



## รายงานวิจัย

เรื่อง

### การวิจัยพัฒนาเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร

Development of Infrared Gas Heater for Drying Medicinal Mushrooms

ผู้วิจัย

ลือพงษ์ ลือนาม  
สมศักดิ์ คุณาสวรรค์เวช

สังกัด

ภาควิชาพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากร คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 มีนาคม 2562

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณ  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การวิจัยพัฒนาเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร

ชื่อผู้วิจัย นาย ลือพงษ์ ลือนาม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.

นาย สมศักดิ์ คูหาสวรรค์เวช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยประเภท การวิจัยและพัฒนา ประจำปี 2558 จำนวนเงิน 490,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2557 ถึง กันยายน 2558

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาและทดสอบเตาอินฟราเรดต้นแบบ สำหรับใช้ออบแห้งเห็ดสมุนไพร เพื่อทดแทนวิธีการตากแดด ซึ่งเห็ดสมุนไพรที่มีความชื้นสูง จะใช้เวลานานและเกิดการเสียหายหลังจากการตาก ทำให้เห็ดสมุนไพรไม่ได้คุณภาพ การออกแบบเตาอบแห้งสมุนไพร โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เป็นแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดที่มีความร้อนสูง พร้อมระบบควบคุมการไหลของแก๊สและอุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรด ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 1) ชุดเตาอินฟราเรดแหล่งกำเนิดความร้อน 2) หี้ออบแห้งขนาดกว้าง 0.47 x ยาว 1.10 x สูง 0.40 เมตร และ 3) ชุดควบคุมความร้อนที่เตาอินฟราเรด การทดสอบอบแห้งเห็ดหลินจือ ใช้อุณหภูมิเตาอินฟราเรด 744 – 766 องศาเซลเซียส มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงในการกำเนิดรังสี 0.17 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิในหี้ออบแห้งเฉลี่ย 69.9 องศาเซลเซียส สามารถอบแห้งเห็ดได้ครั้งละ 6 กิโลกรัม ลดความชื้นเห็ดที่มีความชื้นเริ่มต้น ร้อยละ 79.62 ฐานเปียก ให้เหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5.60 ฐานเปียก ภายในเวลา 6 ชั่วโมง

## Abstract

The objective of this research is to develop and test the prototype infrared dryer for drying mushrooms as herbs. In order to use instead the sun drying method to dried high moisture content mushrooms which will take a long time and cause damage after passed drying method and 3) heating control set. Lingzhi mushroom drying was tested, an infrared burner temperature was set around 744 - 766 degrees Celsius, at fuel consumption rate for radiation generation about 0.17 kg/hour. The average drying temperature in the chamber was 69.9 degrees Celsius, 6 kilograms of mushroom sample with initial moisture content of 79.62 percent wet basis were dried to 5.60 percent wet basis within 6 hours.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้ โดยการได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ในส่วนของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะนักวิจัยใคร่ขอขอบคุณคณาจารย์ ข้าราชการ นักศึกษา เจ้าหน้าที่ ตลอดจนเกษตรกรผู้เพาะเห็ดทุกท่าน และเกษตรกรทุกท่าน ที่ให้ความรู้ ตอบคำถาม ให้คำปรึกษา อนุเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนความร่วมมือต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

นอกจากนี้คณะผู้ดำเนินการวิจัยใคร่ขอขอบคุณ บุคคล องค์กร หน่วยราชการ สถานประกอบการ ต่างๆ และที่ไม่ได้กล่าวนาม ซึ่งให้ความร่วมมือหรือมีส่วนช่วยให้มีการศึกษาครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้ดำเนินการวิจัย

มีนาคม 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.3 คำสำคัญ (Keywords) ของโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สถานการณ์การผลิตเห็ดของประเทศไทย	4
2.2 การผลิตก้อนเชื้อเห็ด	5
2.3 สารอาหารและคุณสมบัติของเห็ด	5
2.4 สรรพคุณทางยาของเห็ดสมุนไพรมะนัง	6
2.5 หลักการพื้นฐานของรังสีอินฟราเรด	8
2.6 ประเภทของอุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรด	11
2.7 เตาแก๊สอินฟราเรด	12
2.8 การอบแห้ง	13
2.9 กลไกการถ่ายเทมวลสารและความร้อนในการอบแห้ง	13
2.10 ความชื้นของวัสดุ	13
2.11 ความชื้นสมดุล	13
2.12 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ	14
2.13 อัตราการอบแห้งคงที่	14
2.14 การตากแห้งและการอบแห้ง	14
2.15 หลักการอบแห้งอาหารโดยใช้ลมร้อน	15
2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	17
3.1 การออกแบบและทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรมะนังเบื้องต้น	17
3.2 การศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรมะนัง	19
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	21
4.1 ผลการศึกษาออกแบบและทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรมะนังเบื้องต้น	21
4.2 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรมะนัง	25
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	34
5.1 ผลการออกแบบและทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรมะนังเบื้องต้น	34
5.2 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรมะนัง	35
5.3 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก.	39
ภาคผนวก ข.	45
ภาคผนวก ค.	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1 บทนำ

เห็ด เป็นแหล่งอาหารโปรตีนจากธรรมชาติ ที่มีวิวัฒนาการมาจากการประสานเส้นใยจำนวนมากของเชื้อราชั้นสูง และถึงแม้เห็ดจะขาดกรดอะมิโนบางตัว แต่มีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่สำคัญเห็ดยังให้คุณค่าทางโภชนาการและมีสรรพคุณทางยา ซึ่งมีคุณสมบัติที่ช่วยเสริมภูมิคุ้มกันในร่างกาย และช่วยลดอัตราความเสี่ยงจากโรคร้ายต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง เบาหวาน อัลไซเมอร์ หลอดเลือดหัวใจอุดตัน และความดันโลหิตสูง เป็นต้น (มารูจ๊กเห็ดกันเถาะ, 2551)

ปัจจุบันการบริโภคเห็ดเป็นที่นิยมกันแพร่หลายทั้งแบบสด บรรจุกระป๋อง แบบตากแห้ง และมีแนวโน้มที่จะบริโภคเห็ดเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากรูปแบบ และรสชาติเฉพาะตัวที่แตกต่างจากอาหารประเภทพืชผักด้วยกัน รวมทั้งการนิยมรับประทานอาหารแบบมังสวิรัตินี้มากขึ้น ทำให้เห็ดถูกนำมาใช้ปรุงอาหารแทนเนื้อสัตว์มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ยืนยันสรรพคุณของเห็ดว่ามีคุณสมบัติป้องกันโรคได้ โดยปริมาณผลผลิตเห็ดทั่วโลกมีประมาณ 4.27 ล้านตัน เป็นผลผลิตเห็ดแชมปิยองร้อยละ 38 เห็ดนางรมร้อยละ 25 และเห็ดฟางร้อยละ 16 โดยในประเทศไทยมีการผลิตเห็ดฟางมากที่สุดร้อยละ 68.9 รองมาเป็นเห็ดนางรมร้อยละ 12.3 เห็ดหูหนูร้อยละ 11.5 เห็ดหอมร้อยละ 2.5 มีมูลค่าของผลผลิตเห็ดรวมกันกว่า 5 พันล้านบาท (ฐานข้อมูลผลผลิตเห็ด, 2550) การเพาะเห็ดเพื่อจำหน่ายจึงมีกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งแหล่งเพาะเห็ดที่สำคัญตั้งอยู่ในเขตภาคกลางแถบจังหวัด พระนครศรีอยุธยา สระบุรี นครนายก ปทุมธานี และอ่างทอง (ชาญยุทธ์ และคณะ, 2540)

การผลิตเห็ดมีรูปแบบ 2 ลักษณะ ได้แก่ การเพาะเป็นกองเชื้อเห็ดภายในโรงเพาะหรือแปลงเพาะกลางแจ้งส่วนมากเป็นการเพาะเห็ดฟาง และการผลิตเพาะเชื้อในถุงพลาสติกหรือในก้อนเชื้อเห็ด ซึ่งสามารถเพาะเห็ดได้หลายชนิด เช่น เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดขอนขาว เห็ดลม เห็ดเป่าฮื้อ เห็ดหูหนู เห็ดหอม เห็ดครง เห็ดหลินจือ เป็นต้น การผลิตเห็ดสามารถผลิตได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปี โดยมีการจัดการควบคุมการผลิตได้ ทั้งด้านอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ตลอดจนป้องกันโรคและแมลง สามารถเก็บเกี่ยวได้ตามระยะเวลาที่กำหนด สามารถเพิ่มและลดปริมาณการผลิตได้ ซึ่งเกษตรกรผู้เพาะเห็ดทุกรายจะต้องมีเตาต้มน้ำผลิตไอน้ำ สำหรับอบฆ่าเชื้อในโรงเรือนเห็ดและนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเชื้อเห็ดก่อนการเพาะเห็ด (ธนาการเพื่อการเกษตรและสหกรณ์, 2550)

การใช้เห็ดเป็นยาสมุนไพรพบว่ามีมานานกว่าสี่พันปีในประเทศจีน ญี่ปุ่น เกาหลี และได้หวั่นสำหรับประเทศไทยแพทย์พื้นบ้านไทยได้ใช้เห็ดสมุนไพรหลากหลายชนิดในการรักษาโรคนานมาแล้ว เช่น เห็ดหอม เห็ดฟาง เห็ดเป่าฮื้อ เห็ดครง และเห็ดหลินจือ โดยใช้เห็ดครงแก้อ่อนเพลีย รักษาโรคสตรี เห็ดเป่าฮื้อด้านแบคทีเรียและมะเร็ง เป็นต้น ซึ่งเห็ดนอกจากจะใช้เป็นอาหารที่ให้โปรตีน วิตามิน และเกลือแร่สูงแล้วยังมีคุณสมบัติเป็นยารักษาโรคได้อีกด้วย

การแปรรูปเห็ดสมุนไพรส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบการทำแห้ง เพื่อเป็นการถนอมคุณภาพและเก็บรักษาไว้ได้เป็นระยะเวลานาน เป็นการช่วยลดปริมาณและน้ำหนักของเห็ดสมุนไพร ทำให้ต้นทุนในการเก็บรักษาการขนส่งลดลง โดยทั่วไปการทำแห้งเห็ดสมุนไพร จะใช้วิธีการตากแสงอาทิตย์หรือการใช้เครื่องอบแห้ง แต่เห็ดสมุนไพรที่ได้จากการตากแห้งเห็ดจะมีกลิ่นไม่หอมนัก เมื่อเทียบกับการอบแห้งในเครื่องอบแห้งที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้(นราพร, 2537)

การลดความชื้นในอาหารเพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นแต่เดิมใช้การตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แต่มีข้อจำกัดด้านปริมาณแสง, อากาศ และอุณหภูมิที่ใช้ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ และยังต้องใช้ไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่มากและระยะเวลาานาน จึงได้มีการพัฒนารูปแบบการอบแห้งโดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ มาช่วยมากขึ้น ซึ่งมีหลักการคือ นำพลังงานความร้อนที่ได้จาก ก๊าซ น้ำมัน ชีวมวลหรือพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนแก่อาหาร ทำให้อาหารแห้งโดยสามารถควบคุมสภาวะที่ใช้ได้

การผลิตเห็ดอบแห้ง เป็นการถนอมอาหารให้มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น ในปัจจุบันมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมครัวเรือน และอุตสาหกรรมขนาดย่อม ผู้ผลิตรายย่อยมักใช้การตากแห้งแบบธรรมชาติ ซึ่งการตากแห้งตามธรรมชาติมีปัญหาเกี่ยวกับฝุ่นละออง การรบกวนจากแมลงต่างๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำ ไม่ถูกสุขลักษณะ และมีข้อจำกัดเกี่ยวกับฤดูกาล อีกทั้งการตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์แม้ว่าจะใช้ได้ผลดีในกรณีทั่ว ๆ ไป แต่ก็มีข้อเสียอยู่หลายประการ ได้แก่ ปัญหาในช่วงฤดูฝนไม่สามารถตากได้ ความสกปรกจาก ฝุ่นละออง เชื้อรา และแมลง ทำให้เห็ดอบแห้งเกิดการเสียหายหรือสูญเสียคุณภาพ ตลอดจนปัญหาพื้นที่ในการตากแห้งเห็ดต้องไม่เพียงพอ (จันจิรา, 2545)

ตัวอย่างการทำแห้งเห็ดสมุนไพร ดอกเห็ดหลินจือนิยมเก็บไว้ในสภาพแห้ง เมื่อเก็บดอกเห็ดสดมาแล้วต้องตัดส่วนปลายก้านดอกทิ้งเล็กน้อย แล้วล้างดอกเห็ดทิ้งให้สะเด็ดน้ำหรือไม่ต้องล้างน้ำ หั่นเป็นชิ้นบาง ๆ เมื่อหั่นเสร็จต้องรีบนำไปตากหรืออบแห้งทันทีไม่เช่นนั้นจะมีน้ำสีขาว ๆ ออกมาก จะทำให้มีสีชาติดอยู่กับเห็ด ซึ่งทำให้เห็ดเสียราคาได้ การทำแห้ง โดยการตากแดดจัด ๆ สัก 3 ครั้ง แล้วอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือใช้เครื่องอบที่อุณหภูมิ 60 - 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ถึง 24 ชั่วโมง นำมาผึ่งให้เย็นแล้วเก็บใส่ถุงปิดให้มิดชิด (กลุ่มวิจัยพัฒนาระบบเชื้อพันธุ์พืชและจุลินทรีย์, 2556)

รังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation, IR) มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า รังสีใต้แดง หรือรังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและคลื่นแสงมีความถี่ในช่วง 1,011 - 1,014 เฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ในช่วงเดียวกับไมโครเวฟ มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างแสงสีแดงกับคลื่นวิทยุ สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -200 องศาเซลเซียสถึง 4,000 องศาเซลเซียส จะปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา คุณสมบัติเฉพาะตัวของรังสีอินฟราเรด เช่น ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แตกต่างกันก็คือ คุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับความถี่ คือยิ่งความถี่สูงมากขึ้นพลังงานก็สูงขึ้น

เตาแก๊สอินฟราเรด ที่มีการให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้แก๊สโพรเพนหรือ LPG เป็นเชื้อเพลิง ให้ความร้อนสูงถึง 800 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสิ้นเปลืองแก๊สน้อยกว่าเตาแก๊สทั่วไปถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประโยชน์เตาแก๊สอินฟราเรดมีข้อดี ได้แก่ มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ มีไม่ควันหรือเขม่า ให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมขณะใช้เตาอินฟราเรด เป็นต้น โดยมีการใช้ในโรงงานต่างๆ เช่น โรงงานผลิตกระเบื้อง โรงงานแปงมัน เป็นต้น

ดังนั้น การพัฒนาปรับปรุงเตาแก๊สอินฟราเรดเพื่ออบแห้งเห็ดสมุนไพร จึงเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงแก๊สให้เพิ่มสูงขึ้น โดยที่สามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงแก๊สได้สูง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการประยุกต์และแก้ไขปัญหาด้านพลังงาน และไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ในกระบวนการผลิตก่อนเห็ดสมุนไพรอบแห้ง เป็นการปรับปรุงการใช้พลังงานเพื่อการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและเกิดความคุ้มค่ามากขึ้น ตลอดจนลดข้อจำกัดในการแปรรูปเห็ดสมุนไพรอบแห้ง แก้ไขปัญหาการอบแห้งจากตากแดด ที่ต้องใช้พื้นที่มาก และไม่สามารถตากแห้งได้ในช่วงฤดูฝน ทำให้เห็ดสมุนไพรอบแห้งไม่ได้คุณภาพ และช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นลง เพิ่มมูลค่าเห็ดสดให้มากขึ้น และเพิ่มคุณภาพเห็ดสมุนไพรอบแห้ง อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ผลิตเห็ดโดยตรงหลายด้าน ทั้งการได้ผลิตภัณฑ์เห็ดสมุนไพรอบแห้ง อบแห้งเห็ดสมุนไพรได้ทุกฤดูกาล ประหยัดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงในการอบแห้งเห็ดสมุนไพร เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเกษตรกรผู้ผลิตเห็ด อันเป็นส่วนช่วยส่งเสริมสนับสนุนไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตเห็ดของเกษตรกร การเกิดการเรียนรู้การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าของเกษตรกรที่ผลิตและขยายต่อภายในชุมชน เพิ่มแหล่งเรียนรู้หรือศูนย์เรียนรู้ด้านพลังงานในท้องถิ่น และการผลิตเห็ดสมุนไพรอบแห้ง ส่งผลถึงความยั่งยืนของชุมชน เกิดความเข้มแข็งภายในชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาล ในการประหยัดพลังงานและการหาแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น การสร้างความเข้มแข็งภายในชุมชน

### 1.1. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

โครงการนี้มีจุดประสงค์ เพื่อวิจัยและพัฒนาการการอบแห้งเห็ดสมุนไพรด้วยเตาแก๊สอินฟราเรด ซึ่งมีวัตถุประสงค์เฉพาะ คือ

- 1) เพื่อออกแบบ สร้าง พัฒนาเตาแก๊สอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร
- 2) เพื่อทดสอบเตาแก๊สอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร

### 1.2. ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยโครงการนี้ ได้กำหนดพื้นที่เป้าหมายศึกษาวิจัย ณ แหล่งผลิตเห็ดเขตพื้นที่ภาคกลาง ซึ่งเป็นแหล่งผลิตเห็ดที่สำคัญโดยมีวิสาหกิจชุมชนเกี่ยวกับเห็ดจำนวนมาก จึงเห็นว่าพื้นที่เป้าหมายดังกล่าวมีความเหมาะสมเร่งด่วนในการแก้ไขปัญหา และก่อให้เกิดประโยชน์โดยตรงกับเกษตรกรผู้เพาะเห็ด

การศึกษานี้จะมุ่งเน้นพัฒนาออกแบบเตาแก๊สอินฟราเรดสำหรับอบแห้งเห็ดสมุนไพร ได้แก่ เห็ดหอม เห็ดฟาง เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดแครง และเห็ดหลินจือ เป็นต้น โดยการให้ความร้อนอย่างเพียงพอและเหมาะสม จนทำให้เห็ดสมุนไพรมีความชื้นพอเหมาะต่อการเก็บรักษา เพื่อนำไปใช้เป็นสมุนไพรทางการแพทย์ต่อไป โดยมีค่าชี้ผลของการศึกษาวิจัย ได้แก่ ความชื้นเห็ด อัตราการอบแห้ง อุณหภูมิในการอบแห้งเห็ด ระยะเวลาในการอบแห้งเห็ด เป็นต้น

โดยคาดว่า การดำเนินการวิจัยตามขอบเขตของโครงการที่กำหนดจะได้ผลสำเร็จ เป็นเตาแก๊สอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร ที่เหมาะสมกับกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่เป้าหมาย ผลิตเห็ดสมุนไพรอบแห้งต่อไป

### 1.3 คำสำคัญ (Keywords) ของโครงการวิจัย

**เห็ดสมุนไพร (Medicinal Mushrooms)** หมายถึง การใช้เห็ดเป็นยาสมุนไพร ได้แก่ เห็ดหอม เห็ดฟาง เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดแครง และเห็ดหลินจือ เป็นต้น

**การอบแห้ง (Drying)** หมายถึง การถ่ายเทของเหลว จากของแข็งที่ชื้น ไปยังก๊าซที่ยังไม่อิ่มตัว เพื่อไล่ความชื้นออกจากของแข็งด้วยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับจากอากาศร้อนที่ยังไม่อิ่มตัว ถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุหรือของแข็งที่เปียกชื้น เพื่อไล่หรือระเหยความชื้นออกไป

**อินฟราเรด (Infrared)** หมายถึง การให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัตถุร้อน โดยใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หรือ LPG เป็นเชื้อเพลิง ผ่านแผ่นรูพรุน (Perforate plate) ที่ทำจากเซรามิก (Ceramic emitter) ซึ่งด้านบนจะเป็นโพรงสำหรับผสมอากาศกับก๊าซ LPG เมื่อเกิดการเผาไหม้พลังงาน ความร้อนจะแพร่ผ่านรูพรุน จนทำให้แผ่รังสีความร้อนออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

การใช้เห็ดเป็นยาสมุนไพรพบว่ามีมานานกว่าสี่พันปีในประเทศจีน ญี่ปุ่น เกาหลี และไต้หวัน สำหรับประเทศไทยแพทย์พื้นบ้านไทย ได้ใช้เห็ดสมุนไพรหลากหลายชนิด ในการรักษาโรคมานานแล้ว เช่น เห็ดหอม เห็ดฟาง เห็ดเป่าฮื้อ เห็ดแครง และเห็ดหลินจือ โดยใช้เห็ดแครงแก้อ่อนเพลีย รักษาโรคสตรี เห็ดเป่าฮื้อต้านแบคทีเรียและมะเร็ง เป็นต้น ซึ่งเห็ดนอกจากจะใช้เป็นอาหารที่ให้โปรตีน วิตามิน และ แกลีโกล์แล้ว ยังมีคุณสมบัติเป็นยารักษาโรคได้อีกด้วย

