ 150 องศาเซลเซียส นั้นจะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค คือ 150.67±6.81 และ 146.00±9.85 ไมโครเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้เกิดจากการที่ขิงสกัดผงอาจเกิดการรวมตัวกันในบางส่วน จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคให้ผลออกมาไม่แตกต่างกันมาก แต่มีความแตกต่างจากขนาดอนุภาคที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส

ในส่วนของรูปร่างของอนุภาคของขิงสกัดผง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่อัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่างอนุภาคของขิงสกัดผงที่ได้ โดยใช้กำลังขยาย 500 และ 2000 เท่า แสดงดังภาพที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าอนุภาคของขิงสกัดผงมีรูปร่างกลมแบบผิดรูปร่างเป็นส่วนใหญ่ และพบว่ามีการหดตัวเกิดรอยบุ๋มมากบนโครงสร้างของอนุภาคขิงสกัดผง (ผิวไม่เรียบ) แต่ไม่พบการแตกของอนุภาคที่ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห่อหุ้มด้วยมอลโตเด็กซ์ตริน การหดตัวของโครงสร้างของขิงสกัดผงเกิดจากการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่แตกต่างกัน โดยพบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง (170 องศาเซลเซียส) มีผลทำให้น้ำเกิดการระเหยของน้ำออกจากอนุภาคของขิงสกัดผงได้เร็วกว่า ส่งผลให้เกิดผิวโครงสร้างของอนุภาคขิงผงเกิดการเหี่ยวได้



ภาพที่ 4.16 โครงสร้างจุลภาคของขิงสกัดผงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยายแตกต่างกัน เมื่อ A : 130 ºC, 500x, B : 130 ºC, 2000x, C : 150 ºC, 500x, D : 150 ºC, 2000x, E : 170 ºC, 500x, F : 170 ºC, 2000x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีรายงานวิจัยของ Rosenberg และคณะ (1985) และ Rajabi และคณะ (2015) พบว่าการใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง มีผลต่อพื้นผิวโครงสร้างของอนุภาคผงในลักษณะเดียวกันกับงานวิจัยนี้ ในส่วนของอุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ (130 องศาเซลเซียส) พบว่าเกิดการหดตัว เกิดรอยบุ๋ม บนโครงสร้างของอนุภาคขิงสกัดผงเช่นกัน อีกทั้งรายงานวิจัยของ Santiago-Adame และคณะ (2015) ยังพบว่าการใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง มีผลทำให้อนุภาคผงที่ได้มีพื้นผิวที่หยาบ และรายงานวิจัยของ Akamilla-Beltran และคณะ (2005) ได้กล่าวว่าเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ พบว่ามีผลทำให้อนุภาคผงมีรูปร่างผิดปกติ ในขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง มีผลทำให้อนุภาคผงมีลักษณะแข็ง และมีรูพรุนมากขึ้น ทั้งนี้มีรายงานวิจัยของ Tonon และคณะ (2008) กล่าวว่ากรณีที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำมีผลทำให้ผิวของโครงสร้างอนุภาคผงยังคงมีความชื้น หรือมีปริมาณน้ำอยู่ และพบว่าผิวของโครงสร้างจะนิ่มเป็นระยะเวลานานกว่า หลังจากนั้นเมื่อทิ้งไว้จะพบว่าอนุภาคผงจะเกิดการหดตัว และยุบตัวเมื่อเย็นลง

จากผลการทดลองของผู้วิจัย อนุภาคขิงสกัดผงที่ได้จะเห็นได้ว่าเริ่มเกิดการรวมตัวกันของอนุภาค จึงอาจเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยของขนาดของอนุภาคของขิงสกัดผงที่วัดได้มีขนาดใหญ่ และมีขนาดแตกต่างกันมากระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้า 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส อีกทั้งผู้วิจัยได้ใช้หัวอะตอมไมเซอร์ (atomizer) ในการทดลองซึ่งเป็นหัวขนาดใหญ่ จึงอาจเป็นผลให้ได้อนุภาคขิงสกัดผงที่มีขนาดใหญ่ ทั้งนี้การเกิดการรวมตัวของอนุภาคผงยังอาจเกิดจากการที่ใช้มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่าสมมูลของน้ำตาลเด็กโตรส 20 ซึ่งเป็นค่าสูง บ่งบอกถึงการที่มอลโตเด็กซ์ตรินแตกตัว และมีน้ำตาลเด็กโตรสอยู่มาก จึงอาจส่งผลให้เกิดการดูดความชื้นของขิงสกัดผงได้ง่าย เป็นผลทำให้ขิงสกัดผงเกิดการรวมตัวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยในส่วนของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 130, 150 และ 170 องศาเซลเซียส และ 15, 20 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ โดยทำการศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อปริมาณผลผลิต คุณสมบัติทางเคมีกายภาพในแง่ของความชื้น วอเตอร์ แอคทิวิตี้ การดูดความชื้น ความหนาแน่นเชิงปริมาตร คุณลักษณะของสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี ขนาด และรูปร่างของอนุภาคของขิงสกัดผงที่ได้ พบว่าทั้ง 2 ปัจจัยที่ศึกษาส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของขิงสกัดผงที่ได้

อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สูง และอัตราเร็วในการป้อนสารต่ำ มีผลทำให้ได้ขิงสกัดผงที่มีปริมาณผลผลิตสูง มีความชื้น และวอเตอร์ แอคทิวิตี้ต่ำ แต่พบว่าขิงสกัดผงที่ได้ที่สภาวะนี้ มีการดูดความชื้นสูงขึ้น และมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำ อีกทั้งยังส่งผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขิงสกัดผงลดลง ในส่วนของคุณลักษณะทางด้านสีพบว่าค่าความเป็นสีเหลืองของขิงสกัดผงลดลง เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูง ร่วมกับอัตราเร็วในการป้อนสารสูง ในส่วนของขนาด และรูปร่างของอนุภาคที่ได้ทำการศึกษา พบว่าที่อัตราเร็วในการป้อนสารเท่ากัน แต่อุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้น มีผลทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง และมีรูปร่างกลมแต่เกิดการหดตัว เกิดรอยบุ๋ม ทำให้ผิวของอนุภาคผงไม่เรียบ

จากผลการศึกษาสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอย ขิงสกัดผงที่ได้จากอุณหภูมิอากาศขาเข้า 130 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 25 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าขิงสกัดผงที่ได้มีคุณภาพที่ดีในแง่ของคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามพบว่าที่สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วในการป้อนสาร 15 มิลลิลิตรต่อนาที ที่มีปริมาณผลผลิตสูงกว่า

ทำให้ขิงสกัดผงที่ได้จากสภาวะนี้ สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบที่มีประโยชน์สำหรับอาหารเพื่อสุขภาพ ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม และโภชนเภสัชภัณฑ์ได้ดีที่สุด ในแง่ของความคงตัวของขิงสกัดผงที่มีปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ และการดูดความชื้นต่ำ คุณลักษณะด้านสีของขิงสกัดผงที่ยังคงมีสีเหลือง ความหนาแน่นเชิงปริมาตรที่สูง ทำให้สามารถอัดแน่นลงในแคปซูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ ได้ในปริมาณมากขึ้น อีกทั้งยังคงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ และยังคงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงอยู่อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าต่ำ และอัตราเร็วในการป้อนสารสูงมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตลดต่ำลงเนื่องจากเกิดการเกาะติดกับผนังของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงอาจทำให้ผู้ที่ใช้สภาวะนี้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย อาจมีการใช้สารห่อหุ้มชนิดอื่นนอกเหนือจากมอลโตเด็กซ์ตรินมาร่วมด้วยซึ่งอาจช่วยให้เกิดการสร้างโครงสร้างร่างแหระหว่างสารห่อหุ้ม 2 ชนิดขึ้นไป อาจเป็นแนวทางทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้สภาวะนี้

2. จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธี อาจมีการศึกษาสารประกอบที่เฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้นโดยใช้วิธี High performance liquid chromatography (HPLC) เพื่อทำให้สามารถระบุสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3. สำหรับปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสาร ซึ่งระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษาอาจเหมาะสมสำหรับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยรุ่นนี้ หากมีการปรับเปลี่ยนขนาดของเครื่อง อาจปรับระดับของอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอัตราเร็วในการป้อนสารเป็นระดับอื่นๆ ตามความเหมาะสม

4. สำหรับขิงสกัดผงที่ได้จากการทดลองนี้ หรือหากมีผู้สนใจทำการผลิต อาจมีการควบคุมสภาวะในการเก็บรักษา เพื่อให้ขิงสกัดผงที่ได้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น และไม่เสื่อมเสียทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาก่อนนำไปใช้งาน หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ หรือผสมลงในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แคปซูลขิงสกัดผง ไอศกรีมเสริมคุณค่าด้วยขิงสกัดผง ฯลฯ เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพต่างๆ มากขึ้น

5. สำหรับผู้สนใจที่จะนำสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ไปใช้ในการต่อยอดงานวิจัยต่างๆ หรือใช้ในการผลิตจริง อาจเลือกใช้สภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ระดับต่างๆ ตามความเหมาะสมกับงาน หรือสิ่งที่จะผลิต ทั้งนี้ขึ้นกับความต้องการของผู้สนใจว่าต้องการเน้นในเรื่องของปริมาณผลผลิต หรือคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ หรือปริมาณสารประกอบต่างๆ รวมไปถึงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

โกสินทร์ วิระษร, กุลธิดา กล้ารอด, ประณิธี หงส์ประภาส, พัชรี บุญศิริ. 2014. ภาวะถูกออกซิไดซ์เกินสมดุลและสารต้านออกซิเดชั่นกับโรคมะเร็ง. **ศรีนครินทร์เวชสาร.** 29: 207-219.

จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์. 2549. ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากขิงและผลิตภัณฑ์ขิง. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เจนจิรา จิรัมย์, ประสงค์ สีหานาม. 2554. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์.** 1: 59-70.

นิจศิริ เรืองศรี. 2542. **เครื่องเทศ.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุหรัน พันธุ์สวรรค์. 2556. อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 21: 275-286.

เบญจา ชุตินทราศี. 2550. **เทคโนโลยีส่วนผสมอาหารสังเคราะห์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

วิวัฒน์ ตัณฑพาณิชกุล. 2529. **อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. **วารสารอาหาร.** 32: 245-253.

เสาวนิตย์ ดาวรัตนชัย. 2545. ขิงแก้อาเจียน. **จุลสารข้อมูลสมุนไพร.** 20: 4-12.

อรนุช โชคชัยเจริญพร. 2536. ขิง. **จุลสารข้อมูลสมุนไพร.** 10: 16-21.

อรรถพล นุ่มหอม. 2544. รายงานเกณฑ์คุณภาพและวิธีการตรวจวัดคุณภาพวัตถุดิบ "ขิง" เพื่ออุตสาหกรรมเกษตร. เทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวและวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการแปรรูป สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย.

เอกดนัย วงศ์ธนบัตร. 2548. การแปรรูปน้ำกะทิอบแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกลักษณ์ ทวีโรจนกุล. 2552. Microencapsulation เทคโนโลยีจิ๋ว แต่แจ๋ว. **วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี.** 36: 39-42.

Abdou, H.M. 2011. Comparative antioxidant activity study of some edible plants used spices in Egypt. **Journal of American Science**. 7: 1118-1122.

Acosta-Estrada, B.A., Guiterrez-Uribe, J.A. and Serna-Saldivar, S.O. 2014. Bound phenolics in foods, a review. **Food Chemistry**. 152: 46-55.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Adel, S.P.R. and Prakash, J. 2010. Chemical composition and antioxidant properties of ginger root (*Zingiber officinale*). **Journal of Medicinal Plants Research**. 4: 2674-2679.

Alamilla-Beltran, L., Chanona-Perez, J.J., Jimenez-Aparicio, A.R. and Gutierrez-Lopez, G.F. 2005. Description of morphological changes of particles along spray drying. **Journal of Food Engineering**. 67: 179-184.

Ali, B.H., Blunden, G., Tanira, M.O. and Nemmar, A. 2008. Some phytochemical: pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber offcinale* Roscoe): a review of recent research. **Food and Chemical Toxicology**. 46: 409-420.

Anandharamakrishnan, C. and Ishwarya, S.P. 2015. **Spray drying techniques for food ingredient encapsulation.** New York: Wiley Blackwell.

Andreasen, M.F., Landbo, A.K., Christensen, L.P., Hansen, A. and Meyer, A.S. 2001. Antioxidant effects of phenolic rye (*Secalecereale L.*) extracts, monomeric hydroxycinnamates, and ferulicacid dehydrodimers on human low-density lipoproteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 49: 4090–4096.

AOAC. 1999. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol II.** Arlington, VA : The Association.

Aruoma, O.I., Spencer, J.P.E., Warren, D., Jenner, P., Butler, J. and Halliwell, B. 1995. Characterization of food antioxidants, illustrated using commercial garlic and ginger preparations. **Food Chemistry**. 60: 149-156.

Azian, M.N., Kamal, A.A.M. and Azlina, M.N. 2004. Changes of cell structure in ginger during processing. **Journal of Food Engineering**. 62: 359-364.

Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**. 99: 191-203.

Balladin, D.A., Headley, O., Chang-yen, I., Duncan, E.J. and McGaw, D.R. 1999. Comparison of the histology of (I) fresh, (II) solar dried and (III) solar dried/steam distilled ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) rhizome tissue prior to the extraction of its pungent principles. **Journal of Renewable Energy**. 17: 207–211.

Bartley, J.P. and Jacobs, A.L. 2000. Effects of drying on flavor compounds in Australian-growth ginger (*Zingiber offcinale*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 80: 209-215.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bhandari, U., Sharma, J.N. and Zafar, R. 1998. The protective action of ethanolicginger (*Zingiber offcinale*) extract in cholesterol fed rabbits. **Journal of Ethnopharmacology**. 61: 167–171.

Bhanger, M.I., Iqbal, S., Anwar, F., Imran, M., Akhtar, M. and Zia-ul-Haq, M. 2008. Antioxidant potential of rice bran extracts and its effects on stabilisation of cookies under ambient storage. **International Journal of Food Science and Technology**. 43: 779–786.

Bhanja, T., Kumari, A. and Banerjee, R. 2009. Enrichment of phenolics and free radical scavenging property of wheat koji prepared with two filamentous fungi. **Bioresource Technology**. 100: 2861–2866.

Bhattarai, S., Tran, V.H. and Duke, C.C. 2001. The stability of gingerol and shogaol in aqueous solution. **Journal of Pharmaceutical Sciences**. 90: 1658–1664.

Branen, A.L., P. Davidson, M. and Salminen, S., editor. 2002. **Food additives.** New York : Marcel Dekker.

Bravo, L. 1998. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**. 56: 317-333.

Butt, M.S. and Sultan, M.T. 2011. Ginger and its health claims: molecular aspects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 51: 383–393.

Cai, Y.Z. and Corke, H. 2000. Production and properties of spray dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**. 65: 1248-1252.

Caliskan, G. and Dirim, S.N. 2013. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**. 91: 539-548.

Caliskan, G. and Dirim, S.N. 2016. The effect of different drying process and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. **Powder Technology**. 287: 308-314.

Chan, E.C., Yap, S.L., Lau, A.J., Leow, P.C., Toh, D.F. and Koh, H.L. 2007. Ultraperformance liquid chromatography/time-of-flight mass spectrometry based metabolomics of raw and steamed *Panax notoginseng*. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**. 21: 519–528.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chan, E.W.C., Lim, Y.Y. and Omar, M. 2007. Antioxidant and antibacterial activity of leaves of *Etlingera* species (*Zingiberaceae*) in Peninsular Malaysia. **Food Chemistry**. 104: 1586-1593.

Chan, E.W.C., Lim, Y.Y., Wong, S.K., Lim, K.K., Tan, S.P., Lianto, F.S. and Yong, M.Y. 2009. Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. **Food Chemistry**. 113: 166–172.

Chari N.K.L., Manasa, D., Srinivas, P. and Sowbhagya, H.B. 2013. Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Food Chemistry**. 139: 509-514.

Chegini, G.R. and Ghobadian, B. 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. **World Journal of Agricultural Sciences**. 3: 230-236.

Cheng, X.L., Liu, Q., Peng, Y.B., Qi, L.W. and Li, P. 2011. Steamed ginger (*Zingiber officinale*): changed chemical profile and increased anticancer potential. **Food Chemistry**. 129: 1785-1792.

Coronel-Aguilera, C.P. and Martin-Gonzalez, M.F.S. 2015. Encapsulation of spray dried β-carotene emulsion by fluidized bed coating technology. **LWT – Food Science and Technology**. 62: 187-193.

Daglia, M. 2012. Polyphenols as antimicrobial agents. **Current Opinion in Biotechnology**. 23: 174–181.

Das, L., Bhaumik, E., Raychaudhuri, U. and Chakraborty, R. 2012. Role of nutraceuticals in human health. **Journal of Food Science and Technology**. 49: 173–183.

Desai, K.G.H. and Park, H.J. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technology**. 23: 1361-1394.

Dey, T.B., Chakraborty, S., Jain, K.K., Sharma, A. and Kuhad, R.C. 2016. Antioxidant phenolics and their microbial production by submerged and solid state fermentation process: A review. **Trends in Food Science and Technology**. 53: 60-74

Ding, S.H., An, K.J., Zhao, C.P., Li, Y., Guo, Y.H. and Wang, Z.F. 2012. Effect of drying methods on volatiles of chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Food and Bioproducts Processing**. 90: 515-524.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dugasani, S., Pichika, M.R., Nadarajah, V.D., Balijepalli, M.K., Tandra, S. and Korlakunta, J.N. 2010. Comparative antioxidant and anti-inflammatory effects of [6]-gingerol, [8]-gingerol, [10]-gingerol and [6]-shogaol. **Journal of Ethnopharmacology**. 127: 515-520.

Elzebroek, A.T.G. and Wind, K. 2008. **Guide to Cultivated Plants.** Oxfordshire : CAB International.

Evans, W.C. 1989. **Trease and Evans' Pharmacognosy**. 13th ed. London : Bailliera Tindall.

Fang, Y.Z., Yang, S. and Wu, G. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. **Nutrition**. 18: 872-879.

Fang, Z. and Bhandari, B. 2010. Encapsulation of polyphenols – a review. **Trends in Food Science and Technology**. 21: 510-523.

Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A.K. and Omid, M. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**. 90: 667-675.

Gallegos-Infante, J.A., Rocha-Guzman, N.E., Gonzalez-Laredo, R.F., Medina-Torres, L., Gomez-Aldapa, C.A., Ochoa-Martinez, L.A., Martinez-Sanchez, C.E., Hernandez-Santos, B. and Rodriguez-Ramirez, J. 2013. Physicochemical properties and antioxidant capacity of oak (*Quercus resinosa*) leaf infusions encapsulated by spray-drying. **Food Bioscience**. 2: 31-38.

Gharsallaoui, A., Roudant, G., Chambin, O., Voilley, A. and Saurel, R. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**. 40: 1107-1121.

Gouin, S.. 2004. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. **Trends in Food Science and Technology**. 15: 330-347.

Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. **Drying Technology**. 26: 726-737.

Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. and Kazakis, N.A. 2004. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. **Drying Technology**. 22: 1129-1151.

Gruenwald, J., Freder, J. and Armbruester, N. 2010. Cinnamon and health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 50: 822–834.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gupta, C., Chawla, P., Arora, S., Tomar, S.K. and Singh, A.K. 2015. Iron microencapsulation with blend of gum Arabic, maltodextrin and modified starch using modified solvent evaporation method – Milk fortification. **Food Hydrocolloids**. 43: 622-628

Harborne, J.B., Baxter, H. and Moss, G.P. 1999. **Phytochemical dictionary: Handbook of bioactive compounds from plants**. 2^{nd} ed. London : Taylor and Francis.

He, Y., Barnes, S.E., Crunkleton, D.W. and Price, G.L. 2012. Comparison of ginger oil conversion over MFI, BEA, and FAU. **Fuel**. 96: 469-475.

Hollman, P.C. and Katan, M.B. 1999. Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability. **Food and Chemical Toxicology**. 37: 937–942.

Huang, B., Wang, G., Chu, Z. and Qin, L. 2012. Effect of oven drying, microwave drying, and silica gel drying methods on the volatile components of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by HS-SPME-GC–MS. **Drying Technology**. 30: 248–255.

Ibanez, E., Kubátová, A., Senorans, F.J., Cavero, S., Reglero, G. and Hawthorne, S.B. 2003. Subcritical water extraction of antioxidant compounds from rosemary plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 51: 375–382.

Jelled, A., Fernandes, A. Barros, L., Chadoura, H., Achour, L. Ferreira, I.C.F.R. and Cheikh, H.B. 2015. Chemical and antioxidant parameters of dried forms of ginger rhizomes. **Industrial Crops and Products**. 77: 30-35.

Kamble, V.A. and Patill, S.D. 2008. Spices-derived essential oils: Effective antifungal and possible therapeutic agents. **Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants**. 14: 129-143.

Kanakdande, D., Bhosale, R. and Singhal, R.S. 2007. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. **Carbohydrate Polymers**. 67: 536-541.

Kehrer, J.P. and Klotz, L.O. 2015. Free radicals and related reactive species as mediators of tissue injury and disease: implications for health. **Critical Reviews in Toxicology**. 45: 765-798.

Kha, T.C., Nguyen, M.H. and Roach, P.D. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**. 98: 385-392.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kim, B., Kim, J., Kim, H., and Heo, M. 1997. Biological screening of 100 plants for cosmetic use (II): antioxidant activity and free radical scavenging activity. **International Journal of Cosmetic Science**. 19: 299-307.

Kim, I.L., Yang, M., Goo, T.H., Jo, C., Ahn, D.U., Park, J.H., Lee, O.H. and Kang, S.N. 2012. Radical scavenging-linked antioxidant activities of commonly used herbs and spices in Korea. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**. 63: 603–609.

Kubra, I.R. and Rao, L.J.M. 2012. Microwave drying of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and its effects on polyphenolic content and antioxidant activity. **International Journal of Food Science and Technology**. 47: 2311–2317.

Langer, E., Greifenberg, S. and Gruenwald, J. 1998. Ginger: history and use. **Advances in Therapy**. 15: 25–44.

Langrish, T.A.G., Chan, W.C. and Kota, K. 2007. Comparison of maltodextrin and skim milk wall deposition rates in a pilot-scale spray dryer. **Powder Technology**. 179: 84-89.

Liu, R. 2007. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**. 46: 207–219.

Liyana-Pathirana, C.M. and Shahidi, F. 2006. Importance of insoluble-bound phenolics to antioxidant properties of wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 54: 1256–1264.

Masullo, M., Montoro, P., Mari, A., Pizza, C. and Piacente, S. 2015. Medicinal plants in the treatment of women's disorders: analytical strategies to assure quality, safety and efficacy. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.** 113: 189–211.

Mishra, B.B., Gauta, S. and Sharma, A. 2004. Shelf-life extension of fresh ginger (*Zingiber officinale*) by gamma irradiation. **Journal of Food Microbiology and Safety**. 69: 274–279.

Mishra, P., Mishra, S. and Mahanta, C.L. 2014. Effect of maltodextrin concentration and inlet air temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**. 92: 252-258.

Miyazawa, M. and Kameoka, H. 1988. Volatile flavor components of *Zingiberis Rhizoma* (*Zingiber officinale* Roscoe). **Agricultural and biological chemistry**. 52: 2961-2963.

Nardini, M. and Ghiselli, A. 2004. Determination of free and bound phenolic acids in beer. **Food Chemistry**. 84: 137–143.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S. and Bugarski, B. 2011. An overview of encapsulation technologies for food applications. **Procedia Food Science**. 1: 1806-1815.

Neilsen, P.V. and Rios, R. 2000**.** Inhibition of fungal growth on bread by volatile components from spices and herbs, and the possible application in active packaging, with special emphasis on mustard essential oil. **International Journal of Food Microbiology**. 60: 219–229.

Nile, S.H. and Park, S.W. 2015. Chromatographic analysis, antioxidant, anti-inflammatory, and xanthine oxidase inhibitory activities of ginger extracts and its reference compounds. **Industrial Crops and Products**. 70: 238-244.

Ok, S. and Jeong, W.S. 2012. Optimization of extraction conditions for the 6-shogaol rich extract from ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Preventive Nutrition and Food Science**. 17: 166–171.

Onyenekwe, P.C. and Hashimoto, S. 1999. The composition of the essential oil of dried Nigerian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **European Food Research and Technology**. 209: 407-410.

Papadakis, E., Gardeli, C. and Tzia, C. 2006. Spray drying of juice concentrate. **Drying Technology**. 24: 173-180.

Parthasarathy, V.A., Chempakam, B. and John, Z.T., editor. 2008. **Chemistry of spices.** Oxfordshire : CAB International.

Pekal, A. and Pyrzynska, K. 2014. Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. **Food Analytical Methods**. 7: 1776-1782.

Peter, K.V., editor. 2001. **Handbook of herbs and spices.** New York : CRC Press.

Phoungchandang, S. and Saentaweesuk, S. 2011. Effect of two stage, tray and heat pump assisted-dehumidified drying on drying characteristics and qualities of dried ginger. **Food and Bioproducts Processing**. 89: 429–437.

Pinela, J., Barros, L., Carvalho, A.M. and Ferreira, I.C.F.R. 2011. Influence of the drying method in the antioxidant potential and chemical composition of four shrubby flowering plants from the tribe Genisteae (Fabaceae). **Food and Chemical Toxicology**. 49: 2983–2989.

Puengphian, C. and Sirichote, A. 2008. 6-Gingerol content and bioactive properties of ginger (*Zingiber offcinale* Roscoe) extracts from supercritical CO_2 extraction. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**. 1: 29-36.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Purseglove, J.W., Brown, E.G., Green, C.L. and Robbins, S.R.J. 1981. **Spices Volume 1.** New York: Wiley and Longman.

Quek, S.Y., Chok, N.K. and Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**. 46: 386-392.

Rajabi, H., Ghorbani, M. Jafari, S.M., Mahoonak, A.S. and Rajabzadeh, G. 2015. Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. **Food Hydrocolloids**. 51: 327-337.

Rani, K. 1999. Cyclisation of farnesyl pyrophosphate into sesquiterpenoids in ginger rhizomes (*Zingiber officinale*). **Fitoterapia**. 70: 568-574.

Ray, S., Raychaudhuri, U. and Chakraborty, R. 2016. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. **Food Bioscience**. 13: 76-83.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. 1998. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**. 26: 1231-1237.

Redgrove, H.S. 1993. **Spices and Condiments.** London : Pitman.

Rice-Evans, C.A., Miller, N.J. and Paganga, G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology and Medicine**. 20: 933-956.

Rice-Evans, C.A., Miller, N.J. and Paganga, G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science**. 2: 152-159.

Robbins, R.J. 2003. Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 51: 2866–2887.

Rosenberg, M., Kopelman, I.J. and Talmon, Y. 1985. A scanning electron microscopy study of microencapsulation. **Journal of Food Science**. 50: 139-144.

Sancho, A.I., Bartolom, B., Gomez-Cordoves, C., Williamson, G. and Faulds, C.B. 2001. Release of ferulic acid from cereal residues by barley enzymatic extracts. **Journal of Cereal Science**. 34: 173–179.