#### 2.1 สถานการณ์การผลิตเห็ดของประเทศไทย

ปัจจุบันการบริโภคเห็ดได้รับความสนใจ เพื่อดูแลสุขภาพกันมากขึ้น เนื่องจากเห็ดมีรสชาติดี มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะโปรตีน แกลีโกล์ วิตามิน และให้พลังงานต่ำ มีไขมันน้อย จึงเหมาะสำหรับ ผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับ ไขมันในเส้นเลือดสูง และโรคหัวใจ นอกจากนี้ยังปลอดภัยจากสารพิษ สำหรับประเทศไทยคาดว่า มีผลผลิตเห็ดประมาณ 1.2 แสนตัน มีมูลค่ากว่า 5 พันล้านบาท ก่อให้เกิดธุรกิจ หมุนเวียนต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 1.2 หมื่นล้านบาท แยกตามชนิดของเห็ด ได้แก่ เห็ดฟางร้อยละ 68.9 เห็ดนางรมร้อยละ 12.3 เห็ดหูหนูร้อยละ 11.5 เห็ดหอมร้อยละ 2.5 เห็ดแชมปิยองร้อยละ 0.7 และเห็ดอื่น ๆ เช่น เห็ดเข็มทอง เห็ดลม และเห็ดแครงรวมร้อยละ 4.1 ซึ่งใช้บริโภคภายในประเทศสูงถึงร้อยละ 95 ส่งออกเพียงร้อยละ 5 เท่านั้น โดยการผลิตเห็ดแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้ (ฐานข้อมูลผลิตเห็ด, 2550)

- 1) การผลิตเห็ดในถุงพลาสติก ใช้วัสดุเพาะจำพวกขี้เลื่อยบรรจุถุงพลาสติก เช่น เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดหอม เห็ดลม และเห็ดหูหนู เป็นต้น
- 2) การผลิตเห็ดบนวัสดุเพาะ ใช้วัสดุเพาะจำพวกฟางหรือเศษวัสดุทางการเกษตร กองบนชั้นหรือบนพื้น เช่น การเพาะเห็ดฟางกองเตี้ย การเพาะเห็ดฟางและเห็ดกระดุมในโรงเรือน เป็นต้น
- 3) การผลิตเห็ดบนท่อนไม้ ใช้ท่อนไม้เจาะรู บรรจุอาหารและหัวเชื้อเห็ด จะมีอายุเก็บเกี่ยวได้นาน เช่น เห็ดหูหนู เห็ดหอม เห็ดลม เป็นต้น

สำหรับการผลิตเห็ดในประเทศไทยที่แบ่งตามลักษณะการผลิต สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ (ชาญยุทธ์ และคณะ, 2550)

- 1) การเพาะเห็ดในถุงพลาสติก เป็นการเตรียมถุงเพาะเห็ดด้วยการนำขี้เลื่อยหรือวัสดุการเกษตรอื่น ๆ มาเป็นวัสดุเพาะ
- 2) การเพาะเห็ดกลางแจ้ง ส่วนใหญ่เป็นการเพาะเห็ดฟางที่มีปริมาณมากที่สุดของเห็ดในประเทศไทย โดยใช้วัสดุเพาะจำพวกฟางข้าว เปลือกถั่วเขียว เปลือกมันสำปะหลัง ทะลายปาล์ม หรือวัสดุการเกษตรอื่น ๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่น มีลักษณะการเพาะเป็นแบบกองเตี้ย ใช้ระยะเวลาในการเพาะจนสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณ 10-15 วัน
- 3) การเพาะในโรงเรือนแบบอุตสาหกรรม เป็นการเพาะเห็ดที่ต้องใช้เทคโนโลยีระดับสูงในการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ซึ่งสามารถเพาะเห็ดได้ตลอดทั้งปี ส่วนมากนิยมเพาะเห็ดฟาง เห็ดแชมปิยอง เห็ดเข็มทอง เห็ดถั่วหรือเห็ดโคนน้อย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การผลิตก้อนเชื้อเห็ด

1) ก้อนเชื้อเห็ดหรือถุงเชื้อเห็ด หมายถึง เชื้อเห็ดที่เลี้ยงในถุงพลาสติกทึบร้อน ซึ่งใช้วัสดุที่เป็นขี้เลื่อย ฟางหมักหรือปุ๋ยหมัก เพื่อเป็นอาหารเชื้อเห็ดให้เจริญเติบโตในระยะบ่ม และระยะการเกิดดอกออกในโรงเรือนเพาะเห็ด

2) การทำก้อนเชื้อเห็ด มีวัสดุหลักในการทำ ได้แก่ ถุงพลาสติกทึบร้อน ขี้เลื่อยไม้ยางพารา อาหารเสริม (รำละเอียด ข้าวโพดป่น น้ำตาลทราย) ดิบเกลือ ปูนขาว คอขวดพลาสติก เป็นต้น โดยนำขี้เลื่อยไม้ยางพารามาคัดแยกสิ่งเจือปนออก กองขี้เลื่อยบนพื้นปูนซีเมนต์ ผสมตามสูตรต่าง ๆ ที่เหมาะสม คลุกเคล้า ขี้เลื่อยไม้ยางพาราและอาหารเสริมเข้าด้วยกัน กระจายกองส่วนผสมเติมน้ำลงบนกองขี้เลื่อยผสมให้ได้ระดับความชื้นที่เหมาะสม นำส่วนผสมบรรจุลงในถุงพลาสติกทึบร้อน ประมาณถุงละ 0.8-1.0 กิโลกรัม แล้วอัดก้อนเชื้อให้แน่นพอสมควร เมื่ออัดก้อนขี้เลื่อยจนแน่นแล้ว จึงทำการสวมคอขวดพลาสติก ใช้ยางรัดจุกอุดด้วยสำลี นำถุงวัสดุเพาะไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งแบบลูกฟูกนานประมาณ 3-4 ชั่วโมง แล้วพักถุงวัสดุเพาะให้เย็น ในไปเชื้อที่เจริญเติบโตบนเมล็ดธัญพืชภายในห้องที่มีลมสงบ โดยเชื้อลงในถุงวัสดุเพาะ 20-30 เมล็ด ปิดจุกสำลีนำก้อนวัสดุเพาะไปบ่มในที่มืด 3-4 สัปดาห์ ให้เส้นใยจะเจริญเต็มวัสดุเพาะ ในขณะที่บ่มก้อนเชื้อควรฉีดยาฆ่าแมลงคลุมก้อนเชื้อไว้ เพื่อป้องกันมดหรือแมลงมากัด

## 2.3 สารอาหารและคุณสมบัติของเห็ด

เห็ดเป็นราที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มากทั้ง ด้านอาหาร ยา และสิ่งแวดล้อม ในโลกนี้มีเห็ดประมาณ 38,000 ชนิด แต่ที่คนรู้จักนำมารับประทานได้มีเพียงประมาณ 2,000 ชนิด จากรายงานปริมาณการผลิตเห็ดทั่วโลกในปี 1997 พบว่า มีปริมาณเพิ่มสูงถึง 6.34 ล้านเมตริกตัน เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิตในปี 1994 พบว่า มีเพียง 4.92 ล้านเมตริกตัน (Matila et al., 2001) นอกจากนี้จะใช้ประโยชน์ในด้านการนำไปประกอบและปรุงอาหารให้มีรสชาติอร่อยแล้ว ในอดีตยังมีการใช้เห็ดเป็นสมุนไพรนานกว่า 4,000 ปีในประเทศจีน ญี่ปุ่น ไต้หวัน และเกาหลี ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ตัวอย่างเห็ดสมุนไพรที่ใช้ เช่น เห็ดหอม เห็ดหลินจือ ไมตาเกะ (maitake) คอร์ดีเซพ (cordyceps) และเห็ดอื่น ๆ เห็ดสมุนไพรที่ใช้กันมานาน และแพร่หลายมากที่สุดในประเทศจีน และญี่ปุ่นคือเห็ดหลินจือ ซึ่งต่อมาประมาณปี.ศ.1960 ได้ขยายตลาดไปทางยุโรป และอเมริกาเห็ดสมุนไพรบางชนิดยังใช้เป็นอาหารด้วย เช่น เห็ดหอม

การจำแนกประเภทของเห็ดอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามการใช้ประโยชน์ดังนี้ (ศิริวรรณ สุทธจิตต์ และไมตรี สุทธจิตต์, 2548)

1) เห็ดที่ใช้เป็นอาหาร (Dietary mushroom) มีอยู่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของเห็ดที่พบทั่วไป เช่น เห็ดฟางเห็ดนางรม เห็ดหอม เห็ดหูหนูเห็ดโคน เห็ดเข็มทองและเห็ดระโงกที่ไม่มีพิษซึ่งมีทั้งสีขาว และสีเหลือง เป็นต้น

2) เห็ดที่ใช้เป็นยาสมุนไพร (Medicinal mushroom) เห็ดสมุนไพรมีค่อนข้างจำกัดอาจเป็นเห็ดที่กินได้และรู้จักกันคุ้นเคยกันดีเช่น เห็ดหอม เห็ดหลินจือ และ เห็ดหูหนู เป็นต้น หรือเห็ดบางอย่างอาจไม่เป็นที่รู้จักและหายาก เช่น เห็ดหัวลิงและเห็ดไมตาเกะ เป็นต้น นอกจากนี้เห็ดสมุนไพรยังได้จากเห็ดพิษบางชนิดด้วย เช่น เห็ดพิษเปือยเห็ดร่างแห และ เห็ดอื่น ๆ ที่ยังไม่มีการวิจัยและพัฒนาอีกหลายชนิด นอกจากจะนำเห็ดเหล่านี้มาเป็นยาสมุนไพรได้แล้วยังอาจนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารได้อีกด้วย

**ตารางที่ 2.1** ตัวอย่างชนิดและสรรพคุณของเห็ดที่ใช้เป็นยาสมุนไพรในอดีต

ชื่อ	สรรพคุณ
เห็ดขิง	แก้หวัดปวดตามข้อ
เห็ดแครง	แก้อ่อนเพลีย รักษาโรคมะเร็ง
เห็ดตับเต่า	แก้หวัดปวดในข้อ รักษาตกขาว
เห็ดนางรม	ช่วยให้หายใจสะดวกขึ้น ระงับการปวดตามข้อ ยับยั้งมะเร็ง
เห็ดเป่าฮื้อ	ต่อต้านแบคทีเรียพวกกรัมบวก ต่อต้านมะเร็ง
เห็ดหูหนูขาว	ช่วยการทำงานของอวัยวะ ไตปอด ลำไส้ กระเพาะ หัวใจ และสมอง แก้ไอ
เห็ดหูหนูดำ	แก้ร้อนใน หายใจไม่สะดวก แก้เจ็บคอ แก้ไข้ ลดความดันโลหิต ห้ามเลือด แก้ปวดแผล บำรุงร่างกาย

แหล่งที่มา: ศิริวรรณ สุทธิจิตต์ และไมตรี สุทธิจิตต์ (2548)

สำหรับด้านโภชนาการ ถือว่าเห็ดเป็นอาหารที่ดี เห็ดสดมีองค์ประกอบ ความชื้น 90 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นโปรตีนที่สมบูรณ์มีกรดอะมิโนจำเป็นอยู่ครบ คือ มีดรรชนีกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid index) เท่ากับ 72-98 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อสัตว์และมีกรดนิวคลีอิกค่อนข้างสูงเห็ดสดมีคาร์โบไฮเดรตระหว่าง 3-28 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 3-32 เปอร์เซ็นต์และให้พลังงานน้อยเพียง 60-90 แคลอรี/ปอนด์ น้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในเห็ดมีหลายชนิดความหวานของเห็ด เนื่องจากน้ำตาลพิเศษ เช่น แอลฟา-ทรีฮาโลส ( $\alpha$ -trehalose) ซึ่งถูกเรียกเฉพาะว่าเป็น น้ำตาลเห็ด(mushroom sugar) น้ำตาลนี้จะพบมากในเห็ดอ่อน เมื่อเห็ดโตเต็มที่น้ำตาลทรีฮาโลสนี้ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลกลูโคสที่มีรสหวานลดลง (ศิริวรรณ สุทธิจิตต์ และไมตรี สุทธิจิตต์, 2548)

เห็ดทั่วไปมีไขมันต่ำมากประมาณ 2-8 เปอร์เซ็นต์เห็ดหลายชนิดจะมี ergosterol สูง 0.2-270 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งสารชนิดนี้คือสารเริ่มต้น (precursor) ในการผลิตวิตามิน D ในสถานะที่มีแสงแดดหรือมีการฉายรังสี (Mattila et al., 2001) ทำให้เห็ดเป็นแหล่งที่ดีของวิตามินบีหนึ่ง บีสองไนอะซิน ไบโอติน ไบโธลามีนซีและไบโธลามีนดีเห็ดบางชนิดจะมีเบต้า-แคโรทีน ( $\beta$ -carotene) ด้วยส่วนเกลือแร่ที่พบได้มากในเห็ดหลินจือคือฟอสฟอรัสโซเดียมและโปแตสเซียมรองลงมาคือแคลเซียม และชนิดที่มีน้อย คือ เหล็ก

ดังนั้นในปัจจุบันนี้จึงเป็นที่ยอมรับกันว่า เห็ดเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารชนิดอื่น ๆ อีกทั้งมีราคาถูก มีกลิ่นและรสชาติมีความหลากหลายให้เลือกได้มากเห็ดพื้นบ้าน เช่น เห็ดโคน เห็ดเผาะ เห็ดไข่ห่าน และเห็ดเพาะเลี้ยง เช่น เห็ดฟาง เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดหอม จึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร เพื่อสุขภาพเป็นแหล่งของโปรตีน และสารซุสในอาหารมังสวิรัตและอาหารเจ รวมทั้งเป็นวัตถุดิบในการเตรียมผลิตภัณฑ์ควบคุมน้ำหนักหลายชนิด

## 2.4 สรรพคุณทางยาของเห็ดสมุนไพร

1) บทบาทการลดไขมันในเลือด เห็ดกินได้หลายชนิดเช่น เห็ดฟางเห็ดนางฟ้าเห็ดนางรม เห็ดหอมมีฤทธิ์ในการลดไขมันในเลือด Choi and Shin (1998) สามารถสกัดเอนไซม์สลายไฟบรินจากดอกเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kummer) ซึ่งเอนไซม์ชนิดนี้มีความสำคัญเกี่ยวกับโรคหัวใจ และหลอดเลือดโดยเอนไซม์ตัวนี้ จะไปมีผลสลายลิพิดที่อาจเกิดขึ้นได้ในหัวใจและหลอดเลือดปัจจุบันไม่มีการดื่มใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การค้นหารสที่มีผลไปละลายลิ่มเลือด เพื่อที่จะนำมาใช้ในทางการแพทย์ได้รับความสนใจอย่างมาก สารสกัดจากพวกเห็ดเป่าฮื้อ ทำให้ความดันโลหิตในหนูพุกขาวและหนูแฮมสเตอร์ (hamster) ลดลงและสารสกัดจากเห็ดหลายชนิดก็มีฤทธิ์ลดไขมัน กลไกการลดไขมันอาจเกิดโดยสารจำพวกเส้นใยที่มีปริมาณสูงในเห็ด ช่วยดูดซับและขัดขวางการดูดซึมไขมันในทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังพบในหนูทดลองอีกว่าสารสกัดจากเห็ดบางชนิดช่วยเพิ่มการนำสารไขมันบางชนิดไปใช้ (ศิริวรรณ สุทธิจิตต์ และไมตรี สุทธิจิตต์, 2548)

2) บทบาทการต่อต้านมะเร็ง เห็ดหลายชนิดเช่น เห็ดหลินจือเห็ดหอม เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดเป่าฮื้อ เห็ดเข็มทอง เห็ดหูหนู เห็ดแชมปิญอง เห็ดตับเต่า และ เห็ดจั่น (*Tricholoma* spp.) มีสารช่วยป้องกันมะเร็ง ซึ่งอาจเนื่องมาจากกลไกในการเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกายของมนุษย์ (Zhang, Cheung, Zhang, Chiu and Ooi, 2004) นอกจากนี้ Zhuang et al. (1993) ทำการทดลองสกัดโพลีแซคคาไรด์ในเห็ดนางรมและเห็ดนางฟ้า และนำมาใช้กับสัตว์ทดลอง พบว่า โพลีแซคคาไรด์ ในเห็ดสามารถช่วยลดโอกาสในการเกิดมะเร็งได้

3) บทบาทการลดระดับคอเลสเตอรอล เห็ดนางรมช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในสัตว์ทดลอง ซึ่งจากการศึกษาวิจัย พบว่า เห็ดมีสารหลายชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นยา และมักจะมีสารที่มีบทบาทสำคัญ ได้แก่ โยอาหารประเภท พอลิแซ็กคาไรด์ และ protein-bound polysaccharide เช่น (1-3)  $\beta$ -D-glucan จากเห็ดหลายชนิด โยอาหารเหล่านี้ จะมีบทบาทในการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดให้อยู่ในช่วง 5-10 เปอร์เซ็นต์ได้ อันเนื่องมาจากเส้นใยเป็นตัวแยกกรดน้ำดี สารคอเลสเตอรอล และ ไขมัน โดยป้องกันการดูดซึมกลับเข้าไป ในทางเดินโลหิตของสารเหล่านี้ จึงทำให้คอเลสเตอรอลที่ถูกสร้างขึ้นมาถูกขับออกจากเลือดเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดลดลงไปนั่นเอง (Cheung and Lee, 1998; Mattila, Vaananen, Konko, Aro and Jalava, 2002)

4) บทบาทการมีฤทธิ์ต่อต้านไวรัส จากการศึกษารายงานของ Zhang, Cheung, Ooi, and Zhang (2004) พบว่า เมื่อทำการสกัด  $\beta$ -glucan จากเห็ด *Pleurotustuber-rigium* หรือเห็ดนางรมหัว ด้วยสารละลายต่างจะได้สารสกัดที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อไวรัส HIV และ HSV สารที่สกัดได้คือ dextran sulfate โดยจากการทดลองที่ปริมาณ 200 ไมโครกรัม/มล. ซึ่งเป็นค่า IC50 จะมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อไวรัสสายพันธุ์ HSV ได้ดีกว่ายาทางการค้า กลไกของการต่อต้านไวรัสเกิดจาก การที่ประจุลบบนสายพอลิแซ็กคาไรด์ของสารประกอบซัลเฟตทำปฏิกิริยากับประจุบวกในไกลโคโปรตีนของเชื้อไวรัส มีผลขัดขวางการจับกันระหว่างเชื้อไวรัสกับ host cell

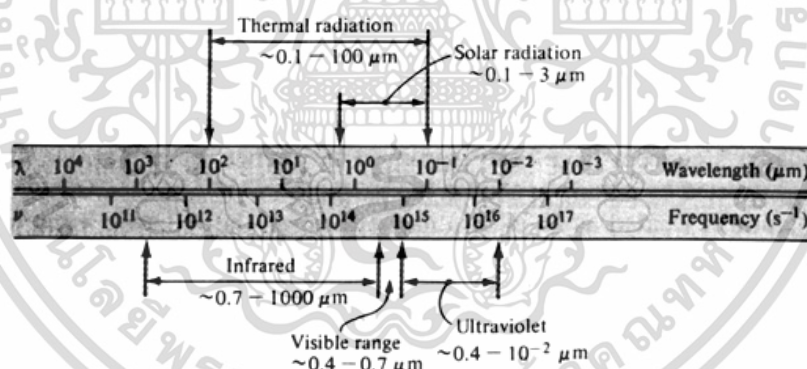
5) บทบาทการเป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมน้ำหนัก บทบาทของเห็ดทวีความสำคัญยิ่งขึ้นในการเตรียมผลิตภัณฑ์ควบคุมน้ำหนัก เช่น ไคโตแซน(chitosan) และกรดนิวคลิอิกเป็นที่ทราบและยอมรับกันว่า สารไคโตแซน เป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมน้ำหนักและส่งเสริมสุขภาพที่ดีชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่ไคโตแซนที่มีจำหน่ายนั้นเตรียมมาจากสารไคติน (chitin) ในเปลือกหอยและปู ซึ่งปัจจุบันได้มีการศึกษา พบว่า ผงเซลล์ของเห็ดมีไคตินเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก (Cheung, 1996; Cheung and Lee, 2000; Mattila, Vaananen, Konko, Aro and Jalava, 2002) เมื่อกินเข้าไป ไคตินจะถูกเอนไซม์ในทางเดินอาหารเปลี่ยนให้เป็นสารไคโตแซน ที่มีคุณสมบัติละลายในน้ำได้ดีมีคุณสมบัติดูดซับไขมันและลดระดับไขมันในเลือดได้ นอกจากนี้สารไคโตแซนนี้ สามารถรวมกับเกลือน้ำดีในลำไส้ได้ การขาดเกลือน้ำดีจะทำให้การละลายและการดูดซึมของไขมันลดลงด้วย ไคโตแซนจึงถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ลดหรือชะลอความอ้วน ป้องกันการเพิ่มไขมันในเลือดได้ดี (วาริท หมัดหมาน และ พูนสุข ประเสริฐสรณ์, 2545) สารไคโตแซนนอกจากใช้เตรียมผลิตภัณฑ์ไขมัน และลดความอ้วนควบคุมรูปร่างแล้ว ยังใช้เป็นสารช่วยการเตรียมยา (pharmaceutical aids) และผลิตภัณฑ์เสริมอาหารได้อีกหลายชนิด เช่น O-carboxymethylchitin

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ O-hydroxypropylchitosan ใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง นอกจากนี้ยังมีการใช้โคตินในการรักษาแผลเป็นตัวผสมกับยาทำให้เกิดการปลดปล่อยของยาเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในเนื้อเยื่อสัตว์เป็นต้น (วาริท หมัดหมาน และ พูนสุข ประเสริฐสรรพ, 2545)

## 2.5 หลักการพื้นฐานของรังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared ray) ถูกค้นพบโดยบังเอิญโดย Sir William Herschel นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษในปี ค.ศ. 1800 ขณะทำการศึกษเกี่ยวกับแสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งคุณสมบัติของรังสีอินฟราเรด เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ที่ส่งผ่านพลังงานออกมาจากวัตถุร้อนในรูปของการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) ด้วยอุณหภูมิของตัววัตถุเองโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางหรือตัวนำในการส่งผ่านความร้อนไปยังวัตถุเย็น ตัวอย่างเช่นดวงอาทิตย์ที่แผ่รังสีความร้อนออกมาที่อุณหภูมิผิวประมาณ 5,487 °C โดยมีรังสีอินฟราเรดเป็นส่วนประกอบประมาณ 48% ของรังสีที่แผ่ออกมาทั้งหมด นอกจากนั้นยังประกอบด้วยรังสีที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าคือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet ray, UV) และรังสีที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible ray) ซึ่งรวมเรียกว่า Solar radiation โดยมีช่วงความยาวคลื่น (Wave length,  $\lambda$ ) อยู่ระหว่าง 0.1  $\mu\text{m}$  ถึง 3  $\mu\text{m}$  ซึ่งเป็นรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.1  $\mu\text{m}$  ถึง 0.4  $\mu\text{m}$  (ภาพที่ 2.1) อย่างไรก็ตาม การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดนี้จะไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางแสง (Photochemical) เหมือนกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต จึงไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้โดยตรงกับผิวหนังร่างกายของคน (Fellows, 1990; Ozisik, 1985)



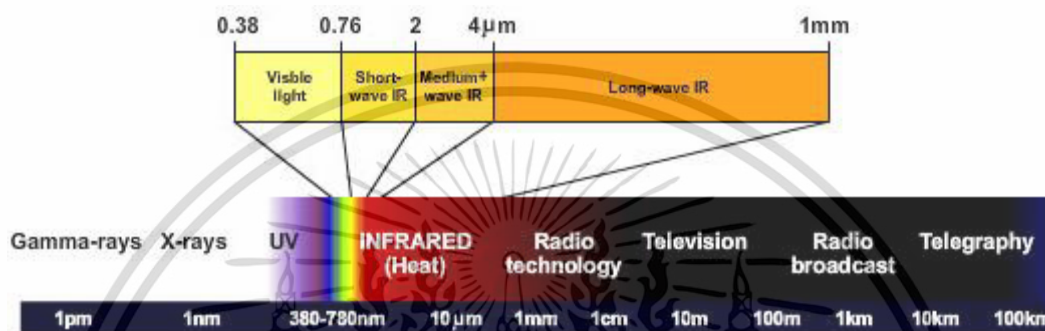
ภาพที่ 2.1 ช่วงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติเป็นรังสีความร้อน (Ozisik, 1985)

รังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation, IR) มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า รังสีใต้แดง หรือรังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและคลื่นแสงมีความถี่ในช่วง 1,011 - 1,014 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ในช่วงเดียวกับไมโครเวฟ มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างแสงสีแดงกับคลื่นวิทยุ สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -200 องศาเซลเซียสถึง 4,000 องศาเซลเซียส จะปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา คุณสมบัติเฉพาะตัวของรังสีอินฟราเรด เช่น ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แตกต่างกันก็คือ คุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับความถี่ คือยิ่งความถี่สูงมากขึ้นพลังงานก็สูงขึ้นด้วยซึ่งความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดมีการแบ่งออกเป็น 3 ช่วง (ภาพที่ 2.2) ได้แก่

1. รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infra-red หรือ NIR) ความยาวคลื่น 0.76 - 2 ไมครอน มีอุณหภูมิใช้งาน อยู่ที่ 500°C - 2,200°C ให้กำลังความร้อนต่อพื้นที่สูง และสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกเหมาะกับการให้ความร้อนอุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็ว เช่น การอบแห้งผลิตภัณฑ์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

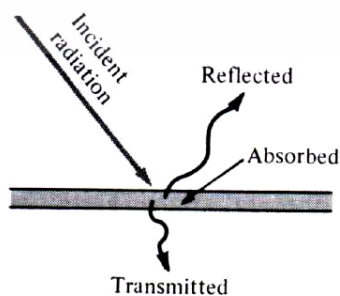
2. รังสีอินฟราเรดย่านกลาง (Middle Infra-red หรือ mid-IR) ความยาวคลื่น 2 - 4 ไมครอน มีอุณหภูมิใช้งาน อยู่ที่  $500^{\circ}\text{C} - 950^{\circ}\text{C}$  ให้กำลังความร้อนต่อพื้นที่ และสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกปานกลาง

3. รังสีอินฟราเรดย่านไกล (Far Infra-red หรือ FIR) ความยาวคลื่น 4 - 1,000 ไมครอน มีอุณหภูมิใช้งาน อยู่ที่  $300^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$  ให้กำลังความร้อนต่อพื้นที่ต่ำ และสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกต้นเหมาะสำหรับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก และจำกัดบริเวณพื้นผิว



ภาพที่ 2.2 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารังสีอินฟราเรด ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 760 นาโนเมตร - 1 มิลลิเมตร

วัตถุร้อนที่แผ่รังสีสมบูรณ์ (Perfect radiator) จะเรียกว่าวัตถุดำ (Black body) ซึ่งคุณสมบัติการแผ่รังสี (Emissivity,  $\epsilon$ ) คือ  $\epsilon = 1$  ตามกฎการแผ่รังสีความร้อนของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's law of thermal radiation) เมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจากวัตถุดำที่แผ่รังสีความร้อนไปยังวัตถุที่เย็นกว่านั้น จะมีการดูดซับพลังงานไว้ภายในวัสดุ (Absorptivity,  $\alpha$ ) ซึ่งจะแปลงเป็นพลังงานความร้อน มีการส่งผ่าน (Transmissivity,  $\tau$ ) และมีการสะท้อนกลับ (Reflectivity,  $\rho$ ) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุนั้น (ภาพที่ 2.3) โดยพลังงานที่วัตถุได้รับการแผ่รังสีมาทั้งหมดสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้เป็น  $\alpha + \tau + \rho = 1$  หากวัตถุที่รับรังสีมีค่าดูดซับพลังงานเท่ากับค่าการแผ่รังสีของวัตถุดำ โดยที่ไม่มีการสะท้อนกลับและส่งผ่านทะลุเนื้อวัตถุไป พลังงานที่วัตถุได้รับการแผ่รังสีมาทั้งหมดสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้เป็น  $\alpha = \epsilon = 1$  (Ratti, Mujumdar, 1995 ; Ozisik, 1985)



ภาพที่ 2.3 การสะท้อน การดูดซับ และการส่งผ่านพลังงานของวัตถุที่รับรังสีอินฟราเรด (Ozisik, 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุดำนั้นเป็นวัตถุในอุดมคติ ( $\epsilon = 1$ ) ซึ่งสำหรับวัตถุจริงนั้นคุณสมบัติการแผ่รังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุนั้น เช่น อุณหภูมิผิววัตถุนั้น สี มุมการแผ่รังสี ความหนาแน่นของผิว เป็นต้น ทำให้ค่าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมามีค่าไม่ถึงหนึ่ง ( $\epsilon < 1$ ) โดยพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีออกมา (Thermal radiation power) สามารถคำนวณด้วยกฎของ สเตฟาน – โบลแมน (Stefan-Boltzmann law) ดังสมการที่ (1)

$$Q = \epsilon \sigma A T^4 \quad (1)$$

เมื่อ  $Q =$  พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสี (watt, W หรือ J/s)

$\epsilon =$  ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุเทา (มีค่า 0 ถึง 1)

$\sigma =$  ค่าคงที่ของ สเตฟาน – โบลแมน ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ )

$A =$  พื้นที่ผิว ( $\text{m}^2$ )

$T =$  อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K,  $^{\circ}\text{C} + 273$ )

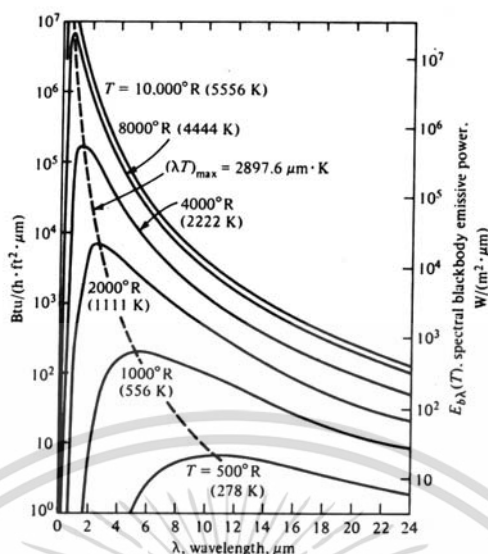
ส่วนวัตถุที่รับรังสีอินฟราเรดนั้น ปริมาณรังสีที่ถูกดูดซับด้วยวัตถุนั้น ความสามารถในการดูดซับรังสี ( $\alpha$ ) จะถูกสมมติให้มีค่าเท่ากับความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุนั้น ( $\epsilon$ ) โดยที่เมื่อความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดกำหนดโดยต้นกำเนิดรังสีอุณหภูมิที่สูงกว่าจะให้ความยาวคลื่นที่สั้นกว่าและการแทรกซึมลึกกว่า ปริมาณสุทธิของการถ่ายโอนความร้อนสู่วัตถุจึงเท่ากับอัตราการดูดซับลบจากอัตราการแผ่รังสีของวัตถุร้อนดังสมการที่ (2)

$$Q = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (2)$$

เมื่อ  $T_1 =$  อุณหภูมิของวัตถุที่แผ่รังสี (K)

$T_2 =$  อุณหภูมิของวัตถุที่ดูดซับรังสี (K)

การปลดปล่อยพลังงานของวัตถุจากการแผ่รังสีต่อหน่วยพื้นที่ของวัตถุร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ (Spectral blackbody emissive power) มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของวัตถุร้อนนั้น ซึ่งหากกำหนดค่าความยาวคลื่นกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุ จะสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับอุณหภูมิค่าต่างๆ ของวัตถุที่พลังงานจากการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุดำ (ภาพที่ 2.4) ซึ่งวัตถุร้อนจะแผ่รังสีออกมาให้เห็นเป็นช่วงความยาวคลื่นที่กว้างและมีจุดสูงสุด (Peak wavelength,  $\lambda_{\text{max}}$ ) ของเส้นกราฟแสดงถึงตำแหน่งที่วัตถุปลดปล่อยพลังงานออกมาสูงสุดในขณะนั้น



ภาพที่ 2.4 ค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งความยาวคลื่นสูงสุดจากกับค่าพลังงานการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุดำ (Ozisik, 1985)

ซึ่งความยาวคลื่นสูงสุดจะสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิผิวของวัตถุร้อนนั้นในขณะที่แผ่รังสีและเป็นไปตามกฎของเวินน์ (Wien’s displacement law) โดยคำนวณได้ดังสมการที่ (3) (Ratti, Mujumdar, 1995 ; Ozisik, 1985)

$$\lambda_{\max} T = 2897.6 \quad \mu\text{m}\cdot\text{K} \quad (3)$$

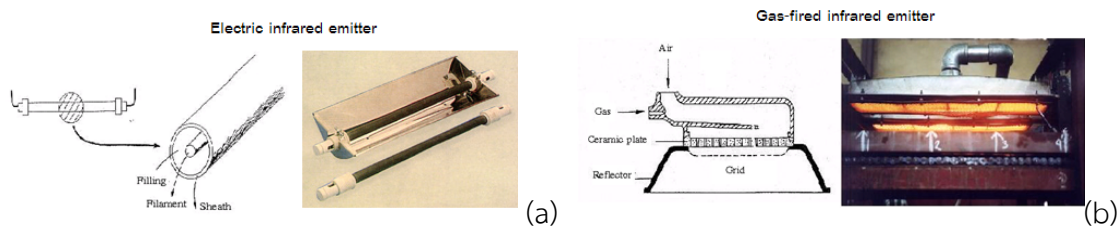
เมื่อ  $\lambda_{\max}$  = ความยาวคลื่นสูงสุดที่แผ่รังสี ( $\mu\text{m}$ )  
 $T$  = อุณหภูมิผิวของวัตถุที่แผ่รังสี (K)

ตัวอย่างเช่น วัตถุดำมีอุณหภูมิผิว 1000 K (727 °C) จะมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่แผ่รังสี 2.898  $\mu\text{m}$  อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ดังกล่าวหากเป็นการแผ่รังสีของวัตถุจริง ย่อมจะปลดปล่อยพลังงาน (Q) ออกมาได้น้อยกว่าวัตถุดำเสมอขึ้นอยู่กับความสามารถในการแผ่รังสี ( $\epsilon$ ) ของวัตถุนั้นๆ

### 2.6 ประเภทของอุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรด

การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด เป็นการให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยวัตถุร้อน ซึ่งหากแบ่งตามแหล่งการใช้พลังงานของกับอุปกรณ์กำเนิดรังสี สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ ชนิดใช้ไฟฟ้ากับชนิดใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หรือ LPG (ภาพที่ 2.5) โดยอุปกรณ์กำเนิดรังสีแบบใช้ไฟฟ้า (Electrically heated radiator) ทำงานด้วยการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านตัวกระจายความร้อนเช่น ลวดนิโครม หรือ ทังสแตน ซึ่งจะกระจายความร้อนให้แก่วัตถุกำเนิดรังสี ที่มีหลายประเภทได้แก่ Tungsten filament lamp Metal sheath Radiant rod Quartz tubes และแบบ Quartz lamp เป็นต้น ส่วนอุปกรณ์กำเนิดรังสีแบบใช้ LPG จะประกอบด้วยแผ่นรูพรุน (Perforate plate) ซึ่งด้านบนจะเป็นโพรงสำหรับผสมอากาศกับก๊าซ เมื่อเกิดการเผาไหม้พลังงานความร้อนจะแพร่ผ่านรูพรุนจะทำให้ แผ่นรูพรุนที่ทำจากเซรามิก (Ceramic emitter) แล้วแผ่รังสีความร้อนออกมา โดยมีประสิทธิภาพการแผ่รังสีประมาณ 60%

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 อุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรดโดยใช้พลังงานไฟฟ้า (a) และแบบใช้ก๊าซซิโตนเลียมเหลว (b)

## 2.7 เตาแก๊สอินฟราเรด

การติดไฟของเตาอินฟราเรด สามารถมองเห็นได้แค่เพียงแสงสีแดงของรังสีความร้อนหน้าเตาเท่านั้น โดยจะไม่มีเปลวไฟปรากฏเกิดขึ้น หลักการของเตาแก๊สอินฟราเรดและเตาอินฟราเรดในรูปแบบต่างๆ จะใช้คลื่นแม่เหล็กอินฟราเรดทำให้เกิดความร้อน ซึ่งคลื่นแม่เหล็กความร้อน จะมีความยาวของคลื่นมากกว่าแสงที่เรามองเห็นได้ ในความเป็นจริงความร้อนทุกชนิดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

หลักการทำงานของเตาอินฟราเรด จะใช้ก๊าซแอลฟิซีเป็นเชื้อเพลิงเริ่มต้นจุดไฟภายในเตา จนก่อให้เกิดความร้อนแก่แผ่นเซรามิก เพื่อทำการรบกวนสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุภายในอะตอมของแผ่นเซรามิก แล้วมีการเปลี่ยนรูปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ในย่านที่ทำให้เกิดความร้อนอินฟราเรด และรังสีอินฟราเรดที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาความร้อน ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ปิ้ง ย่าง ต้ม ทอด อบแห้ง ฯลฯ

รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่าง ช่วงคลื่นแสงที่เรามองเห็นและคลื่นไมโครเวฟ ที่มีปรากฏอยู่ในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นรังสีอินฟราเรดเป็นรังสีที่ปลอดภัยสามารถนำมาใช้ได้ และได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ในการบำบัดรักษาและการทำกายภาพแก่ผู้ป่วยมายาวนาน เนื่องจากการมีรูปแบบของการกระจายความร้อนอย่างสม่ำเสมออย่างทั่วถึง และมีอุณหภูมิสูงถึงกว่า 500°C (900°F)

การใช้ความร้อนอินฟราเรด จะแตกต่างจากการใช้อากาศร้อนจากการเผาไหม้ โดยความร้อนจากอินฟราเรดจะให้ความร้อนโดยตรงวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน ในขณะที่การใช้อากาศร้อนจะต้องใช้เวลาในการเริ่มต้น เพื่อให้เกิดความร้อนแก่วัสดุที่ต้องการให้ความร้อน ดังนั้นวัสดุที่ต้องการให้ความร้อนจึงมีความร้อนเร็ว ประหยัดเวลา และมีความร้อนสม่ำเสมอมากกว่าการใช้อากาศร้อน สามารถจำแนกข้อดีและข้อเสียของเตาอินฟราเรดได้ดังนี้

### ข้อดี

1. ไม่มีกลิ่นแก๊สเนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
2. ไม่มีเขม่าและควันที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์
3. ประหยัดแก๊ส ได้ค่าความร้อนที่สูง และประหยัดเวลาการใช้งาน
4. ความร้อนมากกว่า 37 % เมื่อเทียบกับเตาแก๊สทั่วไป
5. ภาชนะหุงต้มไม่ดำและสกปรก
6. สามารถปิ้งย่างได้ปลอดภัย เนื่องจากไม่มีกลิ่นแก๊สติดอาหาร
7. ต้านทานแรงลมได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อเสีย

1. แผ่นความร้อนเป็นแผ่นเซรามิก ทนความร้อนสูง แต่แตกได้ง่าย หากโดนน้ำ หรือของเหลวเย็น
2. อายุการใช้งานสั้นกว่าหัวเตาชนิดโลหะ
3. ให้รังสีความร้อนสูงมาก จึงทำให้เกิดความร้อนบริเวณที่ใช้ใช้งาน

## 2.8 การอบแห้ง

การอบแห้งเป็นการลดความชื้นที่มีความสำคัญกระบวนการหนึ่งสำหรับอุตสาหกรรมอาหารและผลิตผลทางการเกษตร โดยจุดมุ่งหมายหลักของการอบแห้งก็เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการลดน้ำหนักและปริมาตรเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการบรรจุ การจัดการการเก็บรักษาและการกระจายผลิตภัณฑ์ ระหว่างกระบวนการอบแห้ง ตัวผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ (Physical) เคมี (chemical) ชีวภาพ เช่นเนื้อสัมผัส สี กลิ่นและคุณค่าทางอาหาร ดังนั้นจุดประสงค์รองของการอบแห้งคือผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีคุณภาพที่ดีและมีคุณค่าทางอาหารตามที่มาตรฐานกำหนด

## 2.9 กลไกการถ่ายเทมวลสารและความร้อนในการอบแห้ง

การอบแห้งอยู่บนพื้นฐานความรู้เรื่องคุณสมบัติของอากาศและวัสดุ โดยที่ความสัมพันธ์ของไอน้ำในอากาศ และ Psychometric properties ของอากาศชื้น คุณสมบัติการดูดกลืนความชื้นและ thermo-physical properties ของวัสดุหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือทำนายจากแบบจำลอง การถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างวัสดุอบแห้งกับสิ่งแวดล้อมโดยการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมสู่ผิวของวัสดุ ในระหว่างการอบแห้งจะมีการส่งผ่านความร้อนภายในเนื้อวัสดุด้วย ขณะเดียวกันจะมีการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในเนื้อวัสดุไปสู่ผิวของวัสดุ แล้วถ่ายเทความชื้นสู่สิ่งแวดล้อม การระเหยเป็นไอเกิดขึ้นได้ทั้งที่ผิวและภายในเนื้อวัสดุทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและสภาวะการอบแห้ง การถ่ายเทความร้อนในการอบแห้งมีทั้งแบบการพาความร้อนเกิดขึ้นเมื่อพลังงานสำหรับการระเหยได้รับจากกระแสอากาศร้อนที่ไหลผ่านวัสดุตั้งเช่น การอบแห้งแบบถาด, belt-conveyor, flash, fluid-bed และ spray drying และการนำความร้อนเกิดขึ้นเมื่อวัสดุสัมผัสกับผิวร้อนตั้งในกรณีของ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหรือ rotary dryer