Santiago-Adame, R., Medina-Torres, L., Gallegos-Infante J.A., Calderas, F., Gonzalez-Laredo, R.F., Rocha-Guzman, N.E., Ochoa-Martinez, L.A. and Bernad-Bernad, M.J. 2015. Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusion (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. **LWT – Food Science and Technology**. 64: 571-577.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Semwal, R.B., Semwal, D.K., Combrinck, S. and Viljoen, A.M. 2015. Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. **Phytochemistry**. 117: 554-568

Shukla, Y. and Singh, M. 2007. Cancer preventive properties of ginger: A brief review. **Food and Chemical Toxicology**. 45: 683-690.

Sikora, E., Cieslik, E., Leszcznska, T., Filipiak-Florkiewicz, A. and Pisulewski, P.M. 2008. The antioxidant activity of selected cruciferous vegetables subjected to aquathermal processing. **Food Chemistry**. 107: 55-59.

Silva, J.D.A., Maciel, M.I., Moura, N.P.D., Junior, M.E.D.S., Melo, J.V.D., Azoubel, P.M. and Melo, E.D.A. 2014. Influence of process conditions on drying by atomization pulp umbu. **Journal of Bioprocessing and Biotechniques**. 4: 163-171.

Simon-Brown, K.M., Solval, K.M., Chotiko, A., Alfaro, L., Reyes, V., Liu, C., Dzandu, B., Kyereh, E., Barnaby, A.G., Thompson, I., Xu, Z. and Sathivel, S. 2016. Microencapsulation of ginger (*Zingiber officinale*) extract by spray drying technology. **LWT - Food Science and Technology**. 70: 119-125

Singh, A. and Mooter, G.V.D. 2016. Spray drying formulation of amorphous solid dispersion. **Advanced Drug Delivery Reviews**. 100: 27-50.

Singh, G., Kapoor, I.P.S., Singh, P., Heluani, C.S.D., Lampasona, M.P.D. and Catalan, C.A.N. 2008. Chemistry, antioxidant and antimicrobial investigations on essential oil and oleoresins of *Zingiber officinale*. **Food and Chemical Toxicology**. 46: 3295-3302.

Sogi, D.S., Siddiq, M., Greiby, I. and Dolan, K.D. 2013. Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of 'Tommy Atkins' mango peel and kernel as affected by drying methods. **Food Chemistry**. 141: 2649-2655.

Sosnik, A. and Seremeta, K.P. 2015. Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. **Advances in Colloid and Interface Science**. 223: 40-54.

Sousa, A.S.D., Borges, S.V., Magalhaes, N.F., Ricardo, H.V. and Azevedo, A.D. 2008. Spray-dried tomato powder: Reconstitution properties and colour. **Brazilian Archieves of Biology and Technology**. 51: 807-814.

Tavares, G.M., Croguennec, T., Carvalho, A.F. and Bouhallab, S. 2014. Milk proteins as encapsulation devices and delivery vehicle: Application and trends. **Trends in Food Science and Technology**. 37: 5-20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tonon, R.V., Brabet, C. and Hubinger, M.D. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**. 88: 411-418.

Vidovic, S.S., Vladic, J.Z., Vastag, Z.G., Zekovic, Z.P. and Popovic, L.M. 2014. Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in *Satureja Montana* dry powder extract obtained by spray drying technique. **Powder Technology**. 258: 209-215.

Vos, P.D., Faas, M.M., Spasojevic, M. and Sikkema, J. 2010. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. **International Dairy Journal**. 20: 292-302.

Wanasundara, U.N. and Shahidi, F. 1998. Antioxidant and pro-oxidant activity of green tea extracts in marine oils. **Food Chemistry**. 63: 335-342.

Wang, Z., Wang, K.J., Cheng, C.S., Li, N., Wang, T.M. and Di, L. 2011. Gingerol derivatives from the rhizomes of *Zingiber officinale*. **Zeitschrift fuer Naturforschung B**. 66: 740–744.

Wasowicz, E., Gramza, A., Hes, M., Jelen, H.H., Korczak, J., Malecka, M. Mildner-Szkudlarz, S., Rudzinska, M., Samotyja, U. and Zawirska-Wojtasiak, R. 2004. Oxidation of lipids in food. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**. 13: 87-100.

Wohlmuth, H., Leach, D.N., Smith, M.K. and Myers, S.P. 2005. Gingerol content of diploid and tetraploid clones of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53: 5772-5778.

Wong, D.W.S. 2006. Feruloyl esterase: A key enzyme in biomass degradation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. 133: 87–112.

Wood, C., Wagovich, M.J. and Hollis, D.M. 2001. Herbals, cancer prevention and health. **Journal of Nutrition**. 131: 3034–3036.

Yeh, H.Y., Chuang, C.H., Chen, H.C., Wan, C.J., Chen, T.L. and Lin, L.Y. 2014. Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts. **LWT – Food Science and Technology**. 55: 329–334.

Yonei, Y. and Ohinata, H. 1995. Extraction of ginger flavor with liquid or supercritical carbon dioxide. **Journal of Supercritical Fluids**. 8: 156-161.

Yoshii, H., Soottitantawat, A., Liu, X.D., Atarashi, T., Furuta, T., Aishima, S., Ohgawara, M. and Linko, P. 2001. Flavor release from spray-dried maltodextrin/gum arabic or soy matrices

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

as a function of storage relative humidity. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 2: 55-61.

Zarate, R. and Yeoman, M. 1994. Studies of the cellular localization of the phenolic pungent principle of ginger, *Zingiber officinale* Roscoe. **The New Phytologist**. 126: 295–300.

Zarate, R. and Yeoman, M.M. 1996. Changes in the amounts of gingerol and derivatives during a culture cycle of ginger, *Zingiber officinale*. **Plant Science**. 121: 115-122.

Zick, S.M., Djuric, Z., Ruffin, M.T., Litzinger, A.J., Normolle, D.P., Alrawi, S., Feng, M.R. and Brenner, D.E. 2008. Pharmacokinetics of 6-gingerol, 8-gingerol, 10-gingerol, and 6-shogaol and conjugate metabolites in healthy human subjects. **Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention**. 17: 1930–1936.

Zuidam, N.J. and Nedovic, V.A., editor. 2010. **Encapsulation technologies for food active ingredients and food processing.** Dordrecht : Springer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ภาคผนวก ก.1 การวิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

การตรวจวิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้ ใช้วิธีดัดแปลงของ Papadakis และคณะ (2006) โดยมีวิธีการตรวจวิเคราะห์ ดังนี้

1. วิธีการวิเคราะห์

1.1 ชั่งน้ำหนักขิงสกัดผง จำนวน 30 กรัม ใส่ลงในกระบอกตวงพลาสติก ขนาด 100 มิลลิลิตร ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน และปิดปากกระบอกตวงเพื่อไม่ให้ขิงสกัดผงกระเด็นออกมา

1.2 เขย่ากระบอกตวงขึ้น-ลงด้วยความสูง 10 เซนติเมตร จำนวน 100 ครั้ง

1.3 บันทึกค่าความสูงที่ได้ในหน่วยมิลลิลิตร โดยเทียบกับปริมาตรของกระบอกตวง

1.4 คำนวณค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้ดังสมการ ก.1

2. วิธีการคำนวณ

$$D = \frac{m}{v} \qquad \text{(ก.1)}$$

เมื่อ	D	คือ	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัม ต่อ มิลลิลิตร)
	m	คือ	น้ำหนักของขิงสกัดผงที่ชั่งลงในกระบอกตวง ในหน่วยกรัม
	v	คือ	ความสูงของขิงสกัดผงที่ได้หลังเขย่า 100 ครั้ง ในหน่วยมิลลิลิตร

รายละเอียดการคำนวณแสดงดังภาคผนวก ค.4

ภาคผนวก ก.2 การวิเคราะห์ค่าสี

การตรวจวิเคราะห์ค่าสีของขิงสกัดผงที่ได้ ใช้วิธีดัดแปลงของ Simon-Brown และคณะ (2016) และรายงานค่าสีในรูปแบบ CIELAB color scales เมื่อ L^* คือ ระดับของความสว่าง (lightness) a^* คือ ระดับของความมีสีแดงถึงสีเขียว และ b^* คือ ระดับของความมีสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน โดยมีวิธีการตรวจวิเคราะห์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีการวิเคราะห์

1.1 เปิดเครื่องวัดสี ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที

1.2 ทำการตั้งค่าเครื่องวัดสี ให้มีความเหมาะสมกับตัวอย่างที่เป็นผง โดยกำหนดแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน illuminate = D65, observe = 10”, mode = RSEX (วัดโดยรวมลักษณะพื้นผิว), area view = Large และ port size = 1.00”

1.3 ทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (calibrate) สำหรับ RSEX mode ก่อนทำการวัดวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยใช้แผ่น light trap และแผ่นสีขาวมาตรฐาน ที่มีค่า X = 80.41, Y = 85.25 และ Z = 88.99 ดังภาพที่ ก.1 วางที่ reflectance port แล้วกดวัด

1.4 นำขิงสกัดผงใส่ลงในคิวเวตควอตซ์ (ภาพที่ ก.2) ขนาด 50 x 50 มิลลิเมตร สำหรับวัดค่าสีของตัวอย่าง

1.5 วางคิวเวตที่มีขิงสกัดผงให้ตรงกับช่องวัดค่าสี และครอบด้วยแผ่นครอบสีดำ ดังภาพที่ ก.3

1.6 กดปุ่มวัดตัวอย่าง รอจนกว่าเครื่องจะทำการวัดเสร็จสิ้น

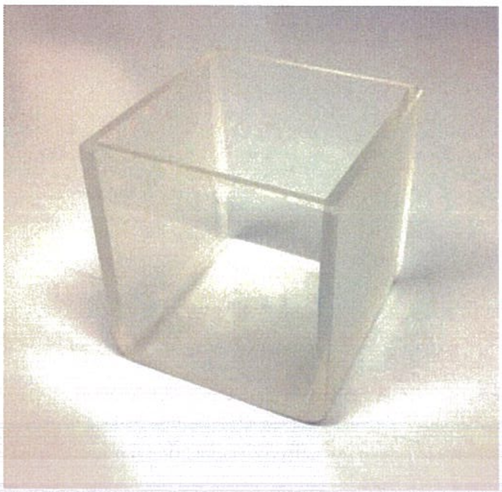
1.7 เครื่องจะวัดค่า *L** *a** และ *b** ของตัวอย่าง

1.8 ทำการวัดจนครบ 3 ซ้ำ

1.9 นำค่า *L** *a** และ *b** ที่ได้ไปใช้ในการคำนวณค่า *a*/b**, hue angle และ chroma ต่อไป (ภาคผนวก ค.5)

ภาพที่ ก.1 แผ่น light trap (ซ้าย) และแผ่นสีขาวมาตรฐาน (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.2 คิวเวตควอตซ์สำหรับใส่ตัวอย่างที่เป็นของแข็ง หรือผงสำหรับวัดค่าสี

ภาพที่ ก.3 ลักษณะการใส่ตัวอย่างผงลงในคิวเวต และการครอบด้วยแผ่นครอบสีดำเพื่อวัดค่าสี

2. วิธีการคำนวณ

2.1 การคำนวณค่า hue ใช้สมการ ก.2 ดังต่อไปนี้

$$\text{Hue} = \tan^{-1}\left(\frac{b*}{a*}\right) \tag{ก.2}$$

2.2 การคำนวณค่า chroma ใช้สมการ ก.3 ดังต่อไปนี้

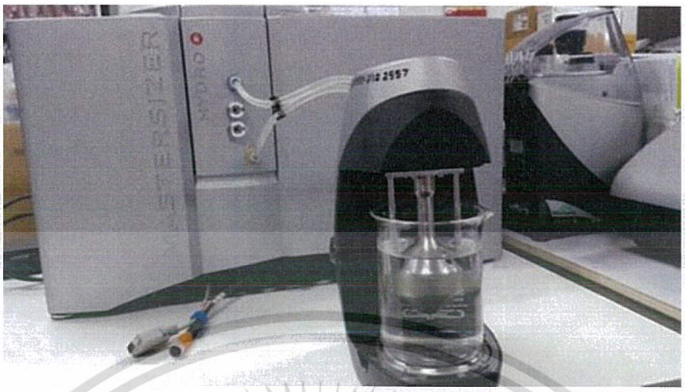
$$\text{Chroma} = [(a*)^2 + (b*)^2]^{\frac{1}{2}} \tag{ก.3}$$

ภาคผนวก ก.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของผง

การตรวจวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของขิงสกัดผง ได้ทำการส่งตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (The Scientific and Technological

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Equipment Centre, STREC) สามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัว (ภาพที่ ก.4) โดยอาศัยหลักการกระจายตัวของตัวอย่างในของไหลตัวกลาง เพื่อศึกษาการกระจายของขนาดอนุภาคของตัวอย่างขิงสกัดผงที่ได้ โดยใช้แสงเลเซอร์



ภาพที่ ก.4 เครื่องวัดขนาดอนุภาคและการกระจายตัว (laser particle size distribution analyzer) รุ่น Mastersizer 3000

ที่มา : http://www.strec.chula.ac.th/equipment/ (2017)

ภาคผนวก ก.4 การวิเคราะห์รูปร่างของผง

การตรวจวิเคราะห์รูปร่างของขิงสกัดผงที่ได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพที่ ก.5) ได้ทำการส่งตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (The Scientific and Technological Research Equipment Centre, STREC) สามารถทำได้โดยนำตัวอย่างขิงสกัดผงวางลงบนแท่นวัดวิเคราะห์ จากนั้นนำตัวอย่างขิงสกัดผงที่ติดอยู่บนแท่นวัดวิเคราะห์นั้นไปทำการฉาบด้วยทองคำ และนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายที่ต้องการ สำหรับการทดลองนี้ใช้กำลังขยาย 500 และ 2000 เท่า

ภาพที่ ก.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) รุ่น JSM-6400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ทางเคมี

ภาคผนวก ข.1 การเตรียมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80

การเตรียมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 เตรียมได้จากสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ ข.1 ดังนี้

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (ข.1)$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นเอทานอลร้อยละ 95

C_2 คือ ความเข้มข้นของเอทานอลที่ต้องการเจือจาง

V_1 คือ ปริมาตรน้ำกลั่นที่ต้องการหาเพื่อทำการเจือจาง

V_2 คือ ปริมาตรรวม

ภาคผนวก ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การตรวจวิเคราะห์ความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้ ใช้วิธีของ AOAC (1999) 930.15 และรายงานปริมาณความชื้นในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก โดยมีวิธีการตรวจวิเคราะห์ ดังนี้

1. วิธีการวิเคราะห์

1.1 ชั่งน้ำหนักขิงสกัดผง จำนวน 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน และตัวอย่างขิงสกัดผงกระจายตัวอย่างเหมาะสม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

1.2 นำเข้าไปอบด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 135±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ดังภาพที่ ข.1

1.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างออกมาพักทิ้งไว้ให้เย็น โดยนำใส่ลงในโถดูดความชื้น (desiccator) เป็นระยะเวลา 15-20 นาที ดังภาพที่ ข.2

1.4 เมื่อตัวอย่างขิงสกัดผงเย็นลง (มีอุณหภูมิต่ำลง) นำมาชั่งน้ำหนักหลังอบตัวอย่าง จนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

1.5 คำนวณหาปริมาณความชื้นจากน้ำหนักที่หายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ข.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงด้วยตู้อบลมร้อน

ภาพที่ ข.2 การเก็บขิงสกัดผงลงในโถดูดความชื้น

2. วิธีการคำนวณ

สำหรับการคำนวณปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้ ให้ใช้สมการ ข.2 โดยมีรายละเอียดการคำนวณแสดงดังภาคผนวก ค.2

$$\text{ร้อยละของความชื้น (น้ำหนักฐานเปียก)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักขิงสกัดผงก่อนและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของขิงสกัดผงก่อนอบ}} \times 100 \qquad (\text{ข.2})$$

ภาคผนวก ข.3 การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้

การตรวจวิเคราะห์ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผงที่ได้ มีวิธีการตรวจวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. วิธีการวิเคราะห์

1.1 เปิดเครื่องวอเตอร์ แอคทิวิตี้ (ภาพที่ ข.3) ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ก่อนทำการวัดวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ปรับมาตรฐาน (calibrate) เครื่องวอเตอร์ แอคทิวิตี้ด้วยน้ำ DI

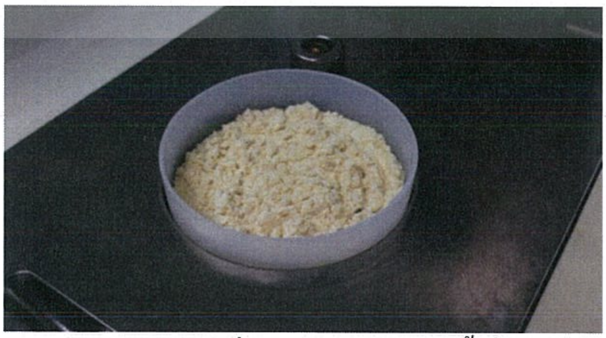
1.3 วัดวิเคราะห์ค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ของขิงสกัดผง โดยการนำขิงสกัดผงใส่ลงในตลับพลาสติก ให้มีความสูงอยู่ประมาณ 1/3 ของตลับ หรือไม่เกินครึ่งหนึ่ง และเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (ภาพที่ ข.4) และใส่ลงในเครื่องวอเตอร์ แอคทิวิตี้ โดยไม่ต้องปิดฝา ดังภาพที่ ข.5

1.4 วัดค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ที่ได้จากเครื่องมือวัด บันทึกค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้ที่แน่นอน

1.5 ทำการวัดจนครบ 3 ครั้ง

ภาพที่ ข.3 เครื่องวัดวอเตอร์ แอคทิวิตี้ 4TE AQUALAB

ภาพที่ ข.4 ขิงสกัดผงในตลับวัดค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้



ภาพที่ ข.5 การใส่ขิงสกัดผงลงในเครื่องวอเตอร์ แอคทิวิตี้เพื่อวัดค่าวอเตอร์ แอคทิวิตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดความชื้น

การตรวจวิเคราะห์ความสามารถในการดูดความชื้นของขิงสกัดผง ใช้วิธีของ Cai และ Corke (2000) และรายงานค่าความสามารถในการดูดความชื้นของขิงสกัดผงในหน่วยกรัมของความชื้นที่ถูกดูดซึม ต่อ 100 กรัมของขิงสกัดผง โดยมีวิธีการตรวจวิเคราะห์ ดังนี้

1. วิธีการวิเคราะห์

1.1 ชั่งน้ำหนักขิงสกัดผง ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง จำนวน 1.5 กรัม ลงในภาชนะ ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

1.2 เก็บลงในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ที่บรรจุด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่อิ่มตัว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ ข.6

1.3 ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์

1.4 ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างอีกครั้ง เพื่อดูน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

1.5 คำนวณหาปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซึม และรายงานผลของความสามารถในการดูดความชื้นในหน่วยกรัมของความชื้นที่ถูกดูดซึมต่อ 100 กรัมของขิงสกัดผง รายละเอียดการคำนวณแสดงดังภาคผนวก ค.3

ภาพที่ ข.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดความชื้นของขิงสกัดผง

ภาคผนวก ข.5 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากขิงผง และขิงสกัดผงด้วยวิธี Folin-Ciocalteau ใช้วิธีของ Chari และคณะ (2013) โดยสารประกอบโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteau reagent ในสภาวะที่เป็นด่าง และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ที่มีค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร และใช้สารประกอบฟีนอลิกมาตรฐานเป็นกรดแกลลิก (gallic acid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 Folin-Ciocalteau reagent สัดส่วน 1 ต่อ 10

ปิเปตสารละลาย Folin-Ciocalteau reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมรวมกับน้ำกลั่นปริมาตร 45 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย Folin-Ciocalteau reagent สัดส่วน 1 ต่อ 10 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

1.2 โซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 75 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ชั่งน้ำหนักโซเดียมคาร์บอเนต 0.75 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 75 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน (standard curve)

2.1 เตรียมสารละลายกรดแกลลิก ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งน้ำหนักกรดแกลลิก 30 มิลลิกรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้เป็น stock solution สำหรับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ ที่จะเตรียมต่อไป

2.2 เจือจางสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ความเข้มข้น 25, 50, 70, 100, 150, 170 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (7 ระดับความเจือจาง) ดังตารางที่ ข.1

2.3 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่เตรียมที่ระดับความเจือจางต่างๆ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2.4 ปิเปตสารละลาย Folin-Ciocalteau reagent สัดส่วน 1 ต่อ 10 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 นาที

2.5 ปิเปตสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 75 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.6 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร สำหรับ blank ของสารมาตรฐานกรดแกลลิกใช้เป็นน้ำกลั่น

2.7 บันทึกค่าดูดกลืนแสงที่ได้ และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร แสดงดังตารางที่ ข.2 และภาพที่ ข.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	25	50	70	100	150	170	200
ปริมาตร stock solution (มิลลิลิตร)	0.42	0.83	1.17	1.67	2.50	2.83	3.33
ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	4.58	4.17	3.83	3.33	2.50	2.17	1.67
ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

ตารางที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร
25	0.1358
50	0.2231
70	0.3156
100	0.4501
150	0.6333
170	0.7077
200	0.8292

หมายเหตุ : ค่าดูดกลืนแสงมาจากค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำของการทดลอง

3. การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์

3.1 ชั่งน้ำหนักขิงผง 100 กรัม เติมสายละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ลงในขิงผง นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

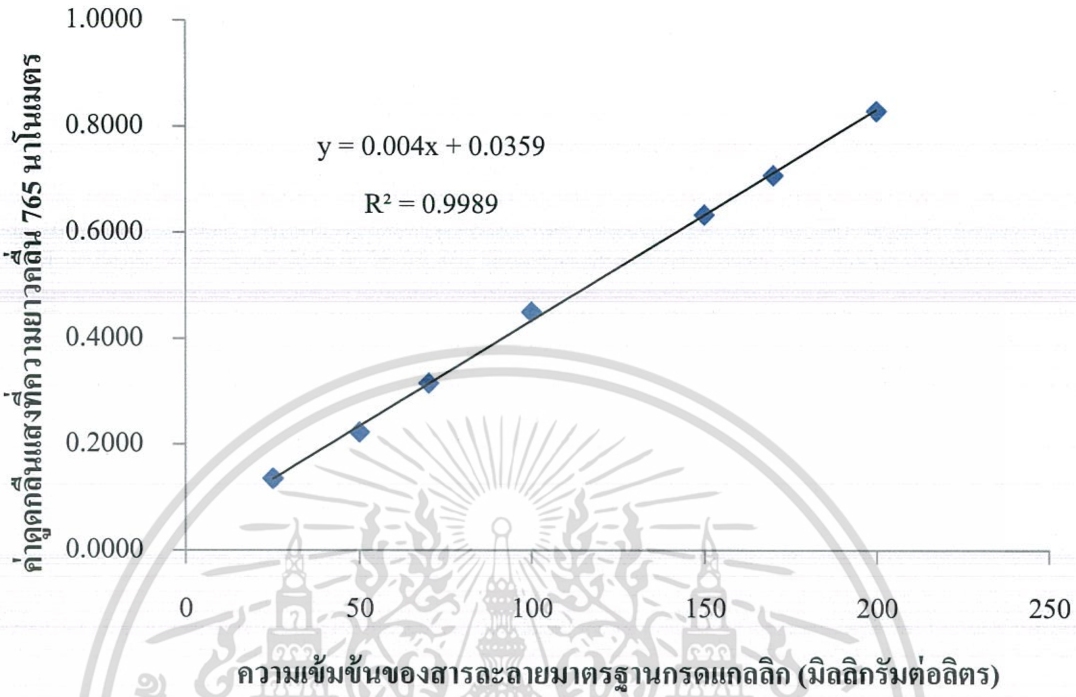
3.2 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างใส่ลงในหลอดเซนทริฟิวส์ หมุนเหวี่ยงแยกตะกอนที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

3.3 นำสารละลายส่วนใสด้านบนที่ไม่ใช่ตะกอน ไปทำการระเหยเอาสารละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

3.4 นำสารสกัดที่ได้ มาเจือจางด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ผสมให้ได้สัดส่วน 1 ต่อ 10 ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่าง สัดส่วน 1 ต่อ 10 เก็บลงในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สำหรับขิงสกัดผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ให้ทำการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกันกับขิงผง โดยทำซ้ำในข้อ 3.1 ถึง 3.4



ภาพที่ ข.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

4. วิธีการวิเคราะห์

4.1 ปิเปตสารสกัดจากขิงผง และขิงสกัดผงที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนก่อนหน้านี้ มาเจือจางด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ให้ได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ลงในหลอดทดลอง

4.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมที่ระดับความเจือจางต่างๆ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

4.3 ปิเปตสารละลาย Folin-Ciocalteau reagent สัดส่วน 1 ต่อ 10 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 นาที

4.4 ปิเปตสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 75 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4.5 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร สำหรับ blank ใช้เป็นสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 บันทึกค่าดูดกลืนแสงที่ได้ และรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดตัวอย่าง (ภาคผนวก ค.6)

ภาคผนวก ข.6 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดจากขิงผง และขิงสกัดผงด้วยวิธี aluminium chloride method ใช้วิธีดัดแปลงของ Jelled และคณะ (2015) ซึ่งอาศัยพื้นฐานของการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนอลูมิเนียม (aluminium complex formation) ที่มีความจำเพาะกับสารประกอบฟลาโวนอยด์ในกลุ่ม flavonols และ flavone luteolin โดยสารประกอบฟลาโวนอยด์จะอยู่ในสารละลายที่มีสภาวะเป็นด่าง และมีสารละลายโซเดียมไนไตรท์ ($NaNO_2$) เล็กน้อย เมื่อใส่สารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ($AlCl_3$) ลงไป จะทำให้เกิดสารประกอบสีเหลืองเกิดขึ้น และเมื่อใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงไป จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีไปเป็นสีแดงในทันที (Pekal และ Pyrzynska, 2014) ที่มีค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และใช้สารประกอบฟลาโวนอยด์มาตรฐานเป็นรูติน (rutin)

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลายโซเดียมไนไตรท์ ความเข้มข้นร้อยละ 5

ชั่งน้ำหนักโซเดียมไนไตรท์ 2.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไนไตรท์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10

ชั่งน้ำหนักอลูมิเนียมคลอไรด์ 5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

1.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 4

ชั่งน้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน (standard curve)

2.1 เตรียมสารละลายรูติน ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งน้ำหนักรูติน 0.05 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานรูตินที่มีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เป็น stock solution สำหรับสารละลายมาตรฐานรูตินที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ ที่จะเตรียมต่อไป

2.2 เจือจางสารละลายมาตรฐานรูตินด้วยสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ให้ได้ความเข้มข้น 150, 200, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 และ 700 มิลลิกรัมต่อลิตร (10 ระดับความเจือจาง) ดังตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานรูตินสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานรูติน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	150	200	300	350	400	450	500	550	600	700
ปริมาตร stock solution (มิลลิลิตร)	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	7.00
ปริมาตรสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 (มิลลิลิตร)	8.50	8.00	7.50	7.00	6.00	5.50	5.00	4.50	4.00	3.00
ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

2.3 ปิเปตสารละลายมาตรฐานรูตินที่ระดับความเจือจางต่างๆ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2.4 ปิเปตน้ำกลั่นใส่ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