## 2.10 ความชื้นวัสดุ

ปริมาณความชื้นของวัสดุจะอธิบายอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ความชื้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้ง โดยความชื้นมาตรฐานเปียก จะแสดงน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ต่อน้ำหนักรวมของวัสดุ โดยปกติจะแสดงอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในทางการค้าความชื้นมาตรฐานแห้ง ซึ่งจะใช้ในงานวิจัยทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ เนื่องจากมวลแห้งของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้ง

## 2.11 ความชื้นสมดุล

ความชื้นสมดุลเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการอบแห้งและการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตร ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อทำการอบแห้งหรือเก็บรักษาวัสดุเกษตรที่สภาวะคงที่ความชื้นของวัสดุจะลดจนถึงความชื้นสมดุลซึ่งมีความดันไอภายในวัสดุเท่ากับความดันไอในบรรยากาศความชื้นสมดุลของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุเปลี่ยนแปลงไปตาม ชนิดของวัสดุ อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของวัสดุกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

## 2.12 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

อากาศมีความชื้นอยู่เช่นเดียวกัน เราบอกความชื้นของอากาศเป็นความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนความดันไอน้ำในบรรยากาศกับความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะสามารถรับความชื้นจากอาหารได้มาก จึงนิยมใช้หลักการนี้ในการอบแห้งอาหาร โดยการอุ่นอากาศให้ร้อน หรือติดตั้งระบบดูดความชื้นจากอากาศ ทำให้อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำหรืออากาศแห้ง

## 2.13 อัตราการอบแห้งคงที่

ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น น้ำจะเกาะที่ผิวหน้าวัสดุจำนวนมาก เมื่อเพิ่มความเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุจะทำให้ฟิล์มอากาศนิ่งมีความหนาลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง เป็นผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิววัสดุและของอากาศลดลงที่ไหลอย่างมีอิสระมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลเพิ่มขึ้น เมื่อลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งจะเป็นผลให้ถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น

ในการระเหยของน้ำออกจากวัสดุอบแห้งนั้น นิยมแสดงในรูปอัตราการอบแห้ง(Drying Rate)

อัตราการอบแห้ง = ปริมาณน้ำที่ระเหย / ระยะเวลาและหรือพื้นที่)

## 2.14 การตากแห้งและการอบแห้ง

การตากแห้ง อาศัยแสงแดดเป็นแหล่งให้ความร้อนแก่อาหาร เพื่อให้น้ำระเหยออกจากอาหาร และอาศัยลมช่วยพัดพาไอน้ำออกไป วิธีนี้ต้องพึ่งพาธรรมชาติ ต้องการเนื้อที่ในการตากมากกว่าการอบแห้ง คุณภาพไม่แน่นอน ควบคุมคุณภาพได้ยากคุณภาพของพริกตากแห้ง ขึ้นอยู่กับลักษณะอากาศในระยะที่ตาก พริกตากแห้งมักปนเปื้อนฝุ่นละออง อาจมีแมลงและเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อน ถ้าฝนตกอาจทำให้พริกแห้งไม่ทันเกิดการเน่าเสียหรือเสื่อมคุณภาพการอบแห้งอาศัยเครื่องจักรกลไม่ต้องพึ่งธรรมชาติให้ความร้อนจากแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น ไฟฟ้า หรือ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น ก๊าซหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิง วัสดุ การเกษตรและฟืน โรงงานอุตสาหกรรมใช้น้ำเป็นแหล่งให้ความร้อน และมีเครื่องจักรสำหรับทำแห้งหลายแบบ สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของอาหารที่จะทำให้แห้ง การอบแห้งใช้พื้นที่น้อยกว่าการตากแห้งสามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้คงที่ และมีคุณภาพดีกว่าและสามารถควบคุมความสะอาดได้ดีกว่า แต่มีข้อเสียคือ ต้องการใช้จ่ายในการลงทุนซื้อตู้อบและค่าพลังงานในการดำเนินการอบมากกว่า การตากแห้ง อย่างไรก็ตามราคาของผลิตภัณฑ์อาจจะสูงกว่าการตากแดดและระยะเวลาในการอบแห้งจะสั้นกว่า และการอบแห้งได้เปรียบในช่วงที่มีฝนตกหรืออากาศชื้นไม่ค่อยมีแดดการถนอมอาหารโดยวิธีการทำแห้งมีข้อได้เปรียบวิธีการถนอมอาหารวิธีอื่น คือผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบากว่าอาหารสดหรือแช่แข็งหรือบรรจุกระป๋อง ต้นทุนการผลิตถูกกว่า ใช้แรงงาน ภาชนะ บรรจุ และเครื่องจักรน้อยกว่า สามารถเก็บรักษาและขนส่งได้สะดวกไม่เปลืองพื้นที่การถนอมอาหารโดยการอบแห้ง อาศัยหลักการหลายๆ วิธีร่วมกัน ได้แก่ การลดปริมาณน้ำในอาหาร, การใช้สารเคมีป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การใช้ความร้อนหรือสารเคมีในการทำลายเอนไซม์ในอาหารเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล และการใช้ภาชนะบรรจุในการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และป้องกันการเพิ่มความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้การเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมยังช่วยคุ้มครองผลิตภัณฑ์และส่งเสริมการขายอีกด้วย

## 2.15 หลักการอบแห้งอาหารโดยใช้ลมร้อน

อากาศโดยปกติจะมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 60-75 % เมื่อทำให้อากาศร้อนขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนจะลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของลมร้อน เช่น 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนจะเป็น 15-25 % ซึ่งจะสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ และลมจะพัดพาไอน้ำออกจากพริก ความชื้นในพริกจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ต่อจากนั้นจะลดลงช้าๆ จนกระทั่งถึงจุดความชื้นสมดุลเนื่องจากพริกมีความชื้นสูง 70-95 % ระยะเวลาในการอบแห้งจึงใช้เวลานาน การอบแห้งที่ถูกต้องจะต้องลดความชื้นอาหารมาให้ถึงระดับความชื้นที่ปลอดภัย ระดับความชื้นสูงสุดสำหรับอาหารอบแห้งที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2.2 ระดับความชื้นที่ปลอดภัยที่สุดสำหรับอาหารอบแห้งบางชนิด

ชนิดอาหาร	ความชื้น (%wb)	ชนิดอาหาร	ความชื้น (%wb)
ผลไม้แห้ง	18	กาแฟ	14
ดอกเก๊กฮวยแห้ง	14	กาแฟสำเร็จรูป	4.5
เก๊กฮวยผงสำเร็จรูป	1.5	กาแฟคั่ว	5
พริกแห้ง	13	เนื้อมะพร้าวอบแห้ง	3
พริกป่น	11	เมล็ดพริกไทย ชั้น1	12
ชาใบ (ชาจีน)	7	เมล็ดพริกไทย ชั้น2	14
ชาผง (ชาฝรั่ง)	7	พริกไทยป่น	12
ชিংแห้ง	12	เนื้อมะพร้าวแห้ง ชั้น1	5
ชিংผงสำเร็จรูป	2.5	เนื้อมะพร้าวแห้ง ชั้น2	6
กล้วยอบ	21	เนื้อมะพร้าวแห้ง ชั้น3	7

## 2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิโรจน์ (2551) ได้พัฒนาเตาอบรังไหมด้วยเตาแก๊สอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นระดับที่เหมาะสมในการอบรังไหม

Soponronnarit and others (1992) ได้ศึกษาการอบแห้งมะละกอแผ่น โดยใช้อินฟราเรดศึกษาการอบแห้งมะละกอแผ่นโดยใช้รังสีอินฟราเรด โดยเครื่องอบมีประสิทธิภาพ 35 –45 % ความยาวคลื่นสูงสุดที่ 1,200 นาโนเมตร การใช้รังสีอินฟราเรดที่ทำให้น้ำระเหยออกไปจากวัสดุมากกว่าไม่ใช้รังสีอินฟราเรดมากถึง 80 %

Afzal and others (1998) ได้ทดลองอบแห้งมันฝรั่ง เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วอากาศที่ 0.5 เมตรต่อวินาที ความชื้นสัมพัทธ์ 36% ใช้ความเข้มข้นของรังสี 0.125, 0.250, 0.375 และ 0.500 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตรและความหนาของแผ่นมันฝรั่งเท่ากับ 2.5, 6.5 และ 10.5 มิลลิเมตร โดยศึกษาผลกระทบของการอบแห้งเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของรังสีและเมื่อมีการเพิ่มความหนาของมันฝรั่ง จากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดไกลที่ใช้ และพบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของรังสีอินฟราเรดไกลอยู่ระหว่าง  $5.93 \times 10^{-11}$  และ  $1.73 \times 10^{-9}$  ตารางเมตรต่อวินาที

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้พลังงาน 2057 กิโลจูลต่อกิโลกรัม สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ หรืออัตราการอบแห้ง คือความเข้มของการแผ่รังสี (Radiative Intensity) และอัตราการไหลอากาศ โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์มีผลน้อยมาก

Ipsita Das and Das (2004) ได้ศึกษาการใช้พลังงานและคุณภาพของรังสีอินฟราเรดในการอบแห้งข้าวเหนียวหนึ่ง โดยใช้ความเข้มของการแผ่รังสีที่ 5 ระดับ คือ 5514, 4520, 3510, 2520 และ 1509 วัตต์ต่อตารางเมตร ความหนาของเมล็ดข้าว 4 ขนาด คือ 3, 6, 12, และ 25 มิลลิเมตร พบว่า การใช้ความเข้มของการแผ่รังสีที่เพิ่มขึ้นจะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลงและมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

จากการดำเนินการศึกษาวิจัยการอบแห้งเห็ดสมุนไพร โดยการออกแบบ สร้าง พัฒนาเตาแก๊สอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร และทดสอบเตาแก๊สอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร จึงได้กำหนดใช้เห็ดหลินจือที่มีสรรพคุณทางยามาเป็นวัสดุทดสอบเตาอบแห้งต้นแบบ ณ ตึกเจ้าคุณทหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งได้ผลการศึกษาอภิปรายและวิจารณ์ ดังนี้

#### 3.1 การออกแบบและทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น

การศึกษาในขั้นตอนนี้ เพื่อการออกแบบและสร้างเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น แล้วทำการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น โดยทำการการออกแบบและสร้างเตาด้วยหลักการใช้ความร้อนจากเตาอินฟราเรดให้ลมร้อนผ่านท่อไปยังห้องอบแห้ง ซึ่งมีชุดควบคุมปริมาณแก๊สและอุณหภูมิระหว่างการอบแห้ง จากนั้นทำการทดสอบระบบการทำงานของเตาอินฟราเรดอบแห้ง ก่อนทำการทดสอบอบแห้งเห็ดสมุนไพร มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การออกแบบและสร้างเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น จากการศึกษาข้อมูลการตรวจเอกสารหลักการอบแห้งและความร้อนอินฟราเรดผลิต จึงทำการออกแบบและสร้างเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น ที่ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 เตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดหลินจือเบื้องต้น

1. ส่วนเตาอินฟราเรดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ และมีระบบควบคุมการไหล เพื่อให้หัวเตาเกิดการเผาแก๊ส LPG เป็นรังสีอินฟราเรด อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เพื่อให้เกิดอากาศร้อนไหลไปตามท่อเข้าไป ยังส่วนของห้องอบแห้ง ในระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้งเห็ดสมุนไพร ซึ่งชุดหัววัดอุณหภูมิจะควบคุมระดับอุณหภูมิ ให้มีความร้อนสูงสม่ำเสมอต่อเนื่อง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

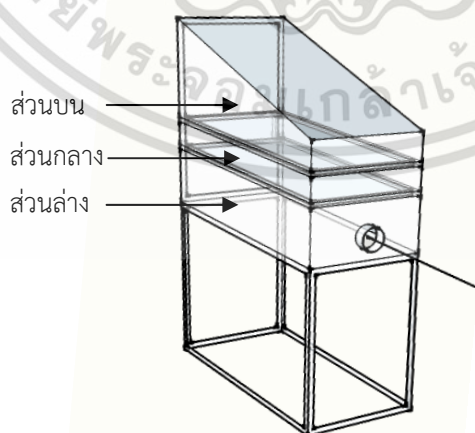
2. ส่วนห้องอบแห้งเห็ด เป็นชั้นวางวัสดุในการอบแห้ง มีความกว้าง 47 เซนติเมตร ความยาว 110 เซนติเมตร และความสูงด้านหลัง 152 เซนติเมตร และความสูงด้านช่องทางลมร้อนเข้า 125 เซนติเมตร ด้วยความร้อนอากาศร้อนที่ไหลมาจากเตาอินฟราเรดผ่านชั้นวางวัสดุและเห็ดสมุนไพร เพื่อทำการอบแห้งเห็ดสมุนไพร ทำหน้าที่ระเหยน้ำออกจากเห็ดสมุนไพร และพัดพาไอน้ำออกไป ในระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง ภายในจะมีชั้นตะแกรงสำหรับวางเห็ดสมุนไพรจำนวน 2 ชั้น คือ ชั้นบน และ ชั้นล่าง ส่วนด้านบนห้องอบสมุนไพรจะเป็นแผ่นกระจกใสไว้สังเกตเห็ดสมุนไพรที่ทำการอบแห้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

3. ส่วนชุดควบคุมแก๊สและอุณหภูมิของหัวอินฟราเรด เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบและควบคุมปริมาณการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง เข้าสู่ส่วนเตาอินฟราเรดในระดับอุณหภูมิที่จะใช้ในการอบแห้งเห็ดสมุนไพร

โดยส่วนประกอบของเตาอบแห้งเห็ดสมุนไพรจะทำงานสัมพันธ์กันทั้งหมด สามารถปรับระดับอุณหภูมิที่หัวเตาอินฟราเรดให้เหมาะสมกับการอบแห้งเห็ดสมุนไพรได้ ด้วยชุดควบคุมแก๊สและอุณหภูมิของหัวอินฟราเรด ตามระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในห้องอบแห้งเห็ด

3.1.2 วิธีการดำเนินการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น ดำเนินการเพื่อทดสอบระบบการทำงานของเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร โดยการทดลองผลิตอากาศร้อนจากหัวอินฟราเรดที่มีระบบควบคุมการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง ด้วยชุดควบคุมแก๊สและหัววัดอุณหภูมิ ซึ่งได้ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ เพื่อเก็บข้อมูลต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิหน้าเตา อุณหภูมิในห้องอบแห้ง อัตราการใช้เชื้อเพลิง เป็นต้น มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมอุปกรณ์ ตรวจสอบและประกอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น
- 2) เตรียมจุดไฟหน้าเตา โดยทำการชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG แล้วจดบันทึก
- 3) จุดไฟหน้าเตา พร้อมกับบันทึกเวลาและอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ของการทดลอง ณ อุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรด และอุณหภูมิในห้องอบแห้ง (ภาพที่ 3.2) ได้แก่ ส่วนล่าง ส่วนกลาง และ ส่วนบน โดยบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 10 นาที



ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเห็ดสมุนไพร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ทำการทดลอง 6 ชั่วโมง แล้วทำปิดแก๊ส LPG เพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้
- 5) หลังจากหยุดกระบวนการเผาไหม้ตามเวลาที่กำหนด ทำการชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG พร้อมบันทึกน้ำหนัก

6) ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1-5 จนครบทั้ง 3 การทดลอง

3.1.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น ในการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรด และอุณหภูมิในห้องอบแห้ง จะทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ และแสดงผลการทดสอบเป็นตารางเปรียบเทียบ โดยการวิเคราะห์ตามสมการ ดังนี้

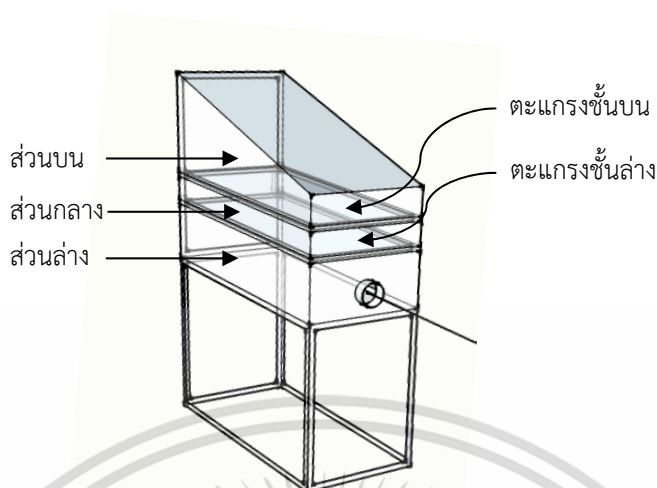
$$1) \text{ อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ชั่วโมง) = } \frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป (กิโลกรัม)}}{\text{ระยะเวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)}}$$

### 3.2 การศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร

การศึกษาในขั้นตอนนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร ที่ผ่านการทดลองเบื้องต้นมาแล้ว โดยทำการทดลองอบแห้งเห็ดหลินจือ ด้วยการหันดอกเห็ดเป็นชั้น และนำมาวางบนตะแกรงในห้องอบแห้ง เพื่อศึกษา อัตราการอบแห้ง อัตราการใช้เชื้อเพลิง และเวลาในการอบแห้งเห็ดหลินจือ เป็นต้น ซึ่งมีอุปกรณ์ในการทดสอบ ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิ สายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K เครื่องชั่งน้ำหนัก นาฬิกาจับเวลา เห็ดหลินจือ แก๊สเชื้อเพลิง ชุดควบคุมแก๊สอินฟราเรดและอุปกรณ์ป้องกัน เป็นต้น

3.2.1 วิธีการดำเนินการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดหลินจือ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมอุปกรณ์ ตรวจสอบและประกอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดหลินจือ
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเห็ดหลินจือที่นำมาทำการอบแห้ง ทั้งหมด 6 กิโลกรัม แบ่งวางตะแกรงชั้นล่าง 3 กิโลกรัม และ ตะแกรงชั้นบน 3 กิโลกรัม หลังจากเริ่มการทดลองชั่งน้ำหนัก ชั้นเห็ดหลินจือตัวอย่างชั้นละ 9 ชั้น เพื่อเป็นตัวอย่างนำไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักทุกๆ 30 นาทีแล้วจดบันทึก พร้อมกับเตรียมจุดไฟหน้าเตา โดยทำการชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG แล้วจดบันทึก
- 3) จุดไฟหน้าเตา พร้อมกับบันทึกเวลาและอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ของการทดลอง อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรด และอุณหภูมิในห้องอบแห้ง (ภาพที่ 3.3) ได้แก่ ส่วนล่าง ส่วนกลาง ส่วนบน บนตะแกรงชั้นล่าง และบนตะแกรงชั้นบน โดยบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 10 นาที
- 4) ทำการทดลองจนค่าน้ำหนักทุกตัวอย่างคงที่ แล้วทำปิดแก๊ส LPG เพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้
- 5) หลังจากหยุดกระบวนการเผาไหม้ตามเวลาที่กำหนด ทำการชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG พร้อมบันทึกน้ำหนัก
- 6) ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1-5 จนครบทั้ง 3 การทดลอง



ภาพที่ 3.3 ตำแหน่งติดตั้งหัววัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งและบนชั้นตะแกรงอบแห้งเห็ดสมุนไพร

3.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดหลินจือ ในการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรด และอุณหภูมิในห้องอบแห้ง จะทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ และแสดงผลการทดสอบเป็นตารางเปรียบเทียบ โดยการวิเคราะห์ตามสมการ ดังนี้ ดังนี้

- 1) ความชื้นเห็ดสมุนไพร (%ฐานเปียก) =  $\frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$
- 2) อัตราการอบแห้งเห็ดสมุนไพร (กก./ชั่วโมง) =  $\frac{\text{น้ำหนักเห็ดเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักเห็ดที่ลดลง (กก.)}}{\text{ระยะเวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)}}$
- 3) อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กก./ชั่วโมง) =  $\frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป (กก.)}}{\text{ระยะเวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การดำเนินการศึกษาวิจัยเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร ด้วยการออกแบบ และทดสอบการเตาอินฟราเรดอบแห้ง กับเห็ดหลินจือซึ่งเป็นเห็ดสมุนไพรที่มีมูลค่าสูง ณ ดิ็กเจ้าคุณทหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อภิปรายผลการศึกษา ได้ดังนี้