2.5 ปิเปตสารละลายโซเดียมไนไตรท์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 0.15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 6 นาที

2.6 ปิเปตสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 0.15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 6 นาที

2.7 ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 4 ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และปิเปตน้ำกลั่น 0.2 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในหลอดทดลองโดยทันที เพื่อปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรรวมเป็น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 15 นาที

2.8 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร สำหรับ blank ของสารมาตรฐานรูตินใช้เป็นสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 บันทึกค่าดูดกลืนแสงที่ได้ และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานรูติน (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร แสดงดังตารางที่ ข.4 และภาพที่ ข.8

ตารางที่ ข.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานรูติน (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานรูติน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร
150	0.2444
200	0.2918
300	0.3878
350	0.4423
400	0.4653
450	0.5128
500	0.5738
550	0.6308
600	0.6981
700	0.7813

หมายเหตุ : ค่าดูดกลืนแสงมาจากค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำของการทดลอง

3. การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์

3.1 ชั่งน้ำหนักขิงผง 100 กรัม เติมสายละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ลงในขิงผง นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

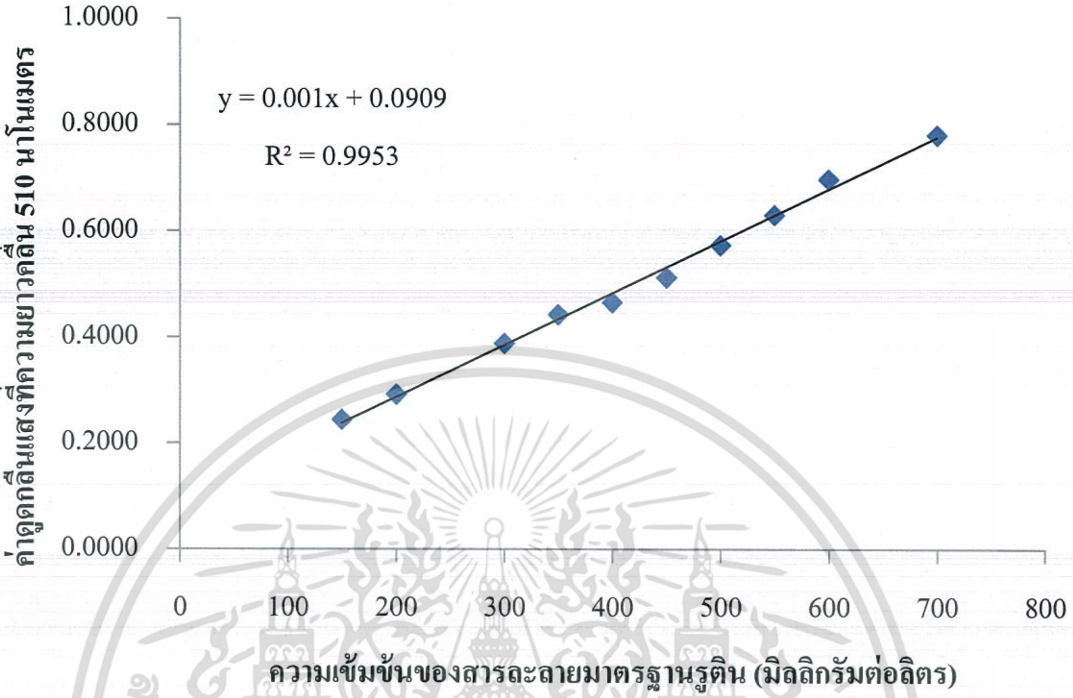
3.2 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างใส่ลงในหลอดเซนทริฟิวส์ หมุนเหวี่ยงแยกตะกอนที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

3.3 นำสารละลายส่วนใสด้านบนที่ไม่ใช่ตะกอน ไปทำการระเหยเอาสารละลายออกด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

3.4 นำสารสกัดที่ได้ มาเจือจางด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ผสมให้ได้สัดส่วน 1 ต่อ 10 ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่าง สัดส่วน 1 ต่อ 10 เก็บลงในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สำหรับขิงสกัดผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ให้ทำการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกันกับขิงผง โดยทำซ้ำในข้อ 3.1 ถึง 3.4



ภาพที่ ข.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานรูติน (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

4. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

4.1 ปิเปตสารสกัดจากขิงผง และขิงสกัดผงที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนก่อนหน้านี้ มาเจือจางด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ให้ได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ลงในหลอดทดลอง

4.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมที่ระดับความเจือจางต่างๆ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

4.3 ปิเปตน้ำกลั่น ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน

4.4 ปิเปตสารละลายโซเดียมไนไตรท์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 6 นาที

4.5 ปิเปตสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 6 นาที

4.6 ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน และปิเปตน้ำกลั่น ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทันที เพื่อปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรรวมเป็น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 15 นาที

4.7 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร สำหรับ blank ใช้เป็นสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80

4.8 บันทึกค่าดูดกลืนแสงที่ได้ และรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของรูตินต่อกรัมของสารสกัดตัวอย่าง (ภาคผนวก ค.7)

ภาคผนวก ข.7 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิงผง และขิงสกัดผงด้วยวิธีดีพีพีเอช (DPPH) ใช้วิธีของ Abdou (2011) ซึ่งอาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีสีม่วงแดง และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยถ้าหากใส่ลงสารละลายที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสี โดยสีของสารละลาย DPPH จะเกิดการจางลง ถ้าหากมีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณมาก สีของสารละลาย DPPH จะจางลงมา ถ้าหากมีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณน้อย สีของสารละลาย DPPH จะจางลงเล็กน้อย เนื่องจากอนุมูลอิสระ DPPH ถูกทำลายไป

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์

ชั่งน้ำหนัก DPPH 0.0197 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน (standard curve)

2.1 เตรียมสารละลายบีเอชเอ (BHA, butylated hydroxyanisole) ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งน้ำหนักบีเอชเอ 0.01 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานบีเอชเอที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เป็น stock solution สำหรับสารละลายมาตรฐานบีเอชเอที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ ที่จะเตรียมต่อไป

2.2 เจือจางสารละลายมาตรฐานบีเอชเอด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ให้ได้ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร (6 ระดับความเจือจาง) ดังตารางที่ ข.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ปิเปตสารละลายมาตรฐานบีเอชเอที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

2.4 ปิเปตสารละลาย DPPH ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

2.5 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร สำหรับ blank ของสารมาตรฐานบีเอชเอใช้เป็นสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95

2.6 บันทึกค่าดูดกลืนแสงที่ได้ และนำไปคำนวณค่าร้อยละของความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของสารละลาย DPPH โดยใช้สมการที่ ข.3

$$\%\text{Inhibition} = 1 - \frac{\text{Sample absorbance}}{\text{Blank absorbance}} \times 100 \qquad (\text{ข}.3)$$

เมื่อ Sample absorbance คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานบีเอชเอ หรือสารตัวอย่าง

Blank absorbance คือ ค่าดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม (control)

2.7 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานบีเอชเอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร แสดงดังตารางที่ ข.6 และภาพที่ ข.9

ตารางที่ ข.5 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานบีเอชเอสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

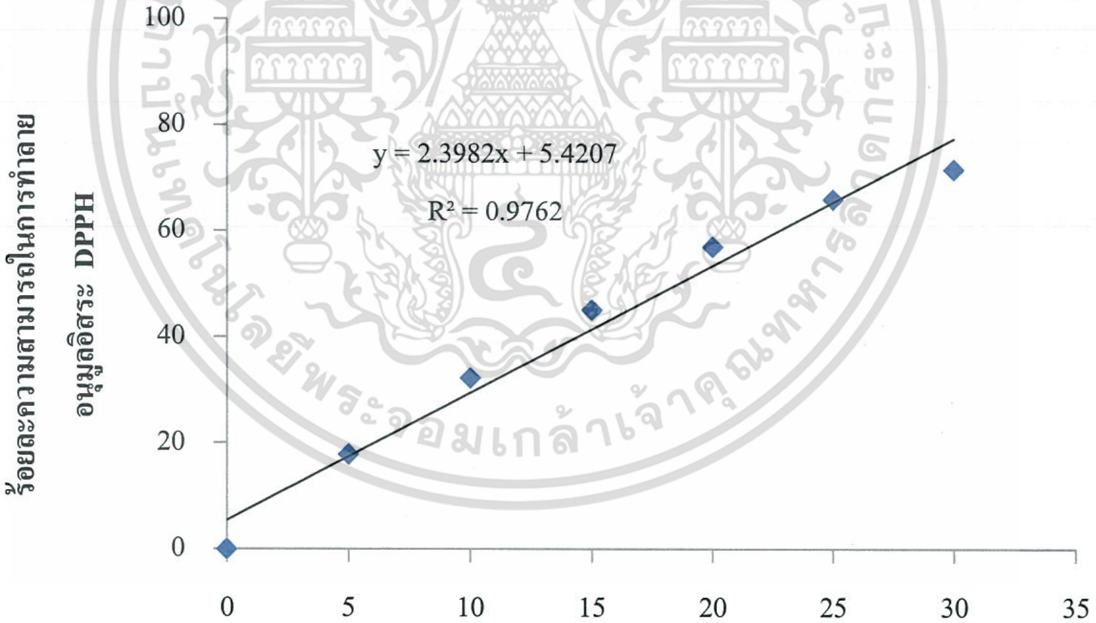
ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานบีเอชเอ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0	5	10	15	20	25	30
ปริมาตร stock solution (มิลลิลิตร)	0	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75
ปริมาตรสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 (มิลลิลิตร)	5	4.875	4.75	4.625	4.5	4.375	4.25
ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานบีเอชเอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานบีเอชเอ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH
0	0.077
5	17.85
10	32.25
15	45.10
20	57.02
25	65.93
30	71.60

หมายเหตุ : ค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH มาจากค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำของการทดลอง



ภาพที่ ข.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานบีเอชเอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์

3.1 ชั่งน้ำหนักขิงผง 100 กรัม เติมสายละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ลงในขิงผง นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.2 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างใส่ลงในหลอดเซนทริฟิวส์ หมุนเหวี่ยงแยกตะกอนที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

3.3 นำสารละลายส่วนใสด้านบนที่ไม่ใช่ตะกอน ไปทำการระเหยเอาสารละลายออกด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

3.4 นำสารสกัดที่ได้ มาเจือจางด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ผสมให้ได้สัดส่วน 1 ต่อ 10 ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่าง สัดส่วน 1 ต่อ 10 เก็บลงในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.5 สำหรับขิงสกัดผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ให้ทำการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกันกับขิงผง โดยทำซ้ำในข้อ 3.1 ถึง 3.4

4. วิธีการวิเคราะห์

4.1 ปิเปตสารสกัดจากขิงผง และขิงสกัดผงที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนก่อนหน้านี้ มาเจือจางด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ให้ได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม

4.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมที่ระดับความเจือจางต่างๆ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

4.3 ปิเปตสารละลาย DPPH ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่มีตัวอย่างอยู่ ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง

4.4 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร สำหรับ blank ใช้เป็นสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80

4.5 บันทึกค่าดูดกลืนแสงที่ได้ และนำไปคำนวณค่าร้อยละของความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของสารละลาย DPPH โดยใช้สมการที่ ข.4

$$\%\text{Inhibition} = 1 - \frac{\text{Sample absorbance}}{\text{Blank absorbance}} \times 100 \qquad (ข.4)$$

เมื่อ Sample absorbance คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานบีเอชเอ หรือสารตัวอย่าง

Blank absorbance คือ ค่าดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม (control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 คำนวณ และรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของบีเอชเอต่อกรัมของสารสกัดตัวอย่าง (ภาคผนวก ค.8)

ภาคผนวก ข.8 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี ABTS

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิงผง และขิงสกัดผงด้วยวิธีเอบีทีเอส (ABTS) ใช้วิธีดัดแปลงของ Sogi และคณะ (2013) ซึ่งอาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายของอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$ โดยเป็นอนุมูลอิสระสีเขียวปนน้ำเงินที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างสารละลายของอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$ และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$ ถ้าหากมีสารต้านอนุมูลอิสระเข้ามา จะทำให้สีของสารละลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$ จางลง

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลาย ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt) ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์

ชั่งน้ำหนัก ABTS 0.0384 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์

ชั่งน้ำหนักโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.0066 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

1.3 สารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ working solution หรือ ABTS radical cation ($ABTS^{\bullet+}$) solution

นำสารละลาย ABTS ที่เตรียมได้ในข้อ 1.1 ผสมกับ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ที่เตรียมได้ในข้อ 1.2 ผสมกันในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ตามลำดับ ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 12 ถึง 16 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยา และได้สารละลาย $ABTS^{\bullet+}$

ก่อนทำการวิเคราะห์จะต้องเจือจางสีของสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ ด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 เพื่อให้สีของสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ เจือจางลง โดยนำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ให้ได้ค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ อยู่ในช่วง 0.70±0.02 ก่อนนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเตรียมกราฟมาตรฐาน (standard curve)

2.1 เตรียมสารละลายโทรลอกซ์ (trolox, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งน้ำหนักโทรลอกซ์ 0.01 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 และปรับปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ให้ได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ที่มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เป็น stock solution สำหรับสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ ที่จะเตรียมต่อไป

2.2 เจือจางสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ให้ได้ความเข้มข้น 10, 15, 20, 30, 40 และ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร (6 ระดับความเจือจาง) แสดงดังตารางที่ ข.7

2.3 ปิเปตสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2.4 ปิเปตสารละลาย $ABTS^{\bullet +}$ ที่ทำการเจือจางให้อยู่ในช่วง 0.70±0.02 แล้ว ปริมาตร 3.6 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นระยะเวลา 30 นาที

2.5 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร สำหรับ blank ของสารมาตรฐานโทรลอกซ์ใช้เป็นสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95

2.6 บันทึกค่าดูดกลืนแสงที่ได้ และนำไปคำนวณค่าร้อยละของความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารละลาย $ABTS^{\bullet +}$ โดยใช้สมการที่ ข.5

$$\%\text{Inhibition} = 1 - \frac{\text{Sample absorbance}}{\text{Blank absorbance}} \times 100 \qquad (ข.5)$$

เมื่อ Sample absorbance คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานโทรลอกซ์ หรือสารตัวอย่าง

Blank absorbance คือ ค่าดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม (control)

2.7 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet +}$ ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร แสดงดังตารางที่ ข.8 และภาพที่ ข.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 วิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0	10	15	20	30	40	45
ปริมาตร Stock Solution (มิลลิลิตร)	0	0.25	0.375	0.50	0.75	1.00	1.125
ปริมาตรสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 (มิลลิลิตร)	5	4.75	4.625	4.50	4.25	4.00	3.875
ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

ตารางที่ ข.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{\cdot+}$

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{\cdot+}$
0	0.51
10	20.38
15	28.69
20	42.47
30	61.20
40	82.26
45	86.64

หมายเหตุ : ค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{\cdot+}$ มาจากค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำของการทดลอง

3. การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์

3.1 ชั่งน้ำหนักขิงผง 100 กรัม เติมสายละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 ลงในขิงผง นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

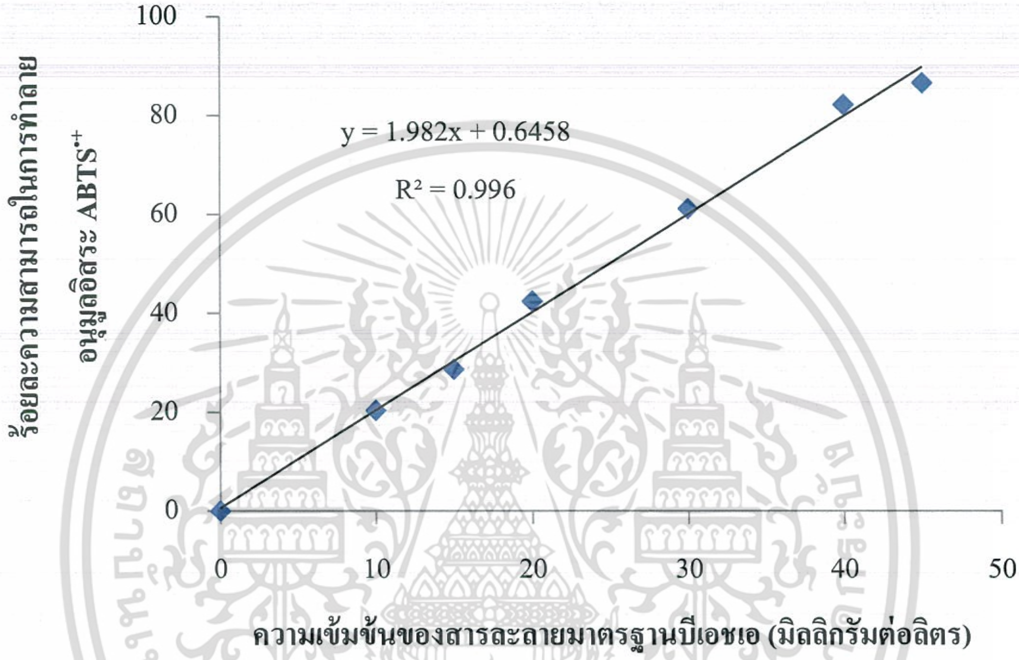
3.2 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างใส่ลงในหลอดเซนทริฟิวส์ หมุนเหวี่ยงแยกตะกอนที่ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

3.3 นำสารละลายส่วนใสด้านบนที่ไม่ใช่ตะกอน ไปทำการระเหยเอาสารละลายออกด้วยเครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 นำสารสกัดที่ได้ มาเจือจางด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ผสมให้ได้สัดส่วน 1 ต่อ 10 ผสมให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่าง สัดส่วน 1 ต่อ 10 เก็บลงในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.5 สำหรับขิงสกัดผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ให้ทำการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกันกับขิงผง โดยทำซ้ำในข้อ 3.1 ถึง 3.4



ภาพที่ ข.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับค่าร้อยละความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$

4. วิธีการวิเคราะห์

4.1 ปิเปตสารสกัดจากขิงผง และขิงสกัดผงที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนก่อนหน้านี้ มาเจือจางด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ให้ได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ลงในหลอดทดลอง

4.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมที่ระดับความเจือจางต่างๆ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

4.3 ปิเปตสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ ที่ทำการเจือจางให้อยู่ในช่วง 0.70±0.02 แล้ว ปริมาตร 3.6 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ผสมให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นระยะเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร สำหรับ blank ของสารมาตรฐานโทรลอกซ์ใช้เป็นสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 80

4.5 บันทึกค่าดูดกลืนแสงที่ได้ และนำไปคำนวณค่าร้อยละของความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารละลาย $ABTS^{\cdot+}$ โดยใช้สมการที่ ข.6

$$\%\text{Inhibition} = 1 - \frac{\text{Sample absorbance}}{\text{Blank absorbance}} \times 100 \qquad (ข.6)$$

เมื่อ Sample absorbance คือ ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐาน โทรลอกซ์ หรือสารตัวอย่าง
Blank absorbance คือ ค่าดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาควบคุม (control)

4.6 คำนวณ และรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัมของสารสกัดตัวอย่าง (ภาคผนวก ค.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณผลการทดลอง

ภาคผนวก ค.1 การคำนวณปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงที่ได้

สำหรับการคำนวณหาปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ สามารถคำนวณออกมาเป็นร้อยละของปริมาณผลผลิต โดยใช้สมการ ค.1 ดังนี้

$$\text{ร้อยละของปริมาณผลผลิต} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งที่ได้ (กรัม)} \times 100}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารผสม (กรัม)}} \qquad \text{(ค.1)}$$

1. วิธีการคำนวณ

1.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารผสม

คิดได้จาก ปริมาณสารสกัดที่ใช้ และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ใช้ เช่น ใช้สารสกัดปริมาณ 34 กรัม และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน 340 กรัม

ดังนั้น จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารผสม ปริมาณ 374 กรัม

1.2 ปริมาณของแข็งที่ได้หลังผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย

คิดได้จาก ปริมาณผลผลิตที่ได้หลังผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่หักปริมาณความชื้นออกแล้ว เช่น ขิงสกัดผงที่ได้ ปริมาณ 250 กรัม มีความชื้น ร้อยละ 2 จะได้ว่า

$$\frac{98}{100} \times 250 = 245$$

ดังนั้น จะมีปริมาณของแข็งที่ได้หลังผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย 245 กรัม

1.3 ร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้

นำผลที่ได้จากข้อ 1 และข้อ 2 มาใช้ในการคำนวณ โดยแทนค่าลงในสมการ จะได้ว่า

$$\frac{245}{374} \times 100 = 65.51$$

ดังนั้น ร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ คือ 65.51 หรือ ร้อยละ 65.51 หรือ 65.51 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.2 การคำนวณปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้

สำหรับการคำนวณหาปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ สามารถคำนวณออกมาเป็นร้อยละของปริมาณความชื้น โดยใช้สมการ ค.2 ดังนี้

$$\text{ร้อยละของความชื้น (น้ำหนักฐานเปียก)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักขิงสกัดผงก่อนและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักของขิงสกัดผงก่อนอบ}} \times 100 \qquad (\text{ค.2})$$

1. วิธีการคำนวณ

1.1 น้ำหนักของขิงสกัดผงก่อนอบ

คิดได้จากการชั่งน้ำหนักขิงสกัดผงที่ได้ ปริมาณ 2.0000 กรัม ลงในถ้วยอลูมิเนียมด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.2 น้ำหนักของขิงสกัดผงหลังอบ

หลังจากอบตัวอย่างขิงสกัดผงที่ชั่งน้ำหนักแล้ว โดยใช้ตู้อบลมร้อน ดังวิธีในภาคผนวก ข.2 ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ เช่น 1.9328 กรัม

1.3 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)

นำผลที่ได้จากข้อ 1 และข้อ 2 มาใช้ในการคำนวณ โดยแทนค่าลงในสมการ จะได้ว่า

$$\frac{2.0000 - 1.9328}{2.0000} \times 100 = 3.3600$$

ดังนั้น ร้อยละของปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้ คือ 3.36 หรือ ขิงสกัดผงมีปริมาณความชื้น 3.36 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ค.3 การคำนวณความสามารถในการดูดความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้

สำหรับการคำนวณหาความสามารถในการดูดความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ โดยสามารถรายงานผลของความสามารถในการดูดความชื้นได้ในหน่วยของกรัมของความชื้นที่ถูกดูดซึมต่อ 100 กรัมของขิงสกัดผง แสดงตัวอย่างการคำนวณ ดังนี้

1. วิธีการคำนวณ

เมื่อ ขิงสกัดผงเริ่มต้น (วันที่ 0) ชั่งน้ำหนัก 1.5000 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ขิงสกัดผงสุดท้าย (วันที่ 7) ชั่งน้ำหนัก 1.7417 กรัม ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น หาปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซึมได้จากน้ำหนักของขิงสกัดผงที่เปลี่ยนแปลงไป

ขิงสกัดผงดูดความชื้นไปทั้งหมด 1.7417 – 1.5000 = 0.2417 กรัม

เทียบบัญญัติไตรยางศ์ ดังนี้

น้ำหนักขิงสกัดผงเริ่มต้น 1.5000 กรัม ปริมาณความชื้นที่ดูดซึมได้ 0.2417 กรัม

ถ้าขิงสกัดผง 100 กรัม ขิงสกัดผงมีความสามารถในการดูดความชื้น 16.11 กรัม

ดังนั้น ขิงสกัดผงมีความสามารถในการดูดความชื้น 16.11 กรัม ต่อ 100 กรัมของขิงสกัดผง

ภาคผนวก ค.4 การคำนวณความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้

สำหรับการคำนวณหาความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ โดยสามารถรายงานผลของความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้ในหน่วย กรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้สมการ ค.3 ดังนี้

$$D = \frac{m}{v} \qquad (ค.3)$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัม ต่อ มิลลิลิตร)

m คือ น้ำหนักของขิงสกัดผงที่ชั่งลงในกระบอกตวง ในหน่วยกรัม

v คือ ความสูงของขิงสกัดผงที่ได้หลังเขย่า 100 ครั้ง ในหน่วยมิลลิลิตร

1. วิธีการคำนวณ

เมื่อ ชั่งน้ำหนักขิงสกัดผง 30 กรัม ลงในกระบอกตวงพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร

เขย่าขึ้นลงด้วยความสูง 10 เซนติเมตร เป็นจำนวน 100 ครั้ง และวัดปริมาตรความสูงสุดท้ายโดยดูจากความสูงของขิงสกัดผงในกระบอกตวงในหน่วยมิลลิลิตร ที่ปริมาตร 48 มิลลิลิตรจะได้ว่า

$$\frac{30}{48} = 0.6250$$

ดังนั้น ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้ คือ 0.6250 กรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.5 การคำนวณค่าสีของขิงสกัดผงที่ได้

สำหรับการคำนวณหาค่าสีของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ โดยสามารถรายงานผลค่าสีของขิงสกัดผงที่ได้ในรูปแบบ $L*$, $a*$ และ $b*$ นำมาคำนวณค่า chroma และ hue angle โดยใช้สมการ ค.4 และ ค.5 ดังนี้

$$\text{Chroma} = [(a*)^2 + (b*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (ค.4)$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1}(\frac{b*}{a*}) \quad (ค.5)$$

1. วิธีการคำนวณ

1.1 การคำนวณค่า chroma

เมื่อวัดค่าสีของขิงสกัดผงได้ค่า $a*$ คือ 1.32 และ $b*$ คือ 21.13

chroma จะได้ว่า $[(1.32)^2 + (21.13)^2]^{\frac{1}{2}}$

ดังนั้น ขิงสกัดผงที่ได้จะมีค่า Chroma คือ 21.17

1.2 การคำนวณค่า hue angle

เมื่อวัดค่าสีของขิงสกัดผงได้ค่า $a*$ คือ 1.32 และ $b*$ คือ 21.13

hue angle จะได้ว่า $\tan^{-1}(\frac{21.13}{1.32})$

ดังนั้น ขิงสกัดผงที่ได้จะมีค่า hue angle คือ 1.51

ภาคผนวก ค.6 การคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สำหรับการคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ สามารถทำได้ดังวิธีการคำนวณดังนี้

1. วิธีการคำนวณ

1.1 คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐาน

คำนวณจากสมการเส้นตรง y = 0.004x + 0.0359 ที่ได้จากกราฟมาตรฐาน (ภาพที่ ข.7)

สมมติค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่วัดได้ที่ระดับการเจือจาง 1 ต่อ 1000 คือ 0.6782

นำค่าดูดกลืนแสงแทนลงใน y ของสมการเส้นตรง จะได้ x = 160.575 มิลลิกรัมต่อลิตร เทียบบัญญัติไตรยางศ์ ดังนี้

ใน 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 160.575 มิลลิกรัม

ดังนั้น ใน 10 มิลลิลิตร มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 1.6058 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 คำนวณปริมาณสารสกัดที่ทำการเจือจางที่ระดับต่างๆ

1.2.1 ที่ระดับการเจือจาง 1 ต่อ 10

นำสารสกัด ปริมาณ 5.52 กรัม ละลายในตัวทำละลาย ปริมาตร 49.68 มิลลิลิตร

เทียบบัญญัติไตรยางศ์ ดังนี้

สมมติว่าในสารละลาย ปริมาตร 49.68 มิลลิลิตร มีปริมาณสารสกัด 5.52 กรัม

ดังนั้น ในสารละลาย ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จะมีปริมาณสารสกัด 0.11 กรัม