#### 4.1 ผลการศึกษาออกแบบและทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น

การดำเนินการศึกษาเพื่อใช้ความร้อนจากเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร จึงได้ออกแบบ และการจัดสร้างเตาอินฟราเรด ตามหลักนำความร้อนที่ได้จากรังสีอินฟราเรดทำให้เกิดความร้อนสม่ำเสมอ ต่อเนื่อง และให้เกิดลมร้อนขึ้นไหลผ่านห้องอบแห้งหรือตู้อบที่มีตะแกรงเป็นชั้นภายในตู้อบ ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดควันหรือมลพิษในระหว่างการเผาไหม้ ดังนั้นได้มีการออกแบบและสร้างเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร ดังภาพที่ 4.1 โดยมีส่วนชุดควบคุมทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแก๊สที่ไหลเข้าเตาอินฟราเรด และหัวเตาอินฟราเรดทำหน้าที่ผลิตความร้อน ให้ไหลเข้าห้องอบแห้งทางด้านหลังเป็นช่องทางออกที่สูงจากพื้น 60 เซนติเมตร โดยส่งผ่านความร้อนด้วยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เข้าห้องอบแห้งหรือตู้อบแห้งที่มีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูมีความกว้าง 45 เซนติเมตร มีความสูง 50 เซนติเมตร มีความยาว 110 เซนติเมตร และส่วนขาสูงจากพื้น 70 เซนติเมตร ซึ่งในห้องอบแห้งมีชั้นวางเห็ดสมุนไพรจำนวน 2 ชั้น ชั้นล่างห่างจากพื้นห้องอบแห้ง 22 เซนติเมตร และชั้นบนห่างจากชั้นล่าง 10 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนจากอินฟราเรดไหลผ่านชั้นวางเห็ดเพื่ออบแห้งเห็ดสมุนไพรต่อไป



ภาพที่ 4.1 การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น

การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น เพื่อศึกษาอุณหภูมิของหน้าเตาอินฟราเรด และอุณหภูมิบริเวณห้องอบแห้ง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะพัฒนานำความร้อนที่ได้ไปใช้ในการอบแห้งเห็ดสมุนไพร รวมถึงระยะเวลาในการให้ความร้อนและช่วงของความร้อนที่เกิดขึ้น โดยได้

ดำเนินการทดลองเตาอินฟราเรดอบแห้งจำนวน 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้งใช้ระยะเวลาประมาณ 1 วัน โดยระยะเวลาทดลองอบแห้ง 6 ชั่วโมง ซึ่งการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น ด้วยเตาอินฟราเรดชนิดใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง โดยทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิ้ลอร์ ตามตำแหน่งต่างๆ ทั้งหน้าเตาอินฟราเรด และอุณหภูมิบริเวณห้องอบแห้ง แล้วต่อสายเข้ากับเครื่องวัดบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ และจุดไฟหน้าเตา พร้อมกับบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยมีสภาพอากาศแวดล้อมบริเวณทดสอบ อุณหภูมิอากาศประมาณ 28 องศาเซลเซียส มีลมพัด และมีแสงแดดตลอดทั้งวัน แสดงการดำเนินการทดลองและข้อมูลจากการทดลองในภาคผนวก ก แสดงระดับอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น ดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 มีผลการทดสอบและอภิปรายผลได้ดังนี้

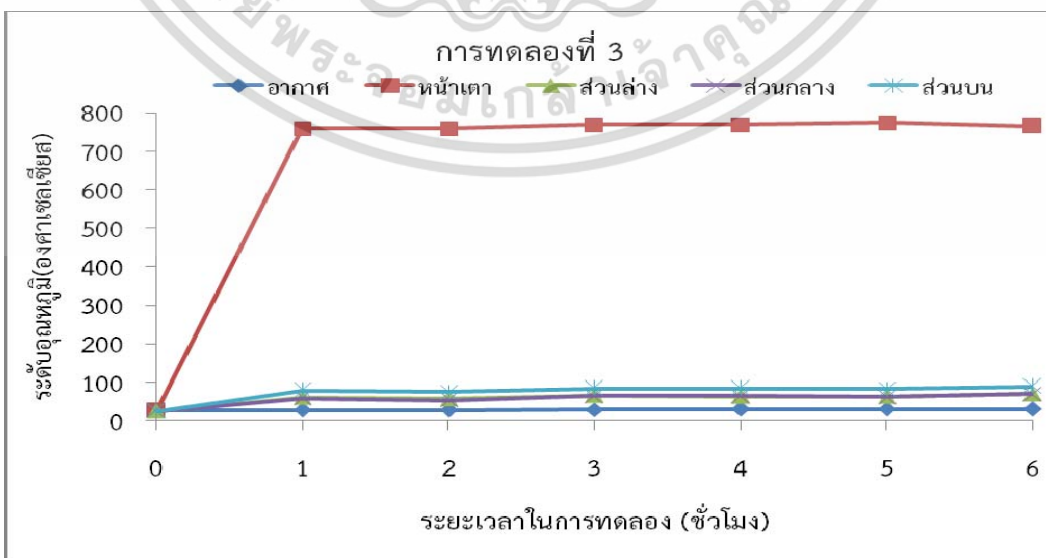
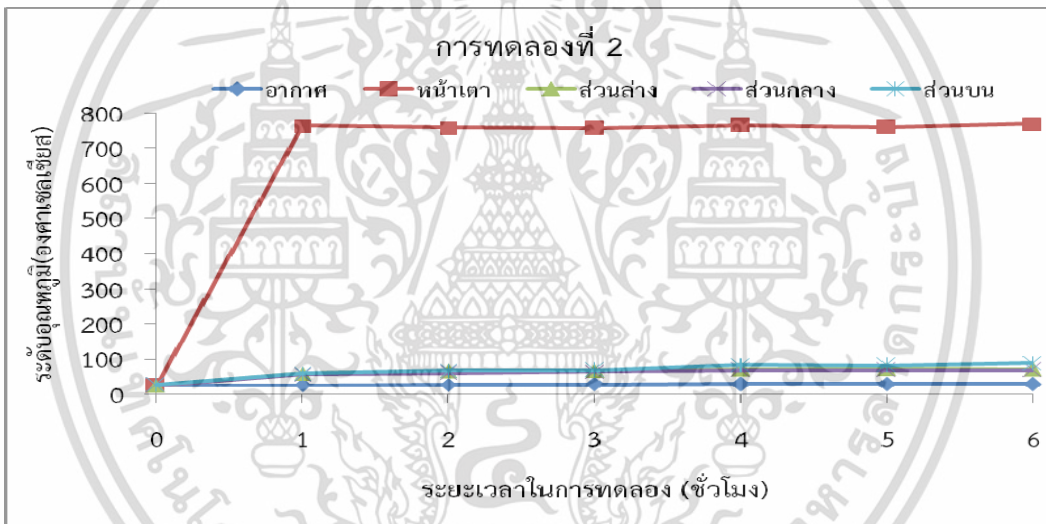
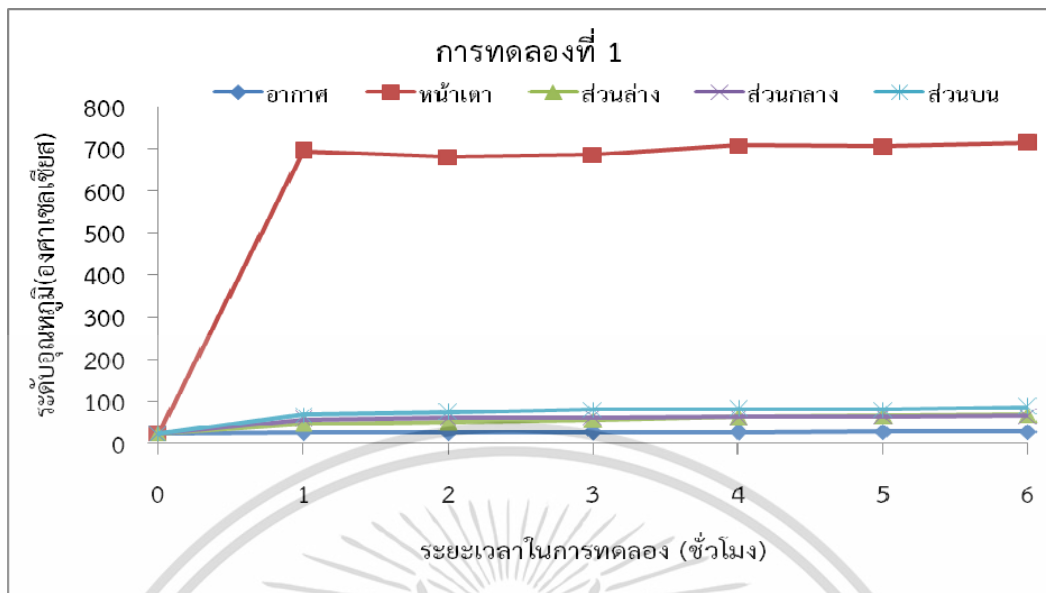
การทดลองที่ 1 เริ่มทำการทดลองเวลา 8:30 น. โดยทำการชั่งน้ำหนักแก๊สเชื้อเพลิง แล้วทำการจุดไฟหน้าเตา ซึ่งอุณหภูมิขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ห้องอบแห้งชั้นบน ห้องอบแห้งชั้นกลาง และห้องอบแห้งชั้นบน ที่ 24 23 23 และ 24 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นตามระยะเวลาทดลอง เวลาผ่านไป 6 ทำการหยุดกระบวนการเผาไหม้โดยการหยุดการจ่ายเชื้อเพลิง ปิดถึง โดยขณะหยุดกระบวนการเผาไหม้อุณหภูมิ ณ หน้าเตา ห้องอบแห้งชั้นบน ห้องอบแห้งชั้นกลาง และห้องอบแห้งชั้นบน ที่ 714 68 66 และ 87 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิง ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงไป 1 กิโลกรัม

การทดลองที่ 2 เริ่มทำการทดลองเวลา 9:00 น. โดยทำการชั่งน้ำหนักแก๊สเชื้อเพลิง แล้วทำการจุดไฟหน้าเตา ซึ่งอุณหภูมิขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ห้องอบแห้งชั้นบน ห้องอบแห้งชั้นกลาง และห้องอบแห้งชั้นบน ที่ 23 25 25 และ 26 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นตามระยะเวลาทดลอง เวลาผ่านไป 6 ทำการหยุดกระบวนการเผาไหม้โดยการหยุดการจ่ายเชื้อเพลิง ปิดถึง โดยขณะหยุดกระบวนการเผาไหม้อุณหภูมิ ณ หน้าเตา ห้องอบแห้งชั้นบน ห้องอบแห้งชั้นกลาง และห้องอบแห้งชั้นบน ที่ 769 71 69 และ 88 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงไป 1 กิโลกรัม

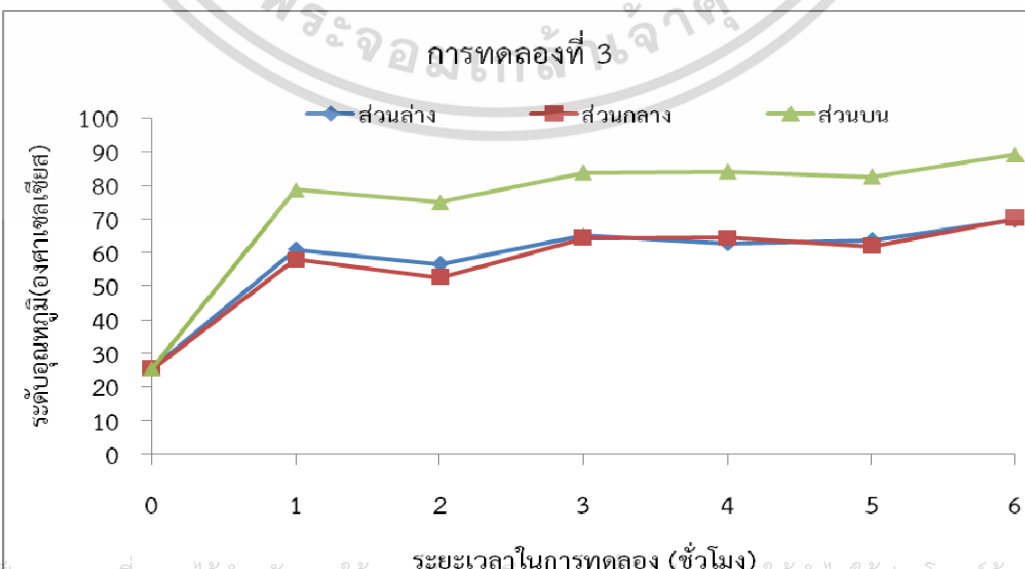
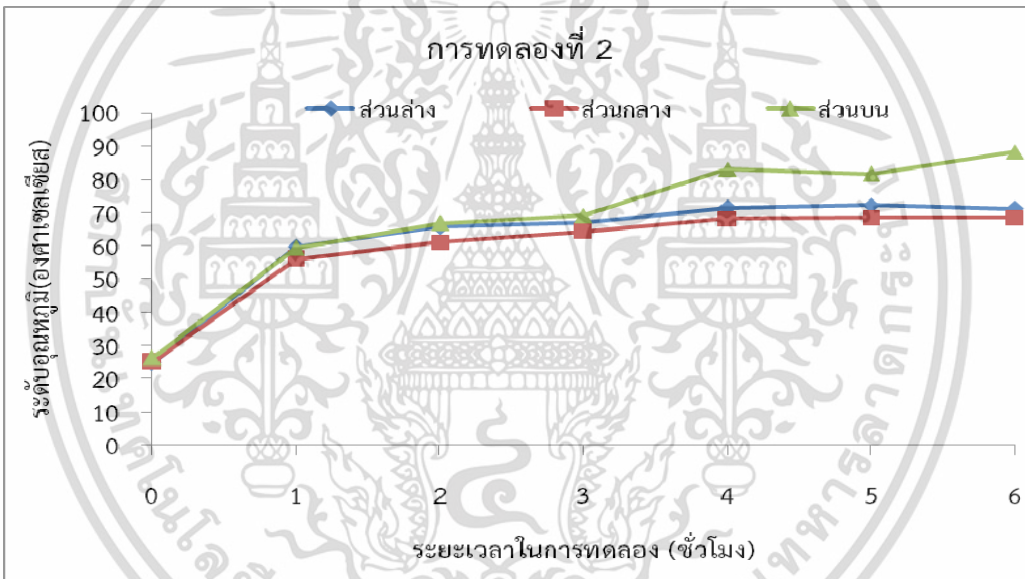
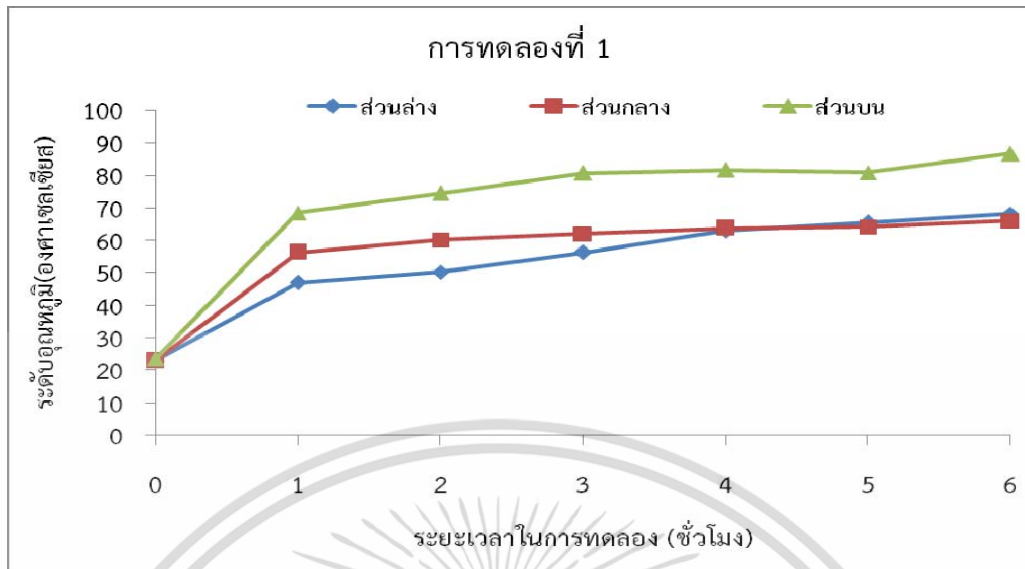
การทดลองที่ 3 เริ่มทำการทดลองเวลา 8:30 น. โดยทำการชั่งน้ำหนักแก๊สเชื้อเพลิง แล้วทำการจุดไฟหน้าเตา ซึ่งอุณหภูมิขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ห้องอบแห้งชั้นบน ห้องอบแห้งชั้นกลาง และห้องอบแห้งชั้นบน ที่ 26 26 25 และ 26 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นตามระยะเวลาทดลอง เวลาผ่านไป 6 ทำการหยุดกระบวนการเผาไหม้โดยการหยุดการจ่ายเชื้อเพลิง ปิดถึง โดยขณะหยุดกระบวนการเผาไหม้อุณหภูมิ ณ หน้าเตา ห้องอบแห้งชั้นบน ห้องอบแห้งชั้นกลาง และห้องอบแห้งชั้นบน ที่ 765 70 70 และ 89 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงไป 1 กิโลกรัม

จากผลการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้นทั้ง 3 การทดลอง จะเห็นว่า ระดับอุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรดอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีระดับอุณหภูมิหน้าเตาเพิ่มขึ้นถึง 760 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 10 นาที และจะค่อนข้างคงที่ตลอดจนถึงสิ้นสุดการทดลอง และทำให้ความร้อนไหลผ่านท่อเข้าสู่ห้องอบแห้งและไหลออกทางด้านหลัง โดยอุณหภูมิในห้องอบแห้งแต่ละทุกส่วนเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 10 องศาเซลเซียส เป็นผลให้อุณหภูมิของห้องอบแห้งสูงประมาณ 66 - 89 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 และ 2 ของการทดลอง โดยมีแนวโน้มค่อนข้างต่อเนื่องไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งส่วนบนของห้องอบแห้งจะมีอุณหภูมิสูงกว่าส่วนกลางและส่วนล่าง ระหว่างตะแกรงวางวัสดุอบแห้งของชั้นล่างและชั้นบนภายในห้องอบแห้ง ของเตาอินฟราเรดอบแห้งสมุนไพร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 อุดมทงุมนหน้าเตา และตำแหน่งต่างๆ ของเตาอินพราเรตอบแห้งเห็ดสมุนไพรมองต้น  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติเนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**ภาพที่ 4.3** อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ของเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดผสมไพร่เบื้องต้น  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ก็ตาม ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น จากการทดสอบ 6 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิของอากาศสูงสุดจะอยู่บริเวณส่วนบนของห้องอบแห้ง มีค่าเฉลี่ย 88 องศาเซลเซียส สำหรับบริเวณส่วนล่างและส่วนกลางของห้องอบแห้ง มีค่าเฉลี่ย 69.6 และ 68.2 องศาเซลเซียส ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยระดับอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 1-2 ชั่วโมง จากการเริ่มต้นจุดหัวเตาอินฟราเรด แล้วจะมีแนวโน้มค่อยข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง เป็นผลให้อากาศที่ไหลเข้าห้องอบแห้ง มีความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง โดยมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเพียง 0.17 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

**ตารางที่ 4.1** การศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น

รายการวิเคราะห์ผล	การทดลองที่			เฉลี่ย
	1	2	3	
เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่ใช้ไป (กิโลกรัม)	1.00	1.00	1.00	1.00
ระยะเวลาในการทดลอง (ชั่วโมง)	6.00	6.00	6.00	6.00
อุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงสุด (องศาเซลเซียส)				
- ส่วนล่าง	68	71	70	69.60
- ส่วนกลาง	66	69	70	68.20
- ส่วนบน	87	88	89	88.00
อัตราการใช้เชื้อเพลิง(กิโลกรัม/ชั่วโมง)	0.17	0.17	0.17	0.17

จากทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่า ลักษณะการเผาไหม้ของแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาอินฟราเรด ทำให้อากาศมีความร้อนเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ไหลเข้าไปในห้องอบแห้งจนทำให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 68-88 องศาเซลเซียส เป็นระดับที่อุณหภูมิสูงเพียงพอสำหรับการอบแห้งเห็ดสมุนไพรได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียส และไม่ควรเกิน 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดขึ้นตั้งแต่นาทีที่ 10 จนสิ้นสุดการทดสอบต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่า 6 ชั่วโมง จึงน่าจะเพียงพอต่อการพัฒนานำความร้อนไปอบเห็ดสมุนไพรต่อไป