1.2.2 ที่ระดับการเจือจาง 1 ต่อ 100

ปิเปตสารละลายจากข้อ 2.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ละลายในตัวทำละลาย ปริมาตร 9 มิลลิลิตร

เทียบบัญญัติไตรยางศ์ ดังนี้

สมมติว่าในสารละลาย ปริมาตร 10 มิลลิลิตร มีปริมาณสารสกัด 0.11 กรัม

ดังนั้น ในสารละลาย ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จะมีปริมาณสารสกัด 0.01 กรัม

1.2.3 ที่ระดับการเจือจาง 1 ต่อ 1000

ปิเปตสารละลายจากข้อ 2.2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ละลายในตัวทำละลาย ปริมาตร 9 มิลลิลิตร

ดังนั้น จะมีปริมาตรสารละลาย 10 มิลลิลิตร มีปริมาณสารสกัด 0.01 กรัม

1.3 คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผง

จากข้อ 1 และข้อ 2 สามารถเทียบบัญญัติไตรยางศ์ได้ ดังนี้

ปริมาณสารสกัด 0.01 กรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 1.6058 มิลลิกรัม

ปริมาณสารสกัด 1 กรัม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 160.58 มิลลิกรัม

ดังนั้น สารสกัดขิงจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 160.58 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดตัวอย่าง

ภาคผนวก ค.7 การคำนวณปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

สำหรับการคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกันกับการคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้ ดังแสดงใน ภาคผนวก ง.6

ใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานรูติน (ภาพที่ ข.8)

ใช้ระดับการเจือจางของการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (ภาคหนวก ข.6)

รายงานผลในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของรูตินต่อกรัมของสารสกัดตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.8 การคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH)

สำหรับการคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกันกับการคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้ ดังแสดงใน ภาคผนวก ง.6

ใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานบีเอชเอ (ภาพที่ ข.9)

ใช้ระดับการเจือจางของการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (ภาคหนวก ข.7)

รายงานผลในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของบีเอชเอต่อกรัมของสารสกัดตัวอย่าง

ภาคผนวก ค.9 การคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (วิธี ABTS)

สำหรับการคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกันกับการคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสกัดผงที่ได้ ดังแสดงใน ภาคผนวก ง.6

ใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน โทรลอกซ์ (ภาพที่ ข.10)

ใช้ระดับการเจือจางของการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS (ภาคหนวก ข.8)

รายงานผลในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลของโทรลอกซ์ต่อกรัมของสารสกัดตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม SPSS v.16.0

ตารางที่ ง.1 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณผลผลิตของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1069.415	8	133.677	5.758	0.001
Within Groups	417.856	18	23.214		
Total	1487.271	26			

ตารางที่ ง.2 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18.876	8	2.360	80.361	0.000
Within Groups	0.529	18	0.029		
Total	19.405	26			

ตารางที่ ง.3 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณวอเตอร์ แอกทิวิตี้ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.030	8	0.004	72.177	0.000
Within Groups	0.001	18	0.000		
Total	0.031	26			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถในการดูดความชื้นของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	32.245	8	4.031	149.159	0.000
Within Groups	0.486	18	0.027		
Total	32.731	26			

ตารางที่ ง.5 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความหนาแน่นเชิงปริมาตรของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.036	8	0.005	23.764	0.000
Within Groups	0.003	18	0.000		
Total	0.040	26			

ตารางที่ ง.6 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความสว่างของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	34.376	8	4.297	50.334	0.000
Within Groups	1.537	18	0.085		
Total	35.913	26			

ตารางที่ ง.7 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า a^*/b^* ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.002	8	0.000	32.408	0.000
Within Groups	0.000	18	0.000		
Total	0.003	26			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.8 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า hue angle ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.008	8	0.001	17.797	0.000
Within Groups	0.001	18	0.000		
Total	0.009	26			

ตารางที่ ง.9 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า chroma ของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	70.534	8	8.817	197.784	0.000
Within Groups	0.802	18	0.045		
Total	71.337	26			

ตารางที่ ง.10 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากขิงและขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22018.256	9	2446.473	320.621	0.000
Within Groups	152.608	20	7.630		
Total	22170.864	29			

ตารางที่ ง.11 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดจากขิง และขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	122363.068	9	13595.896	921.626	0.000
Within Groups	295.042	20	14.752		
Total	122658.110	29			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.12 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดจากขิง และขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	46991.586	9	5221.287	604.904	0.000
Within Groups	172.632	20	8.632		
Total	47164.218	29			

ตารางที่ ง.13 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS ของสารสกัดจากขิง และขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	500494.478	9	55610.498	368.521	0.000
Within Groups	3018.036	20	150.902		
Total	503512.514	29			

ตารางที่ ง.14 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของขนาดอนุภาคของขิงสกัดผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	17905.769	2	8952.884	142.514	0.000
Within Groups	376.927	6	62.821		
Total	18282.696	8			

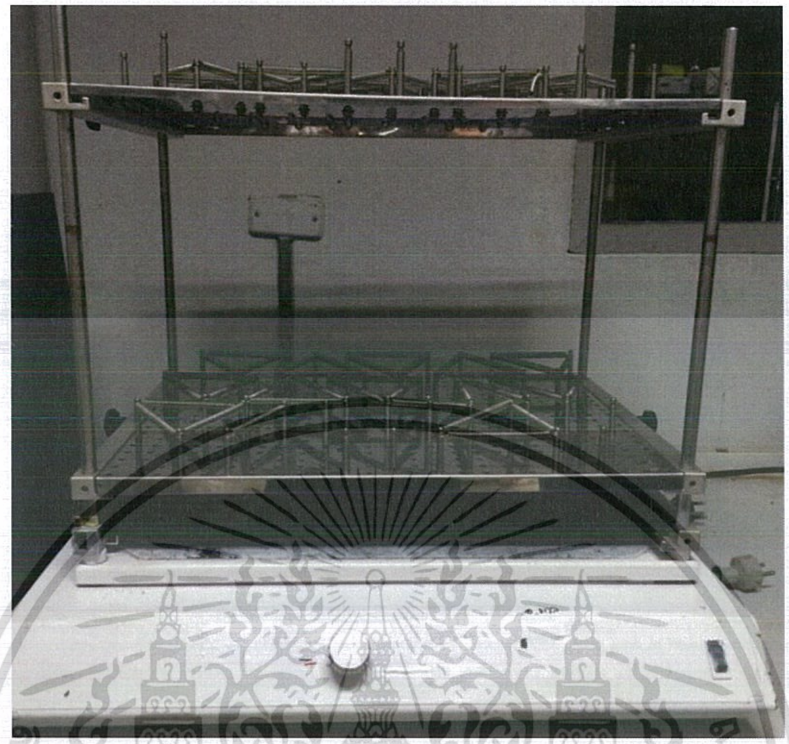
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

เครื่องมือ อุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

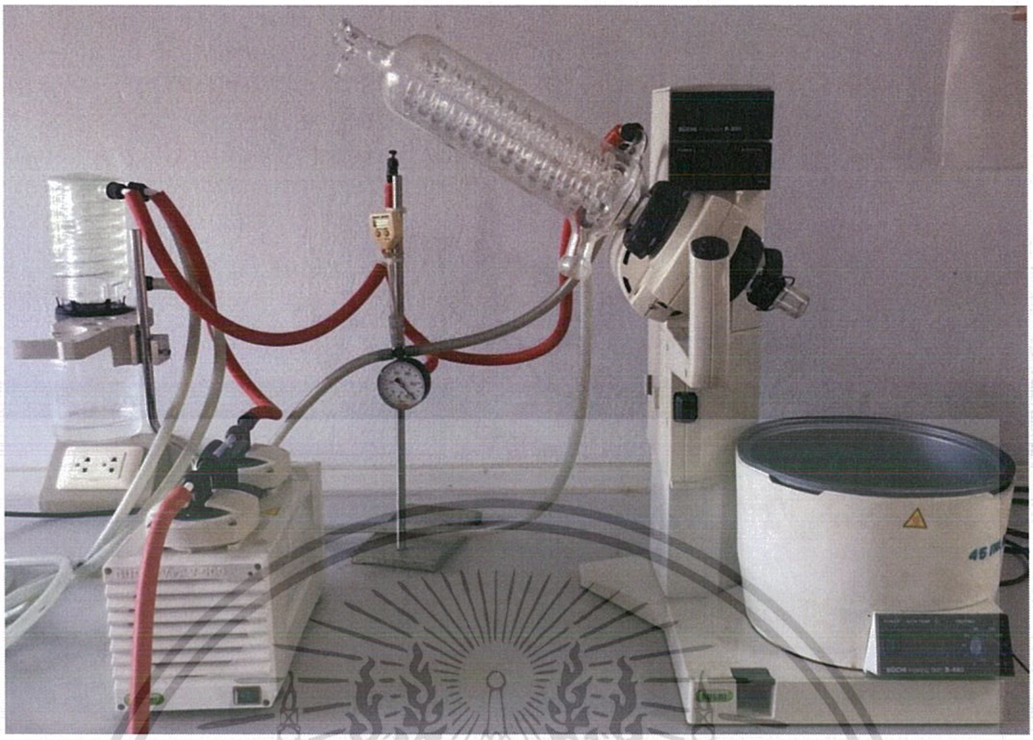
เครื่องมือ อุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ที่ได้



ภาพที่ จ.1 เครื่องเขย่าด้วยแรงกล (mechanical shaker)

ภาพที่ จ.2 เครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอน (centrifuge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ จ.3 เครื่องระเหยสุญญากาศ (rotary evaporator)

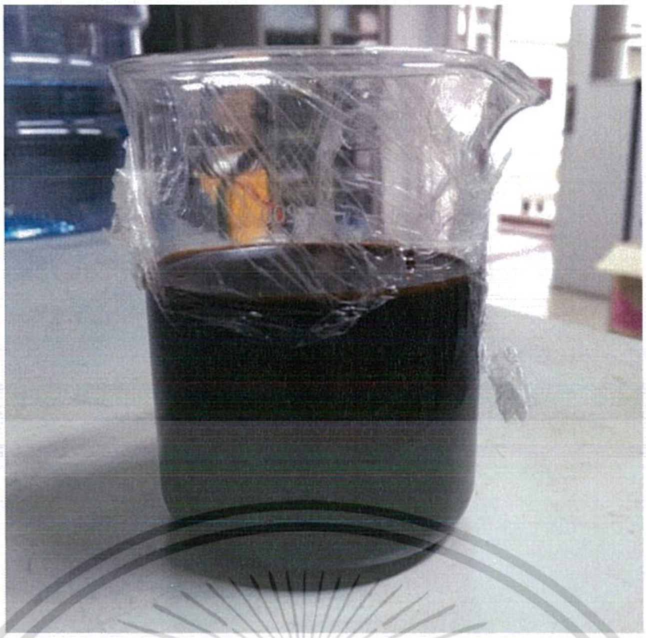
ภาพที่ จ.4 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ... ...นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ จ.5 เครื่องวัดสี (color meter)

ภาพที่ จ.6 เครื่อง UV-Visible spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ จ.7 สารสกัดจากขิงที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล เข้มข้นร้อยละ 80

ภาพที่ จ.8 ตัวอย่างขิงสกัดผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขิงผงสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขิงผงสำเร็จรูป

ภาคผนวก ฉ.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขิงผงสำเร็จรูป (มผช.121/2556)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมขิงผงสำเร็จรูปพร้อมชงดื่ม อยู่ในลักษณะเป็นเกล็ดขนาดเล็ก และเป็นผง บรรจุในภาชนะบรรจุ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ขิงผงสำเร็จรูป หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำสกัดจากเหง้าขิงแก่ที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ *Zingiber officinale* Roscoe มาผสมกับน้ำตาลหรือสารให้ความหวานแทนน้ำตาล อาจเติมเกลือ น้ำผึ้งในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรุงแต่งรส ให้ความร้อนจนเข้มข้นและแห้งเป็นเกล็ดขนาดเล็กหรือบดเป็นผง อาจทำให้แห้งอีกครั้ง

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นเกล็ดขนาดเล็กหรือเป็นผง แห้ง ไม่จับตัวเป็นก้อน

3.2 สี

ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของขิงผงสำเร็จรูปและส่วนประกอบที่ใช้

3.3 กลิ่น

ต้องมีกลิ่นดีตามธรรมชาติของขิงผงสำเร็จรูปและส่วนประกอบที่ใช้ ไม่มีกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ

3.4 กลิ่นรส

สารละลายในน้ำเดือดต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของขิงผงสำเร็จรูปและส่วนประกอบที่ใช้ ไม่มีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นรสเปรี้ยวบูด

เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนตามข้อ 8.1 แล้ว ต้องไม่มีลักษณะใดได้ 1 คะแนน จากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

3.5 การละลาย

ต้องละลายในน้ำเดือดได้ภายในเวลา 30 วินาที โดยยอมให้มีส่วนที่มะลายน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 0.5

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 8.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 สิ่งแปลกปลอม

ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

3.7 วอเตอร์แอกทิวิตี

ต้องไม่เกิน 0.6

การทดสอบให้ใช้เครื่องวัดวอเตอร์แอกทิวิตีที่ควบคุมอุณหภูมิที่ (25±2) องศาเซลเซียส

หมายเหตุ วอเตอร์แอกทิวิตี เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งมีผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำอิสระที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต

3.8 วัตถุเจือปนอาหาร

3.8.1 ห้ามใช้สีสังเคราะห์และวัตถุกันเสียทุกชนิด

3.8.2 หากมีการใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาล ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กฎหมายกำหนด

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า

3.9 สารปนเปื้อน

3.9.1 ตะกั่ว ต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3.9.2 สารหนู ต้องไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3.9.3 แคดเมียม ต้องไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า

3.10 จุลินทรีย์

3.10.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร

3.10.2 แซลโมเนลลา ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม

3.10.3 สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส ต้องน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.10.4 บาซิลลัส ซีเรียส ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.10.5 คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.10.6 โคลิฟอร์ม โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 2.2 ต่อตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร

3.10.7 เอชเชอริเชีย โคไล ต้องไม่พบในตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร

3.10.8 ยีสต์และรา ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือ BAM (U.S.FDA) หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า

4. สุขลักษณะ

4.1 สุขลักษณะในการทำขิงผงสำเร็จรูป สถานประกอบการต้องได้รับอนุญาตจากกระทรวงสาธารณสุขและให้เป็นไปตามภาคผนวก ฉ.2

5. การบรรจุ

5.1 ให้บรรจุขิงผงสำเร็จรูปในภาชนะบรรจุที่สะอาด ปิดได้สนิท และสามารถป้องกันสิ่งปนเปื้อนจาก ภายนอกได้

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5.2 น้ำหนักสุทธิของขิงผงสำเร็จรูปในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

การทดสอบให้ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่เหมาะสม

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่ภาชนะบรรจุขิงผงสำเร็จรูปทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์ (ตาม มผช.) อาจตามด้วยชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น ขิงผงผสมน้ำตาล

(2) ส่วนประกอบที่สำคัญ เป็นร้อยละของน้ำหนักโดยประมาณและเรียงจากมากไปน้อย

(3) ชนิดและปริมาณวัตถุเจือปนอาหาร (ถ้ามี)

(4) น้ำหนักสุทธิ เป็นมิลลิกรัมหรือกรัม

(5) วัน เดือน ปีที่ทำ และวัน เดือน ปีที่หมดอายุ หรือข้อความว่า "ควรบริโภคก่อน (วัน เดือน ปี)"

(6) ข้อแนะนำในการบริโภคและการเก็บรักษา เช่น ควรเก็บไว้ในที่แห้ง

(7) เลขสารบบอาหาร

(8) ชื่อผู้ทำหรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ขิงผงสำเร็จรูปที่มีส่วนประกอบเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ในระยะเวลาเดียวกัน

7.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

7.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป สี กลิ่น กลิ่นรส สิ่งแปลกปลอม การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ถึงข้อ 3.4 ข้อ 3.6 ข้อ 5. และข้อ 6. ทุกรายการ จึงจะถือว่าขิงผงสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการละลาย วอเตอร์แอกทิวิตี วัตถุเจือปนอาหาร และสารปนเปื้อน ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า 300 กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.5 ข้อ 3.7 ถึงข้อ 3.9 ทุกรายการ จึงจะถือว่าขิงผงสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบจุลินทรีย์ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า 300 กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.10 จึงจะถือว่าขิงผงสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างขิงผงสำเร็จรูปต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.1 ข้อ 7.2.2 และข้อ 7.2.3 ทุกข้อ จึงจะถือว่าขิงผงสำเร็จรูปรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

8. การทดสอบ

8.1 การทดสอบสี กลิ่นและกลิ่นรส

8.1.1 ให้แต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบขิงผงสำเร็จรูปอย่างน้อย 5 คน แต่ละคนจะแยกกันตรวจและให้คะแนน โดยอิสระ

8.1.2 เทตัวอย่างขิงผงสำเร็จรูปในจานกระเบื้องสีขาว ตรวจสอบสีและกลิ่น โดยการตรวจพินิจและดม

8.1.3 เทตัวอย่างขิงผงสำเร็จรูปในภาชนะที่เหมาะสม เติมน้ำเดือดตามปริมาณที่ระบุไว้ที่ฉลาก ปิดฝาทิ้งไว้ 30 วินาที ตรวจสอบกลิ่นรสทันทีโดยการชิม

8.1.4 หลักเกณฑ์การให้คะแนน ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

8.2 การทดสอบการละลาย

8.2.1 เครื่องมือ

8.2.1.1 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม

8.2.1.2 ตู้อบไฟฟ้าที่ปรับและควบคุมอุณหภูมิได้

8.2.1.3 เครื่องดูดสุญญากาศ

8.2.1.4 กรวยกรองพร้อมกระดาษกรองวัตแมน เบอร์ 41 หรือเทียบเท่า

8.2.2 วิธีทดสอบ

ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ให้ทราบมวลที่แน่นอน ใส่ลงไปในน้ำเดือด 200 มิลลิลิตร คนให้ทั่วเป็นเวลา 30 วินาที กรองขณะร้อนผ่านกระดาษกรองวัตแมน ซึ่งอบที่อุณหภูมิ (100±2) องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส จนน้ำหนักคงที่แล้ว โดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศช่วย ล้างส่วนที่ไม่ละลายด้วยน้ำร้อน ที่มีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งไม่มีน้ำตาลเหลืออยู่ ซึ่งทดสอบโดยวิธีของโมลิช (Molisch) โดยเติมสารละลายแอลฟาแนฟทอลในเอทานอล ร้อยละ 5 จำนวน 2 หยด ในน้ำล้าง 2 มิลลิลิตร เขย่า แล้วค่อยๆ รินกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ความหนาแน่นสัมพัทธ์ 1.84 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงที่ข้างๆ ด้านในของหลอดทดลอง จะต้องไม่เกิดวงแหวนสีม่วง นำกระดาษกรองพร้อมส่วนที่ไม่ละลายไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่มอุณหภูมิ (100±2) องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์จนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วชั่ง

8.2.3 วิธีคำนวณ

$$\text{ส่วนที่ไม่ละลายในน้ำ ร้อยละ} = \frac{100\,(M_1 - M_2)}{M}$$

เมื่อ M คือ มวลของตัวอย่าง เป็นกรัม

M_1 คือ มวลของกระดาษกรองและส่วนที่ไม่ละลายก่อนอบ เป็นกรัม

M_2 คือ มวลของกระดาษกรองและส่วนที่ไม่ละลายหลังจากอบแล้ว เป็นกรัม

ตารางที่ 1 หลักเกณฑ์การให้คะแนน (ข้อ 8.1.4)

ลักษณะที่ตรวจสอบ	เกณฑ์ที่กำหนด	คะแนนที่ได้รับ
สี	สีดีตามธรรมชาติของขิงผงสำเร็จรูปและส่วนประกอบที่ใช้	3
	สีพอใช้ใกล้เคียงกับสีตามธรรมชาติของขิงผงสำเร็จรูปและส่วนประกอบที่ใช้	2
	สีผิดปกติหรือมีการเปลี่ยนสี	1
กลิ่น	กลิ่นดีตามธรรมชาติของขิงผงสำเร็จรูปและส่วนประกอบที่ใช้	3
	กลิ่นพอใช้ใกล้เคียงกับกลิ่นตามธรรมชาติของขิงผงสำเร็จรูปและส่วนประกอบที่ใช้	2
	กลิ่นผิดปกติหรือมีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ	1
กลิ่นรส	กลิ่นรสสารละลายของขิงผงสำเร็จรูปและส่วนประกอบที่ใช้เข้มข้นดี	3
	กลิ่นรสสารละลายของขิงผงสำเร็จรูปและส่วนประกอบที่ใช้น้อย	2
	กลิ่นรสสารละลายผิดปกติหรือมีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นรสเปรี้ยวบูด	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.2 สุขลักษณะ (ข้อ 4.1)

1. สถานที่ตั้งและอาคารที่ทำ

1.1 สถานที่ตั้งตัวอาคารและที่ใกล้เคียง อยู่ในที่ที่จะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการปนเปื้อนได้ง่าย โดย

1.1.1 สถานที่ตั้งตัวอาคารและบริเวณโดยรอบสะอาด ไม่มีน้ำขัง แฉะ และสกปรก

1.1.2 อยู่ห่างจากบริเวณหรือสถานที่ที่มีฝุ่น เขม่า ควัน

1.1.3 ไม่อยู่ใกล้เคียงกับสถานที่น่ารังเกียจ เช่น บริเวณเพาะเลี้ยงสัตว์ แหล่งเก็บหรือกำจัดขยะ

1.2 อาคารที่ทำมีขนาดเหมาะสม มีการออกแบบและก่อสร้างในลักษณะที่ง่ายแก่การทะนุบำรุงรักษา การทำความสะอาด และสะดวกในการปฏิบัติงาน โดย

1.2.1 พื้น ฝาผนัง และเพดานของอาคารที่ทำ ก่อสร้างด้วยวัสดุที่คงทน เรียบ ทำความสะอาด และซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่ดีตลอดเวลา

1.2.2 แยกบริเวณที่ทำออกเป็นสัดส่วน สำหรับวัตถุดิบ วัสดุบรรจุ ผลิตภัณฑ์รอการบรรจุ และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ไม่อยู่ใกล้ห้องสุขาซึ่งเปิดสู่บริเวณทำโดยตรง ไม่มีสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือไม่เกี่ยวข้องกับการทำอยู่ในบริเวณที่ทำ

1.2.3 พื้นที่ปฏิบัติงานไม่แออัด มีแสงสว่างเพียงพอ และมีการระบายอากาศที่เหมาะสม

1.2.4 ห้องสุขา อ่างล้างมือมีจำนวนเหมาะสม มีอุปกรณ์เครื่องใช้สำหรับทำความสะอาดหรือฆ่าเชื้อโรค

2. เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำ

2.1 ภาชนะหรืออุปกรณ์ในการผลิตที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ ทำจากวัสดุมีผิวเรียบ ไม่เป็นสนิม ล้างทำความสะอาดได้ง่าย

2.2 เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ สะอาด ก่อนและหลังการใช้งานต้องทำความสะอาด เหมาะสมกับการใช้งาน ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อน ติดตั้งได้ง่าย มีปริมาณเพียงพอ รวมทั้งสามารถทำความสะอาดได้ง่ายและทั่วถึง และเก็บไว้ในที่เหมาะสม

3. การควบคุมกระบวนการทำ

3.1 วัตถุดิบและส่วนผสมในการทำ ต้องสะอาด มีคุณภาพดี ได้จากแหล่งที่เชื่อถือได้ ปลอดภัย จัดเก็บในภาชนะสะอาด ป้องกันการปนเปื้อน แยกเก็บเป็นสัดส่วน

3.2 การทำ การเก็บรักษา การขนย้าย และการขนส่ง ให้มีการป้องกันการปนเปื้อนและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

3.3 เครื่องชั่งที่ใช้ต้องตรวจสอบได้เที่ยงตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การสุขาภิบาล การบำรุงรักษา และการทำความสะอาด

4.1 น้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ และมือของผู้ทำ เป็นน้ำสะอาด และมีปริมาณเพียงพอ

4.2 มีวิธีการป้องกันและกำจัดสัตว์นำเชื้อ แมลง และฝุ่นผงในบริเวณที่ทำตามความเหมาะสม

4.3 มีวิธีการป้องกันไม่ให้สัตว์เลี้ยง เช่น สุนัข แมว เข้าไปในบริเวณที่ทำ

4.4 มีการกำจัดขยะ สิ่งสกปรก และน้ำทิ้ง อย่างเหมาะสม เพื่อไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนกลับลงสู่ผลิตภัณฑ์

4.5 สารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด และใช้กำจัดสัตว์นำเชื้อและแมลง ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และเก็บแยกจากบริเวณที่ทำ เพื่อไม่ให้ปนเปื้อนลงสู่ผลิตภัณฑ์ได้

5. บุคลากรและสุขลักษณะของผู้ทำ

5.1 ผู้ทำทุกคน ต้องมีสุขภาพดีทั้งร่างกายและจิตใจ รักษาความสะอาดส่วนบุคคลให้ดี เช่น สวมเสื้อผ้าที่สะอาด มีผ้าคลุมผมเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นผมหล่นลงในผลิตภัณฑ์ ไม่ไว้เล็บยาว ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งก่อนปฏิบัติงาน หลังการใช้ห้องสุขา และเมื่อมือสกปรก

5.2 ผู้ทำทุกคน ต้องไม่กระทำการใดๆ ที่ไม่ถูกสุขลักษณะในสถานที่ทำ เช่น รับประทานอาหาร สูบบุหรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ณัฐดนัย ปทุมานนท์
วัน เดือน ปีเกิด	30 มีนาคม พ.ศ. 2537
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 55/6 หมู่ 10 ซอยแบริ่ง 22 ถนนสุขุมวิท 107 ตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ รหัสไปรษณีย์ 10270
ประวัติการศึกษา	
ปีการศึกษา 2555-2558	ระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558-2559	ระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) โครงการปริญญาตรีแบบก้าวหน้า (4+1) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์ฝึกงาน	ผ่านการฝึกงานที่บริษัท โอสถสภา จำกัด
ผลงานรางวัลที่ได้รับ	รางวัลป็อปปูล่าโหวตการแข่งขันวิชาการด้านการทดสอบทางจุลชีววิทยา ครั้งที่ 1 (1st AOAC Contest : Microbiological Proficiency Test) วันที่ 27 พฤษภาคม 2558
ผลงานวิจัย	ณัฐดนัย ปทุมานนท์, ธนาภรณ์ โพธิ์พิทักษ์กุล, นันทนา โกรัตนะ และ ศุภวัทน์ เอี่ยมสะอาด. 2558. การพัฒนาและเสริมคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโดยใช้สารสกัดจากขิง. ปัญหาพิเศษ, สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

- Pathumanont, N. and Srikalong, P. 2017. Spray drying conditions on properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extract powder. The 19th Food Innovation Asia Conference 2017, Bangkok, Thailand, 15-17 June 2017.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้