#### 4.2 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร

การดำเนินการในขั้นตอนนี้ ได้ทดสอบการทำงานของเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร โดยทำการอบแห้งเห็ดหลินจือ ที่ทำการหั่นเป็นชิ้นวางบนชั้นตะแกรงในห้องอบแห้งบนตะแกรงทั้งชั้นล่างและชั้นบน โดยดำเนินการทดลองอบแห้งเห็ดหลินจือ จำนวน 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้งใช้ระยะเวลาประมาณ 1 วัน ระยะเวลาทดลองอบแห้ง 6 ชั่วโมง ซึ่งมีสภาพอากาศแวดล้อมบริเวณทดสอบ ดังภาพที่ 4.4 แสดงการดำเนินการทดลองและข้อมูลจากการทดลองในภาคผนวก ข แสดงระดับอุณหภูมิหน้าเตา ในห้องอบแห้ง ความชื้นเห็ดหลินจือ และอัตราการอบแห้งเห็ดหลินจือ ได้เปรียบเทียบผลการศึกษาดังภาพที่ 4.5 4.6 และ 4.7 ซึ่งวิเคราะห์ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.4 การเตรียมทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร ทดลองอบแห้งหลินจือ

การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร โดยการอบแห้งเห็ดหลินจือ เพื่อศึกษาอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ความชื้นเห็ดหลินจือ อัตราการอบแห้งเห็ดหลินจือ และระยะเวลาในการอบแห้งเห็ดหลินจือ โดยมีเตาอินฟราเรดที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ให้ความร้อนในการอบแห้งเห็ดหลินจือที่วางบนชั้นตะแกรงในห้องอบแห้ง ทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มิคัปเปออร์ ตามตำแหน่งต่างๆ ทั้งหน้าเตาภายในห้องอบแห้งเห็ดหลินจือทั้ง 2 ชั้น แล้วต่อสายเข้ากับเครื่องวัดบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ เตรียมตัวอย่างเห็ดหลินจือที่จะทำการอบแห้ง วางบนตะแกรงภายในห้องอบแห้ง เกลี่ยกระจายให้ทั่วตะแกรงพร้อมกับวางตะแกรงชุ่มตัวอย่างเห็ดหลินจือ เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำหนักที่ลดลงของเห็ดหลินจือ และนำออกมาชั่งน้ำหนักระหว่างการทดลองอบแห้งเห็ดหลินจือ เป็นระยะๆ ทุก 30 นาที จากนั้นเริ่มการทดลองจุดไฟเตาอินฟราเรด พร้อมกับเริ่มบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และชั่งน้ำหนักเห็ดหลินจือตามกำหนด จนสิ้นสุดการทดลอง โดยมีสภาพอากาศแวดล้อมบริเวณทดสอบ อุณหภูมิอากาศประมาณ 28 องศาเซลเซียส มีลมพัด และมีแสงแดดตลอดทั้งวัน มีผลการทดสอบและอภิปรายผลได้ ดังนี้

การทดลองที่ 1 เริ่มต้นเวลา 9:00 น. โดยทำการชั่งน้ำหนักแก๊สเชื้อเพลิง แล้วทำการจุดไฟหน้าเตา และน้ำหนักเห็ดหลินจือเริ่มต้น 2.86 กรัม มีค่าความชื้น 79.40 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ส่วนด้านล่าง ส่วนตรงกลาง ส่วนด้านบน ตะแกรงเห็ดชั้นล่าง และตะแกรงเห็ดชั้นบน มีอุณหภูมิ 25 22 22 22 24 และ 23 องศาเซลเซียส จากนั้นผ่านไป 10 นาที อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการอบแห้ง โดยหน้าเตา ส่วนด้านล่าง ส่วนตรงกลาง ส่วนด้านบน ตะแกรงเห็ดชั้นล่าง และตะแกรงเห็ดชั้นบน มีอุณหภูมิ 766 37 53 48 45 และ 41 องศาเซลเซียส พร้อมกับการสังเกตเห็นไอน้ำเกาะบริเวณกระจกด้านบนห้องอบแห้ง จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่าน 1 ชั่วโมง ไอน้ำที่เกาะกระจกด้านบนห้องอบแห้งจะหายไป และสังเกตเห็นว่าเห็ดหลินจือที่วางตรงกลางเริ่มมีการแห้ง ซึ่งอุณหภูมิ ณ หน้าเตา ส่วนด้านล่าง ส่วนตรงกลาง ส่วนด้านบน ตะแกรงเห็ดชั้นล่าง และตะแกรงเห็ดชั้นบน มีอุณหภูมิ 762 45 58 67 59 และ 52 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่าน 6 ชั่วโมง สังเกตเห็นขึ้นเห็ดหลินจือที่อยู่บนตะแกรงมีเริ่มแห้งทั่วห้องอบและมีน้ำหนักคงที่ จึงหยุดกระบวนการเผาไหม้ แล้วนำแก๊สเชื้อเพลิงที่เหลือมาชั่งน้ำหนักปรากฏว่าใช้เชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม

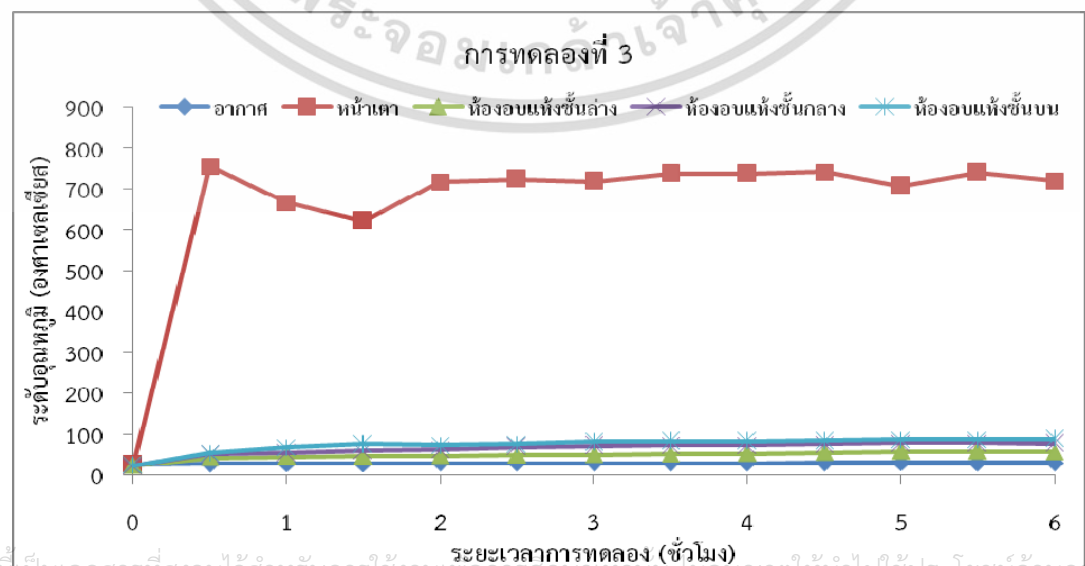
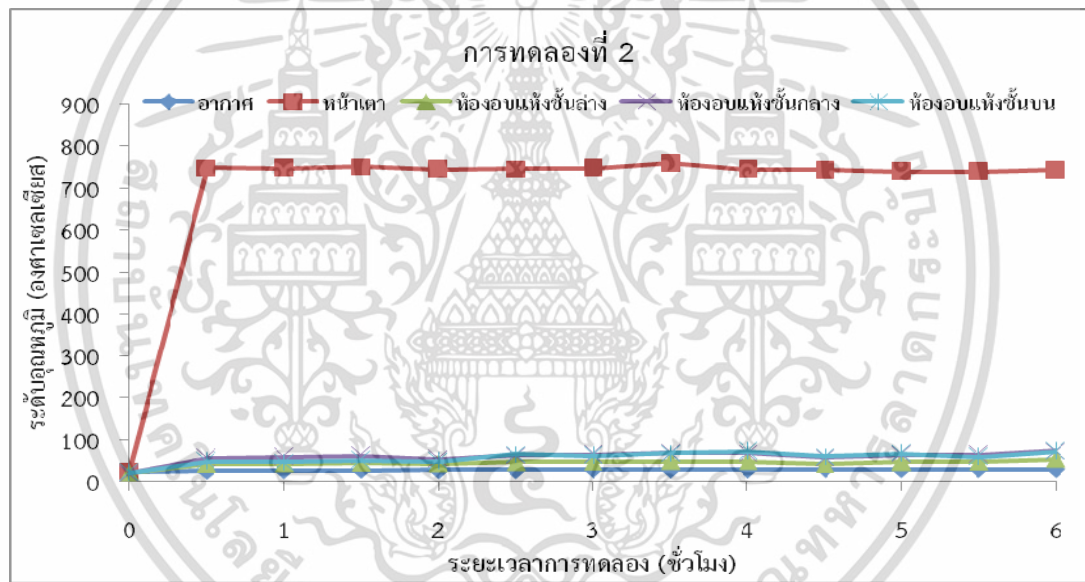
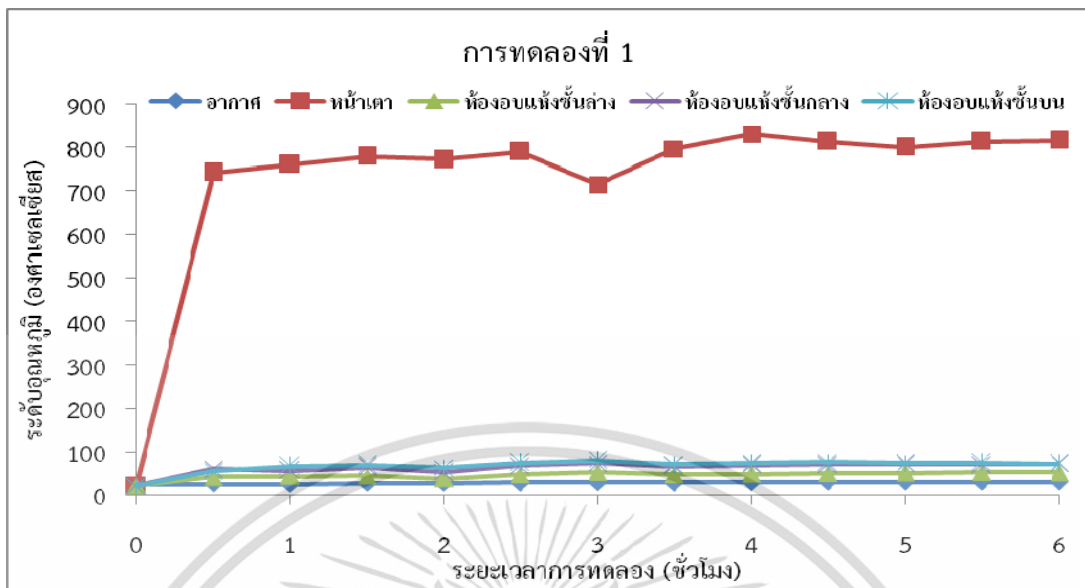
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 เริ่มต้นเวลา 9:00 น. โดยทำการชั่งน้ำหนักแก๊สเชื้อเพลิง แล้วทำการจุดไฟหน้าเตา และน้ำหนักหีดหลินจือเริ่มต้น 2.92 กรัม มีค่าความชื้น 79.52 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ส่วนด้านล่าง ส่วนตรงกลาง ส่วนด้านบน ตะแกรงหีดชั้นล่าง และตะแกรงหีดชั้นบน มีอุณหภูมิ 25 21 20 21 24 และ 23 องศาเซลเซียส จากนั้นผ่านไป 20 นาที อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการอบแห้ง โดยหน้าเตา ส่วนด้านล่าง ส่วนตรงกลาง ส่วนด้านบน ตะแกรงหีดชั้นล่าง และตะแกรงหีดชั้นบน มีอุณหภูมิ 753 39 52 44 44 และ 43 องศาเซลเซียส พร้อมกับการสังเกตเห็นไอน้ำเกาะบริเวณกระจกด้านบนห้องอบแห้ง จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่าน 1 ชั่วโมง ไอน้ำที่เกาะกระจกด้านบนห้องอบแห้งจะหายไป และสังเกตเห็นว่าหีดหลินจือที่วางตรงกลางเริ่มมีการแห้ง ซึ่งอุณหภูมิ ณ หน้าเตา ส่วนด้านล่าง ส่วนตรงกลาง ส่วนด้านบน ตะแกรงหีดชั้นล่าง และตะแกรงหีดชั้นบน มีอุณหภูมิ 747 43 58 47 53 และ 48 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่าน 6 ชั่วโมง สังเกตเห็นชั้นหีดหลินจือที่อยู่บนตะแกรงมีเริ่มแห้งทั่วห้องอบและมีน้ำหนักคงที่ จึงหยุดกระบวนการเผาไหม้ แล้วนำแก๊สเชื้อเพลิงที่เหลือมาชั่งน้ำหนักปรากฏว่าใช้เชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม

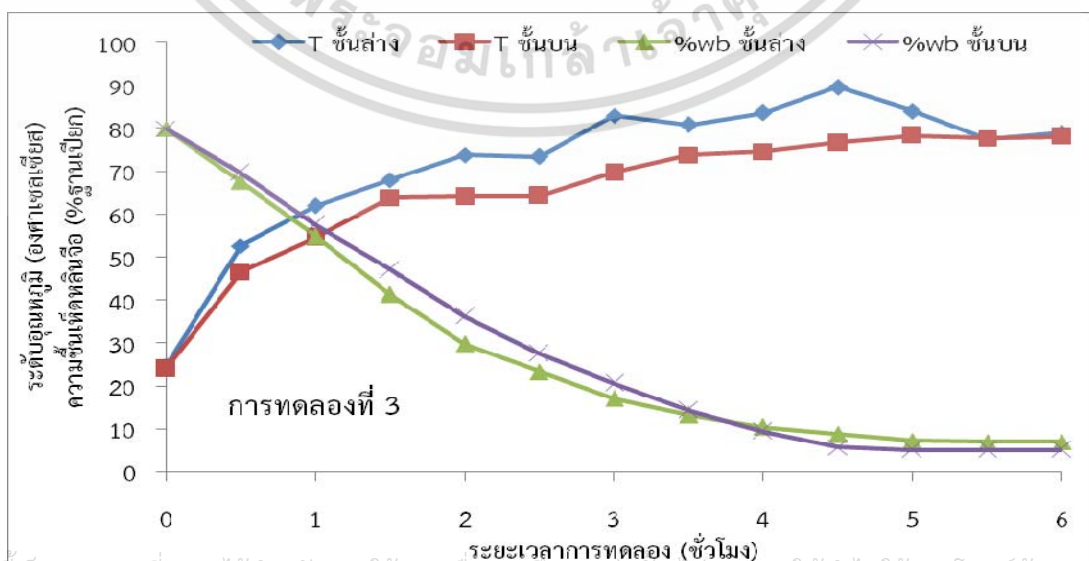
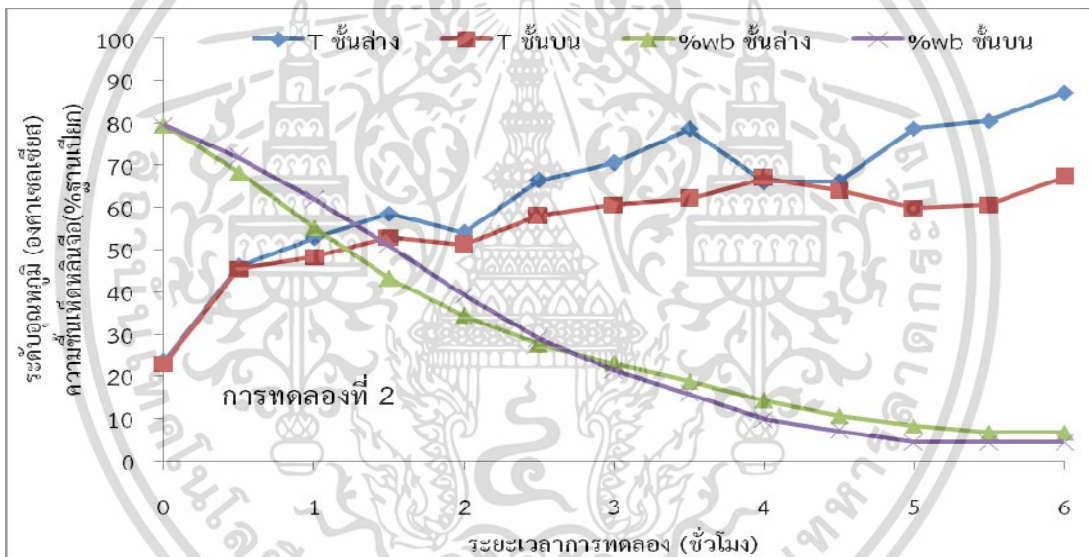
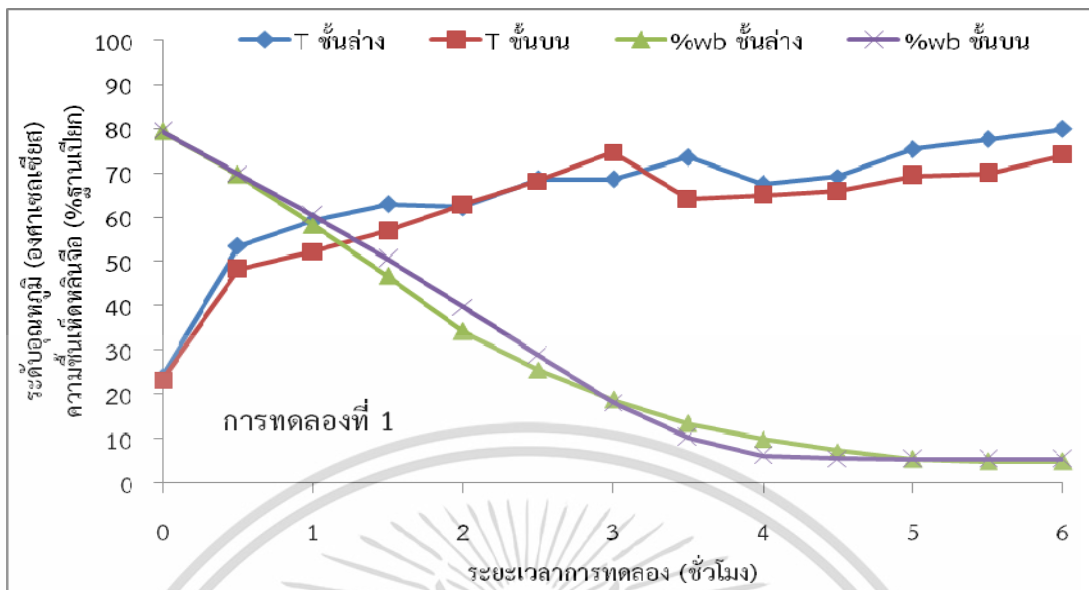
การทดลองที่ 3 เริ่มต้นเวลา 9:30 น. โดยทำการชั่งน้ำหนักแก๊สเชื้อเพลิง แล้วทำการจุดไฟหน้าเตา และน้ำหนักหีดหลินจือเริ่มต้น 2.77 กรัม มีค่าความชื้น 79.93 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ส่วนด้านล่าง ส่วนตรงกลาง ส่วนด้านบน ตะแกรงหีดชั้นล่าง และตะแกรงหีดชั้นบน มีอุณหภูมิ 25 23 22 23 25 และ 24 องศาเซลเซียส จากนั้นผ่านไป 10 นาที อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการอบแห้ง โดยหน้าเตา ส่วนด้านล่าง ส่วนตรงกลาง ส่วนด้านบน ตะแกรงหีดชั้นล่าง และตะแกรงหีดชั้นบน มีอุณหภูมิ 744 36 43 47 46 และ 40 องศาเซลเซียส พร้อมกับการสังเกตเห็นไอน้ำเกาะบริเวณกระจกด้านบนห้องอบแห้ง จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่าน 1 ชั่วโมง ไอน้ำที่เกาะกระจกด้านบนห้องอบแห้งจะหายไป และสังเกตเห็นว่าหีดหลินจือที่วางตรงกลางเริ่มมีการแห้ง ซึ่งอุณหภูมิ ณ หน้าเตา ส่วนด้านล่าง ส่วนตรงกลาง ส่วนด้านบน ตะแกรงหีดชั้นล่าง และตะแกรงหีดชั้นบน มีอุณหภูมิ 622 46 59 74 68 และ 64 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่าน 6 ชั่วโมง สังเกตเห็นชั้นหีดหลินจือที่อยู่บนตะแกรงมีเริ่มแห้งทั่วห้องอบและมีน้ำหนักคงที่ จึงหยุดกระบวนการเผาไหม้ แล้วนำแก๊สเชื้อเพลิงที่เหลือมาชั่งน้ำหนักปรากฏว่าใช้เชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม

จากกราฟแสดงอุณหภูมิของทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งหีดหลินจือทั้ง 3 การทดลอง ด้วยการใช้อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงเท่ากันเฉลี่ย 1.00 กิโลกรัม ใช้น้ำหนักหีดหลินจือเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง 2.77 – 2.92 กรัม มีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 79.40 – 79.93 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) สภาพอากาศขณะทดลองมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส แล้วเริ่มการทดลองจุดไฟเตาอินฟราเรด โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในห้องอบแห้งมีอุณหภูมิ 20–25 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านไปประมาณ 10 – 20 นาที อุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรดเพิ่มขึ้นถึง 744 – 766 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงขึ้นเป็น 36 – 48 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความชื้นของหีดหลินจือระเหยออกมา สังเกตจากมีไอน้ำเกาะที่กระจก อุณหภูมิในห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำหนักหีดหลินจือลดลงเรื่อยๆ มีน้ำหนักค่อนข้างคงที่ เมื่อเวลาผ่านไปถึง 6 ชั่วโมง โดยหีดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างและชั้นบนมีความชื้นเฉลี่ยเหลือเพียง 6.02 และ 4.97 เปอร์เซ็นต์ (ฐานเปียก) และอัตราการอบแห้งหีดหลินจือชั้นล่างกับบน ลดลงเฉลี่ย 0.54 และ 0.51 กรัมต่อชั่วโมง จากนั้นจึงหยุดกระบวนการเผาไหม้ แล้วนำแก๊สเชื้อเพลิงที่เหลือมาชั่งน้ำหนักปรากฏใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 1 กิโลกรัม

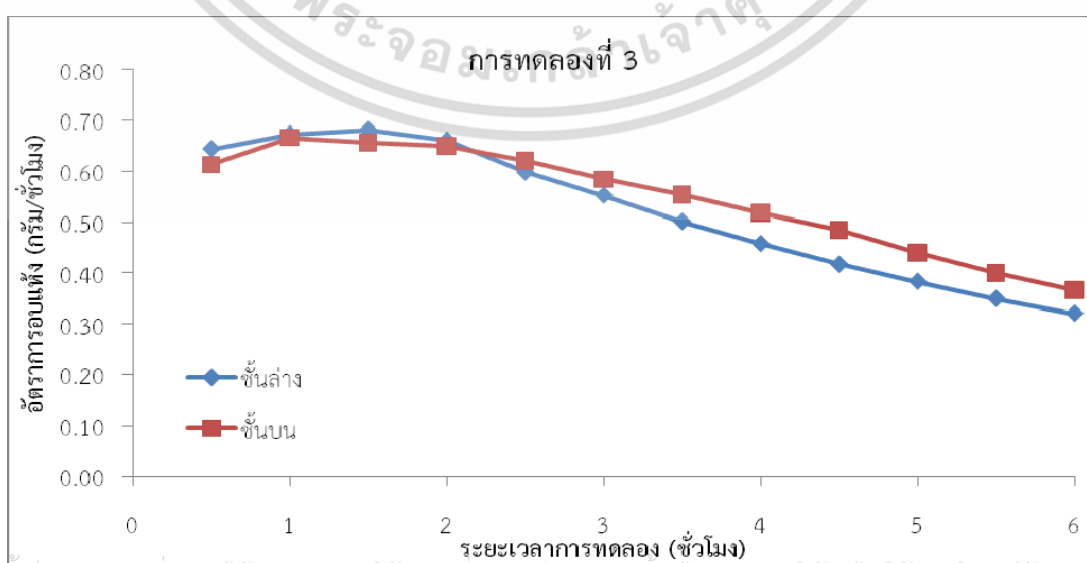
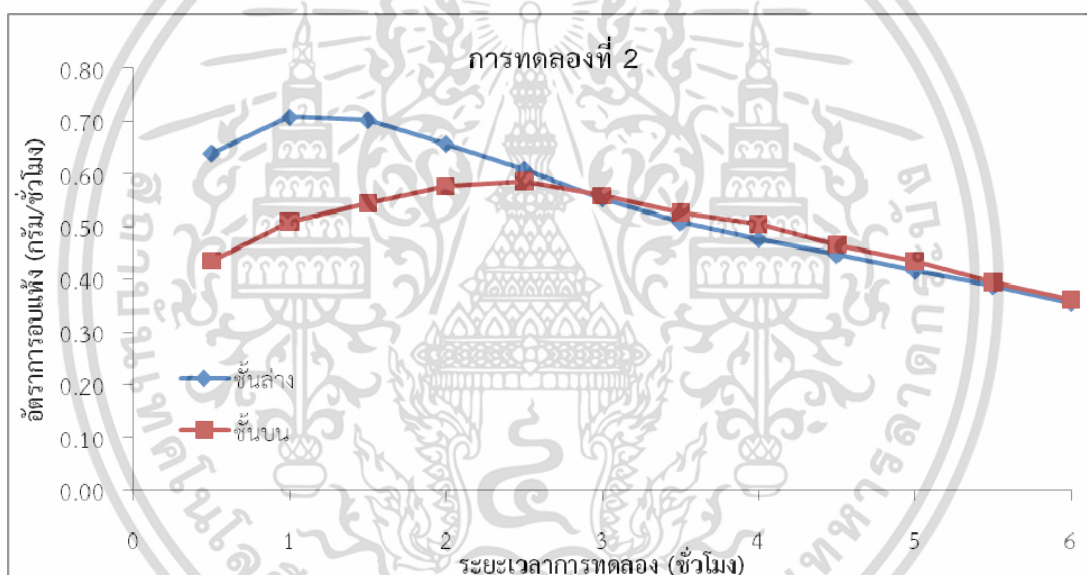
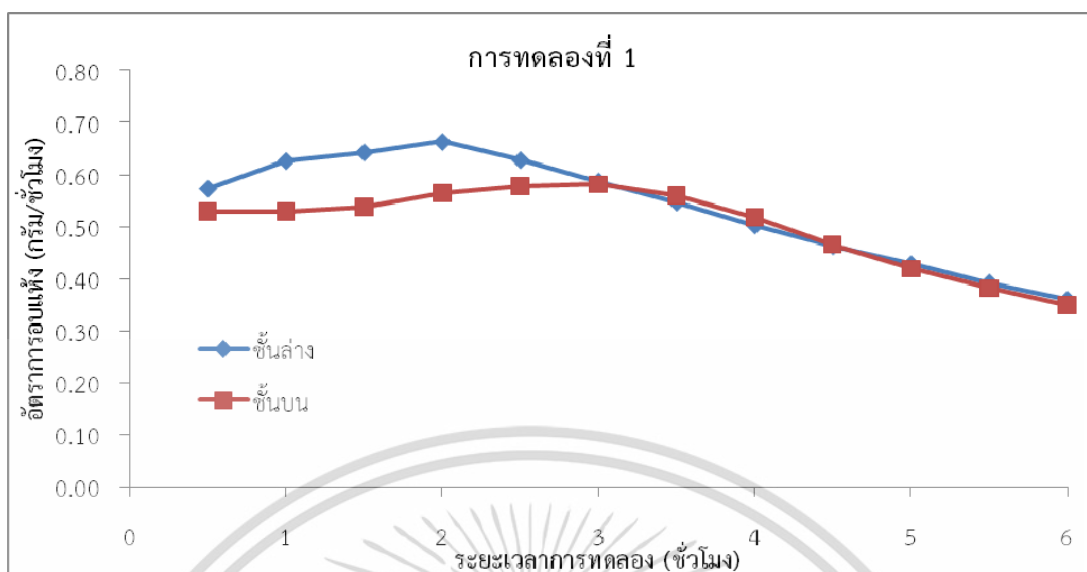
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**ภาพที่ 4.5** ระดับบอณภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของทดลองเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดหลินจือ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ควบคุมการทดลองแนะนำให้ผู้ใช้ประโยชน์ด้านอาคารค่า  
**ภาพที่ 4.6** ระดับอุณหภูมิและความชื้นที่เหือดแห้งในตะแกรงชั้นล่างและชั้นบนภายในห้องอบแห้ง  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า  
**ภาพที่ 4.7** อัตราการอบแห้งเห็ดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างและชั้นบนภายในห้องอบแห้ง  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงระดับอุณหภูมิและความชื้นเห็ดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างและชั้นบนภายในห้องอบแห้งทั้ง 3 การทดลอง จะเห็นได้ว่าระดับอุณหภูมิของเห็ดหลินจือ ในตะแกรงชั้นล่างและชั้นบนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง โดยอุณหภูมิของเห็ดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างจะสูงกว่าชั้นบน เนื่องจากได้รับความร้อนจากการไหลของอากาศเข้าก่อน เป็นผลให้ความชื้นของเห็ดหลินจือชั้นล่างลดลงต่ำกว่าเห็ดหลินจือที่อยู่ชั้นบน แต่จะแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งความชื้นเห็ดหลินจือมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มต้นทดลองอบแห้ง จนถึงชั่วโมงที่ 4 จากนั้นจะมีแนวโน้มของความชื้นเห็ดหลินจือค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลองทั้ง 2 ตะแกรง จากการทดลองทำให้ทราบว่า เตาอินฟราเรดอบแห้งสมุนไพรสามารถลดความชื้นเห็ดหลินจือได้ จากเริ่มต้นที่ประมาณ 80 (%ฐานเปียก) ลดลงเหลือประมาณ 10 (%ฐานเปียก) ภายในระยะเวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง

จากกราฟอัตราการอบแห้งเห็ดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างและชั้นบนทั้ง 3 การทดลอง จะเห็นได้ว่าอัตราการอบแห้งเห็ดหลินจือช่วง 2 ชั่วโมงแรก จะมีอัตราที่เพิ่มขึ้นแล้วจะเริ่มลดลงในการทดลองชั่วโมงที่ 3 จนสิ้นสุดการทดลอง โดยอัตราการอบแห้งของเห็ดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างจะสูงกว่าชั้นบน ในช่วง 1-3 ชั่วโมงของการทดลอง และจะมีอัตราการอบแห้งที่ลดลงใกล้เคียงกันจนสิ้นสุดการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งกับความชื้นของเห็ดหลินจือ พบว่า ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 ของการทดลอง อัตราการอบแห้งจะลดลงอย่างใกล้เคียงกัน และความชื้นของเห็ดหลินจือจะมีระดับใกล้เคียงกัน คงที่ต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง ทำให้ความชื้นของเห็ดหลินจือที่ได้จะการอบแห้งสุดท้าย ในชั้นบนเหลือ 6.22 (%ฐานเปียก) และ ในชั้นล่างเหลือ 4.97(%ฐานเปียก)

ตารางที่ 4.2 การศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรในการอบแห้งเห็ดหลินจือ

รายการวิเคราะห์ผล	การทดลองที่			เฉลี่ย
	1	2	3	
เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่ใช้ไป (กิโลกรัม)	1.00	1.00	1.00	1.00
ความชื้นเห็ดหลินจือเริ่มต้น (%ฐานเปียก)	79.40	79.52	79.93	79.62
ความชื้นเห็ดหลินจือสุดท้าย (%ฐานเปียก)				
- ตะแกรงชั้นบน	4.95	6.70	7.01	6.22
- ตะแกรงชั้นล่าง	5.39	4.38	5.14	4.97
อุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงสุด (องศาเซลเซียส)				
- ส่วนล่าง	53	53	57	54.33
- ส่วนกลาง	75	73	78	75.33
- ส่วนบน	81	72	87	80.00
อุณหภูมิเห็ดหลินจือสูงสุด (องศาเซลเซียส)				
- ตะแกรงชั้นบน	90	87	80	85.60
- ตะแกรงชั้นล่าง	78	67	75	73.40
อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (กรัม/ชั่วโมง)				
- ตะแกรงชั้นบน	0.53	0.54	0.52	0.53
- ตะแกรงชั้นล่าง	0.50	0.49	0.55	0.51
ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมด(ชั่วโมง)	6.00	6.00	6.00	6.00
อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	0.17	0.17	0.17	0.17

การวิเคราะห์ผลการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร ในการอบแห้งเห็ดหลินจือที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 79.62 (%ฐานเปียก) นานเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ปรากฏว่าใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ให้กับเตาอินฟราเรดผลิตความร้อนในการอบแห้งเฉลี่ย 1.00 กิโลกรัม โดยอุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงสุดอยู่ที่ส่วนบนเฉลี่ย 80.0 องศาเซลเซียส เมื่อเฉลี่ยระดับอุณหภูมิในห้องอบแห้งที่โดยรวมเท่ากับ 69.9 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียส และไม่ควรเกิน 100 องศาเซลเซียส และสอดคล้องกับระดับอุณหภูมิของเห็ดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างและชั้นบนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.4 และ 85.60 องศาเซลเซียส โดยไม่เกินกำหนดในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง ทำให้สีของเห็ดหลินจือหลังการอบแห้ง ยังคงมีคุณภาพที่ยอมรับได้ (ภาพที่ 4.7) ไม่เกิดการไหม้เป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ และความชื้นเห็ดหลินจือหลังอบแห้งในตะแกรงชั้นล่างและชั้นบน 4.97 และ 6.22 (%ฐานเปียก) โดยเฉลี่ยความชื้นเห็ดหลินจือที่ได้จะการอบแห้งเท่ากับ 5.60 (%ฐานเปียก) และมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 0.52 กรัม/ชั่วโมง โดยอัตราการใช้เชื้อเพลิงผลิตความร้อน 0.17 กิโลกรัม/ชั่วโมง



ภาพที่ 4.8 ลักษณะของเห็ดหลินจือที่อบแห้งแล้ว ด้วยเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร

เมื่อพิจารณาการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร การอบแห้งเห็ดหลินจือที่ความชื้นเริ่มต้น 79.62 (%ฐานเปียก) เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 10 – 20 นาที อุณหภูมิในห้องอบแห้งจะมีความเหมาะสมในการอบแห้ง พร้อมกับการสังเกตเห็นไอน้ำเกาะบริเวณกระจกด้านบนของห้องอบแห้ง จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ไอน้ำที่เกาะบริเวณกระจกด้านบนของห้องอบแห้งจะหายไป เมื่อผ่านไปประมาณ 10 – 20 นาที อุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรดเพิ่มขึ้นถึง 744 – 766 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงขึ้นเป็น 36 – 48 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิของเห็ดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างจะสูงกว่าชั้นบน เนื่องจากได้รับความร้อนจากการไหลของอากาศเข้าก่อน เป็นผลให้ความชื้นของเห็ดหลินจือชั้นล่างลดลงต่ำกว่าเห็ดหลินจือที่อยู่ชั้นบน ซึ่งแตกต่างกันไม่มากนัก โดยจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงชั่วโมงที่ 4 จากนั้นความชื้นเห็ดหลินจือค่อนข้างจะคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง ทำให้เตาอินฟราเรดอบแห้งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมุนไพรมีความสามารถลดความชื้นเห็ดหลินจือได้ จากเริ่มต้นที่ 79.62 (%ฐานเปียก) ลดลงสุดท้ายที่ 5.60 (%ฐานเปียก) โดยเตาอินฟราเรดผลิตความร้อนในการอบแห้งใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG เท่ากับ 1.00 กิโลกรัม อุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงสุดอยู่ที่ 80.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในห้องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 69.9 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการอบแห้ง 40 - 100 องศาเซลเซียส และสอดคล้องกับระดับอุณหภูมิของเห็ดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างและชั้นบนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.4 และ 85.60 องศาเซลเซียส ทำให้สีของเห็ดหลินจือหลังการอบแห้ง คุณภาพของเห็ดหลินจืออบแห้งอยู่ในคุณภาพที่ดี

ดังนั้น เตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรมันที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถทำการอบแห้งเห็ดหลินจือ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระยะเวลา 4 ชั่วโมง จากความชื้นเห็ดหลินจือเริ่มต้น 79.62 (%ฐานเปียก) ลดลงที่ 5.60 (%ฐานเปียก) ที่อุณหภูมิในห้องอบแห้งเฉลี่ย 69.9 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งเฉลี่ย 0.52 กรัม/ชั่วโมง และอัตราการใช้เชื้อเพลิง LPG ผลิตความร้อน 0.17 กิโลกรัม/ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร ได้ทำการออกแบบ สร้าง และทดสอบการเตาอินฟราเรดอบแห้งสมุนไพรเบื้องต้น แล้วได้ทำการทดลองอบแห้งเห็ดหลินจือที่เป็นเห็ดสมุนไพร สรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

#### 5.1 ผลการออกแบบและทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น

การออกแบบเตาอินฟราเรดอบแห้งสมุนไพร โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ทำให้เกิดเป็นรังสีอินฟราเรดที่มีความร้อนสูง ซึ่งมีระบบควบคุมการไหลของแก๊สและอุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรดทำให้เกิดความร้อนที่หัวเตาอินฟราเรดในห้องกำเนิดความร้อน เพื่อให้อากาศในห้องกำเนิดความร้อนนำสู่ห้องแห้งเห็ดสมุนไพร เตาอินฟราเรดอบแห้งสมุนไพร ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 1. ชุดเตาอินฟราเรดแห้งกำเนิดความร้อน ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงผลิตรังสีอินฟราเรด ทำให้อากาศในห้องกำหนดความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น แล้วอากาศร้อนจะให้ไหลเข้าไปยังห้องอบแห้งสมุนไพร ขนาดกว้าง 0.47 x ยาว 1.10 x สูง 0.40 เมตร ในส่วนที่ 2 อากาศร้อนจะไหลผ่านตะแกรงชั้นวางวัสดุอบแห้งเห็ดสมุนไพร จากชั้นล่าง ผ่านชั้นบน และออกช่องทางด้านหลังของห้องอบแห้ง ทำหน้าที่ระเหยน้ำออกจากเห็ดสมุนไพร ซึ่งส่วนด้านบนห้องอบสมุนไพรจะเป็นแผ่นกระจกใส สำหรับสังเกตการเปลี่ยนแปลงเห็ดสมุนไพรขณะทำการอบแห้ง ทำให้นำพาความชื้นจากเห็ดสมุนไพรที่วางอยู่บนชั้นตะแกรงทั้ง 2 ชั้น ออกไปด้านหลังห้องอบแห้งด้วย โดยมีชุดควบคุมความร้อนที่เตาอินฟราเรด เป็นส่วนที่ 3 ทำการวัดอุณหภูมิและควบคุมการไหลแก๊สเชื้อเพลิง เพื่อให้ได้ระดับความร้อนของอากาศสำหรับอบแห้งเห็ดสมุนไพร ในระดับอุณหภูมิที่ต้องการอย่างสม่ำเสมอสำหรับอบแห้งสมุนไพร

การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น เพื่อศึกษาการทำงานและทดลองผลิตอากาศร้อนด้วยเตาอินฟราเรด การไหลของอากาศเข้าห้องอบแห้ง ระดับอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสมุนไพร พบว่า ระดับอุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรดอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีระดับอุณหภูมิหน้าเตาเพิ่มขึ้นถึง 760 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในห้องอบแห้งแต่ละทุกส่วนเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 10 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 10 นาที หลังจากเริ่มจุดเตาอินฟราเรด ซึ่งระดับอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่ตลอดจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ทำให้อากาศร้อนไหลผ่านท่อเข้าสู่ห้องอบแห้งจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 66 - 89 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 และ 2 ของการทดลอง มีแนวโน้มค่อนข้างต่อเนื่องไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งระดับอุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงสุดจะอยู่บริเวณส่วนบนมีค่าเฉลี่ย 88 องศาเซลเซียส สำหรับบริเวณส่วนล่างและส่วนกลางของห้องอบแห้ง มีค่าเฉลี่ย 69.6 และ 68.2 องศาเซลเซียส ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG จำนวน 1 กิโลกรัม ซึ่งมีอัตราการมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเพียง 0.17 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จากผลทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่า เตาอินฟราเรดสามารถ ทำให้อากาศมีความร้อนเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ไหลเข้าไปในห้องอบแห้งจนทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 68-88 องศาเซลเซียส เป็นระดับที่อุณหภูมิสูงเพียงพอสำหรับการอบแห้งเห็ดสมุนไพรได้ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเห็ดสมุนไพรตั้งแต่ 40 องศาเซลเซียส และไม่ควรมากเกิน 100 องศาเซลเซียส จึงมีความเหมาะสมในการนำไปอบแห้งเห็ดสมุนไพรต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร

การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร โดยการอบแห้งเห็ดหลินจือ เพื่อศึกษาอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ความชื้นเห็ดหลินจือ อัตราการอบแห้งเห็ดหลินจือ ระยะเวลาในการอบแห้งเห็ด และอัตราการใช้เชื้อเพลิงผลิตความร้อน ซึ่งทำการอบแห้งเห็ดหลินจือที่วางบนชั้นตะแกรงภายในห้องอบแห้งทั้ง 2 ชั้น ทำการวัดอุณหภูมิและบันทึก ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ เตรียมเห็ดหลินจือที่จะทำการอบแห้งเกลี่ยกระจายให้ทั่วตะแกรง พร้อมกับวางตะแกรงซ้อนตัวอย่างเห็ดหลินจือ เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำหนักที่ลดลงของเห็ดหลินจือ และนำออกมาชั่งน้ำหนักกระหว่างการทดลองอบแห้งเห็ดหลินจือ เป็นระยะๆ ทุก 30 นาที ทำการทดสอบอบแห้งเห็ดหลินจือจำนวน 3 ครั้ง จากการวิเคราะห์ผล พบว่า

ทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร การอบแห้งเห็ดหลินจือที่ความชื้นเริ่มต้น 79.62 (%ฐานเปียก) เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 10 - 20 นาที อุณหภูมิในห้องอบแห้งจะเพิ่มสูงขึ้น และมีไอน้ำเกาะบริเวณกระจกด้านบนของห้องอบแห้ง อุณหภูมิในห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาผ่าน 1 ชั่วโมง ไอน้ำที่เกาะกระจกจะหายไป โดยที่อุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรดเพิ่มขึ้นถึง 744 - 766 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงขึ้นเป็น 36 - 48 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิของเห็ดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างจะสูงกว่าชั้นบน เนื่องจากได้รับความร้อนจากการไหลของอากาศก่อน ทำให้ความชื้นของเห็ดหลินจือชั้นล่างลดลงต่ำกว่าเห็ดหลินจือที่อยู่ชั้นบน แต่ไม่แตกต่างกันมากนัก และจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงชั่วโมงที่ 4 แล้วจะคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งเตาอินฟราเรดอบแห้งสมุนไพรสามารถลดความชื้นเห็ดหลินจือลงได้ถึง 5.60 (%ฐานเปียก) โดยเตาอินฟราเรดผลิตความร้อนในการอบแห้งใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG เท่ากับ 1.00 กิโลกรัม อุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงสุดอยู่ที่ 80.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในห้องอบแห้งเฉลี่ย 69.9 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง 40 - 100 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับอุณหภูมิของเห็ดหลินจือในตะแกรงชั้นล่างและชั้นบนที่มีค่าเฉลี่ย 73.4 และ 85.60 องศาเซลเซียส ทำให้สีของเห็ดหลินจือหลังการอบแห้ง คุณภาพของเห็ดหลินจืออบแห้งอยู่ในคุณภาพที่ดี

ดังนั้น เตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร สามารถทำการอบแห้งเห็ดหลินจือ ได้อย่างมีคุณภาพ ในระยะเวลา 4 ชั่วโมง จากความชื้นเห็ดหลินจือเริ่มต้น 79.62 (%ฐานเปียก) ลดลงที่ 5.60 (%ฐานเปียก) โดยอุณหภูมิในห้องอบแห้งเห็ดสมุนไพรเฉลี่ย 69.9 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งเห็ดหลินจือเฉลี่ย 0.52 กรัม/ชั่วโมง และอัตราการใช้เชื้อเพลิง LPG ผลิตความร้อน 0.17 กิโลกรัม/ชั่วโมง

## 5.3 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

การดำเนินการศึกษาและทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร สามารถทำการอบแห้งเห็ดหลินจือได้อย่างมีคุณภาพในระยะเวลา 4 ชั่วโมง ทำให้เห็ดสมุนไพรมีความชื้นในระดับเก็บรักษา และคงคุณภาพไว้ได้นาน ลดข้อจำกัดในการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด และระยะเวลาอบแห้งสั้นลง เป็นผลทำให้ลดข้อจำกัดในการอบแห้งลงได้เป็นอย่างดี ในช่วงที่ไม่สามารถตากแดดลดความชื้นได้ ทั้งนี้เตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรยังเป็นเพียงต้นแบบ ซึ่งมีข้อจำกัดที่ต้องพัฒนาเพิ่มมากขึ้น โดยมีข้อเสนอแนะในการดำเนินการศึกษาวิจัย ต่อไปดังนี้

1. เตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรต้นแบบต้องมีพัฒนารูปลักษณะให้เหมาะสมเพิ่มมากขึ้น
2. สร้างและปรับปรุงเตาอินฟราเรดอบแห้งด้วยวัสดุตามมาตรฐานของอุตสาหกรรมอาหาร
3. วิจัยและพัฒนาเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรต้นแบบในการอบแห้งวัสดุเกษตรอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- การทำเชื้อและเพาะเห็ดในถุงพลาสติก. 2551. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
<http://loei.doae.go.th/nonghin/OLDNEW/hid.htm>
- กลุ่มวิจัยพัฒนาธนาคารเชื้อพันธุ์พืชและจุลินทรีย์ (2556). การเพาะเห็ดหลินจือ. สำนักวิจัย  
พัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ [ออนไลน์]. ได้จาก:  
<http://www.doa.go.th/biotech/pdf-document/sheet7.pdf>
- ข้อมูลเห็ดขอนขาว เห็ดบด. 2551 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
<http://www.school.net.th/library/webcontest2003/100team/dlbs004/kaomonhed.htm#4>.
- จันจิรา อินทร์จันทร์ (2545). การอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ  
โมดูล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะ  
พลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ชยพร แอคะรัตน์. 2551. “การเพาะเห็ดแต่ละชนิด” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
[www.geocities.com/university2u/](http://www.geocities.com/university2u/) .
- ชาญยุทธ์ ภาณุทัต นงนุช แต่งทรัพย์ และสมชาย ไทยทัตกุล. 2540. การศึกษาการเพาะเห็ดฟาง  
โดยใช้ก้อนเห็ดที่ทิ้งแล้ว. รายงานผลการวิจัย กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร.
- ชาญยุทธ์ ภาณุทัต และคณะ. 2550. “การเพาะเห็ดฟางในโรงเรือน” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
<http://www.doae.go.th/plant/ann/tbkh2.htm>
- ฐานข้อมูลผลิตเห็ด. 2550. “สถานการณ์การผลิตเห็ด” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
<http://www.agric-prod.mju.ac.th/web-veg/mushroom/p11.htm>
- นราพร รัตนสมบูรณ์. (2537). การหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเห็ดหอม. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บรรณ บุรณะชนบท. 2537. คู่มือเพาะเห็ด. เท็ด-แพล้น พับลิชซิง. เทพพิทักษ์. กรุงเทพฯ. 280  
หน้า
- ปัญญา โพธิ์รัฐรัตน์ และกิตติพงษ์ ศิริวานิชกุล. 2537. เทคโนโลยีการเพาะเห็ด. พิมพ์เร็วเขียว. วี.  
พี.บุ๊คเซนเตอร์. กรุงเทพฯ. 421 หน้า
- มารู้จักเห็ดกันเถอะ. 2551.[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://nutty007.multiply.com/journal>
- วาริท หมดหวาน และ พูนสุข ประเสริฐสรรพ. (2545). ผลกระทบจากการแปรสภาพวัสดุเศษ  
เหลือโรงงานแปรรูปอาหารทะเลด้วยเทคโนโลยีชีวภาพและการประยุกต์ใช้. ว. สงขลานคริ  
นทร์วท. 24(2): 341-356.
- วิโรจน์. 2551. “เครื่องอบรังไหมด้วยเตาแก๊สอินฟราเรด” รายงานวิจัย ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์.  
คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยราชชมงคลล้านนา
- ศิริวรรณ สุทธิจิตต์และ ไผตรีสุทธิจิตต์. (2548). เห็ดสมุนไพร: จากอดีต สู่ปัจจุบัน และอนาคต  
[ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.thaiagro.com/article/mushrooms/47051701.html>
- Afzal, T.M. and Abe. 1998. “Diffusion in Potato during Far Infrared Radiation  
Drying,” Journal of Food Engineering. 37 : 353-365.

- Chang, R. (1996). Functional properties of edible mushrooms. *Nutr. Rev.* 54 (11): 91-93
- Cheung, P.C.K., and Lee, M.Y. (2000). Fractionation and characterization of mushroom dietary fiber (nonstarch polysaccharides) as potential nutraceuticals from sclerotia of *Pleurotus tuber-regium* (Fries) Singer. *J. Agric. Food Chem.* 48: 3148-3151
- Cheung, P.C.K., and Lee, M.Y. (1998). Comparative chemical analysis of fiber material prepared by enzymatic and chemical methods from two mushrooms (*Pleurotussajor-caju* and *Pleurotustuber-regium*). *J. Agric. Food Chem.* 46: 4854-4857
- Chang, S.T. (1993). Mushroom biology : the impact on mushroom products. Keynote lecture. First International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, 23-26 August, Hong Kong
- Choi, H.S., and Shin, H.H. (1998). Purification and partial characterization of fibrinolytic protease in *Pleurotus ostreatus*. *Mycologia.* 90(4): 674-679.
- Fellows P. 1990. Food processing technology : principles and practice. 1<sup>st</sup> ed. New York : Ellis Horwood.
- Ipsita Das, S.K. and S.B. Das. 2004. "Specific Energy and Aspects of Infrared (IR) Dried Parboiled Rice," *Journal of Food Engineering.* 62 : 9-14.
- Mattila, P., Konko, K., Euroola, M., Pihlava, J-M., Astola, J., Vahteristo, L., Hietaniemi, V., Kumpulainen, J., Valtonen, M., and Piironen, V. (2001). Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolics compounds in cultivated mushrooms. *J. Agric. Food Chem.* 49: 2343-2348.
- Mattila, P., Vaananen, P.S., Konko, K., Aro, H., and Jalava, T. (2002). Basic composition and amino acid contents of mushrooms cultivated in Finland. *J. Agric. Food Chem.* 50: 6419-6422.
- Ozisk M. Necati. 1985. Heat Transfer : a basic approach. 1<sup>st</sup> ed. Singapore: McGraw-Hill.
- Ratti C, Mujumdar A.S. 1995. Handbook of industrial drying. VOLUME 1. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Marcel Dekker.
- Soponronnarit, S. and others. 1992. "Optimum Strategies for Drying Papaya Glace," *ASEAN Food Journal.* 7 : 17-22.
- Zhang, M., Cheung, P.C.K., Ooi, V.C.E., and Zhang, L. (2004). Evaluation of sulfated fungal  $\beta$ -glucans from the sclerotium of *Pleurotus tuber-regium* as a potential water-soluble anti-viral agent. *Carb. Res.* 339: 2297-2301.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น

การทดลอง ที่	ปริมาณแก๊สที่ใช้ (กก.)	เริ่มจุดเตา (น.)	เวลาปิดเตา (น.)	ระยะเวลาในการเผาทั้งหมด (ชม.)
1	1.00	8:30	14:30	6:00
2	1.00	9:00	15:00	6:00
3	1.00	8:30	14:30	6:00
เฉลี่ย	1.00	-	-	6:00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ระดับอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) ณ ตำแหน่งๆ การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น  
การทดลองที่ 1

เวลา (น.)	อากาศ	ห้องอบแห้งส่วนล่าง	ห้องอบแห้งส่วนกลาง	ห้องอบแห้งส่วนบน
8:30	24	23	23	24
8:40	24	34	41	47
8:50	25	37	45	53
9:00	25	39	50	60
9:10	25	43	50	60
9:20	25	46	53	65
9:30	26	47	56	68
9:40	26	47	56	69
9:50	26	49	56	67
10:00	26	49	59	73
10:10	26	48	57	71
10:20	26	49	58	71
10:30	26	50	60	74
10:40	27	52	63	79
10:50	26	52	61	72
11:00	27	53	60	76
11:10	27	54	60	72
11:20	27	55	60	76
11:30	27	56	62	81
11:40	27	57	62	80
11:50	27	58	64	82
12:00	27	62	63	79
12:10	28	64	67	85
12:20	28	64	66	84
12:30	28	63	64	82
12:40	28	61	65	81
12:50	28	61	62	80
13:00	28	60	61	78
13:10	28	64	62	79
13:20	28	68	66	86
13:30	28	66	64	81
13:40	28	66	63	78
13:50	28	67	64	83
14:00	28	67	68	84
14:10	28	68	65	86
14:20	28	68	66	86
14:30	28	68	66	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ระดับอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) ณ ตำแหน่งๆ การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น  
การทดลองที่ 2

เวลา (น.)	อากาศ	ห้องอบแห้งส่วนล่าง	ห้องอบแห้งส่วนกลาง	ห้องอบแห้งส่วนบน
9:00	24	28	25	26
9:10	25	52	47	49
9:20	25	55	50	52
9:30	25	47	47	55
9:40	26	57	53	56
9:50	26	59	56	59
10:00	26	60	56	59
10:10	26	60	55	62
10:20	26	62	57	62
10:30	26	63	59	66
10:40	27	64	58	66
10:50	27	65	60	65
11:00	27	66	61	67
11:10	27	64	59	65
11:20	27	66	62	70
11:30	27	66	62	70
11:40	28	65	62	67
11:50	27	66	62	65
12:00	28	67	64	69
12:10	28	68	63	77
12:20	28	69	66	79
12:30	29	70	66	77
12:40	29	69	65	74
12:50	28	70	66	82
13:00	29	71	68	83
13:10	29	69	66	83
13:20	29	70	66	85
13:30	29	71	67	86
13:40	29	70	65	87
13:50	29	71	67	85
14:00	29	72	68	82
14:10	29	69	64	87
14:20	29	69	66	87
14:30	29	70	66	79
14:40	29	71	69	87
14:50	29	70	66	89
15:00	29	71	69	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

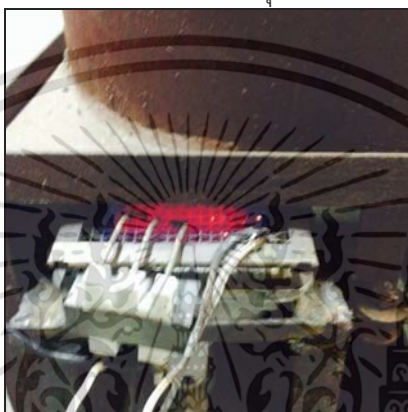
ตารางที่ ก.4 ระดับอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) ณ ตำแหน่งๆ การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น  
การทดลองที่ 3

เวลา (น.)	อากาศ	ห้องอบแห้งส่วนล่าง	ห้องอบแห้งส่วนกลาง	ห้องอบแห้งส่วนบน
8:30	26	26	25	26
8:40	26	51	47	67
8:50	26	54	50	69
9:00	26	57	56	76
9:10	27	58	54	77
9:20	27	60	56	77
9:30	27	61	58	79
9:40	27	62	60	80
9:50	27	63	61	81
10:00	27	64	64	82
10:10	27	62	60	80
10:20	28	64	62	82
10:30	28	57	53	75
10:40	28	63	62	82
10:50	29	66	67	85
11:00	28	65	63	84
11:10	29	66	65	84
11:20	29	67	69	84
11:30	29	65	64	84
11:40	29	66	64	85
11:50	29	68	67	86
12:00	29	68	66	87
12:10	29	62	62	82
12:20	29	64	68	83
12:30	30	63	65	84
12:40	30	67	70	84
12:50	30	67	66	86
13:00	30	67	68	87
13:10	30	66	65	88
13:20	30	69	74	86
13:30	30	64	72	83
13:40	30	70	73	88
13:50	30	69	72	88
14:00	30	65	69	85
14:10	30	70	70	88
14:20	30	70	70	90
14:30	30	70	70	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เตรียมและติดตั้งอุปกรณ์



จุดเตา



การดำเนินการทดลอง



หยุดการทดลอง

### ภาพที่ ก.1 ขั้นตอนการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรในการอบแห้งเห็ดหลินจือ

การทดลอง ที่	ปริมาณแก๊สที่ใช้ (กก.)	เริ่มจุดเตา (น.)	เวลาปิดเตา (น.)	ระยะเวลาในการเผาทั้งหมด (ชม.)
1	1.00	9:00	15:00	6:00
2	1.00	9:00	15:00	6:00
3	1.00	9:30	15:30	6:00
เฉลี่ย	1.00	-	-	6:00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ระดับอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) ณ ตำแหน่งๆ การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรในการ  
อบแห้งเห็ดหลินจือ การทดลองที่ 1

เวลา(น.)	อากาศ	หน้าเตา	ห้องอบแห้ง ชั้นล่าง	ห้องอบแห้งชั้น กลาง	ห้องอบแห้ง ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นบน
9:00	25	25	22	22	22	24	23
9:10	25	766	37	53	48	45	41
9:20	25	753	41	59	54	51	46
9:30	26	744	42	62	57	54	48
9:40	26	768	42	54	61	53	48
9:50	26	758	44	58	67	59	51
10:00	26	762	45	58	67	59	52
10:10	26	763	42	60	63	58	50
10:20	28	753	47	66	73	62	59
10:30	28	780	46	65	70	63	57
10:40	28	691	50	70	78	61	65
10:50	29	750	49	70	78	64	64
11:00	29	773	39	53	64	62	63
11:10	30	760	50	70	77	71	71
11:20	29	754	49	70	76	71	69
11:30	29	791	48	70	76	69	68
11:40	29	773	56	72	78	63	71
11:50	30	781	52	72	81	69	71
12:00	31	716	53	75	81	69	75
12:10	30	721	61	69	73	58	61
12:20	30	816	49	69	74	73	65
12:30	30	797	48	68	72	74	64
12:40	30	813	47	67	71	65	64
12:50	30	837	49	69	74	66	65
13:00	31	831	49	70	74	68	65
13:10	30	781	49	69	73	68	63
13:20	31	811	50	71	75	67	66
13:30	31	814	51	72	77	69	66
13:40	31	804	50	71	72	74	68
13:50	31	823	51	73	76	73	71
14:00	31	801	52	73	75	75	69
14:10	31	840	52	70	73	75	68
14:20	31	786	52	71	74	77	69
14:30	31	814	53	72	76	78	70
14:40	32	827	52	70	69	77	71
14:50	32	826	53	72	74	79	72
15:00	32	817	53	73	74	80	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ระดับอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) ณ ตำแหน่งๆ การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรในการ  
อบแห้งเห็ดหลินจือ การทดลองที่ 2

เวลา(น.)	อากาศ	หน้าเตา	ห้องอบแห้ง ชั้นล่าง	ห้องอบแห้งชั้น กลาง	ห้องอบแห้ง ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นบน
9:00	24	25	21	20	21	24	23
9:10	25	747	35	45	38	40	39
9:20	25	753	39	52	44	44	43
9:30	25	747	41	55	47	46	45
9:40	26	740	31	45	31	35	32
9:50	26	747	39	53	44	48	45
10:00	26	747	43	58	47	53	48
10:10	26	744	41	56	47	52	48
10:20	26	742	43	59	50	56	51
10:30	26	750	44	61	51	59	53
10:40	27	751	42	56	48	56	51
10:50	27	752	43	55	48	56	51
11:00	27	744	42	53	48	54	51
11:10	28	798	43	58	57	60	52
11:20	27	747	43	59	58	62	53
11:30	27	745	46	63	66	66	58
11:40	28	745	42	58	52	64	52
11:50	28	749	46	63	59	72	60
12:00	28	746	47	64	61	71	61
12:10	28	744	47	64	63	77	58
12:20	28	744	47	64	61	74	58
12:30	28	758	48	67	68	79	62
12:40	29	746	45	63	66	62	60
12:50	28	746	48	67	70	64	65
13:00	28	743	48	68	72	66	67
13:10	29	752	48	65	65	67	64
13:20	29	736	50	68	69	67	67
13:30	29	742	42	58	60	66	64
13:40	29	737	49	68	72	83	58
13:50	29	741	51	70	72	84	60
14:00	29	738	46	64	66	79	60
14:10	29	742	51	70	67	87	61
14:20	29	733	53	72	70	86	66
14:30	30	738	46	64	58	81	61
14:40	30	741	52	71	70	86	63
14:50	30	743	52	72	69	87	64
15:00	30	742	53	73	71	87	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในพิธีการพิเศษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ระดับอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) ณ ตำแหน่งๆ การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรในการ  
อบแห้งเห็ดหลินจือ การทดลองที่ 3

เวลา(น.)	อากาศ	หน้าเตา	ห้องอบแห้ง ชั้นล่าง	ห้องอบแห้งชั้น กลาง	ห้องอบแห้ง ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นบน
9:30	26	25	23	22	23	25	24
9:40	26	744	36	43	47	46	40
9:50	26	753	39	47	52	51	45
10:00	26	754	41	50	54	53	47
10:10	27	666	42	49	61	56	51
10:20	27	667	45	53	66	60	56
10:30	27	666	45	53	67	62	55
10:40	27	699	44	55	68	64	58
10:50	27	667	45	56	70	66	61
11:00	27	622	46	59	74	68	64
11:10	27	679	44	54	67	67	55
11:20	27	711	46	58	70	70	60
11:30	27	717	47	62	73	74	64
11:40	28	623	46	62	70	70	61
11:50	28	608	49	69	78	77	69
12:00	28	723	48	68	75	73	64
12:10	28	657	48	66	76	80	66
12:20	28	710	49	69	78	83	69
12:30	28	718	50	70	80	83	70
12:40	28	740	47	66	74	76	66
12:50	28	734	49	70	79	79	69
13:00	28	736	51	72	82	81	74
13:10	28	730	50	69	78	81	72
13:20	29	716	52	73	83	81	75
13:30	29	736	52	72	81	84	75
13:40	29	704	52	73	81	87	75
13:50	29	678	54	75	84	87	77
14:00	29	740	54	75	82	90	77
14:10	29	738	54	74	81	79	74
14:20	29	714	56	76	86	80	76
14:30	29	707	57	78	86	84	78
14:40	30	691	55	76	86	77	78
14:50	29	683	56	78	87	77	78
15:00	29	740	57	77	86	78	78
15:10	29	682	56	77	88	79	79
15:20	29	731	56	76	86	78	78
15:30	29	720	57	77	87	79	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เตรียมและติดตั้งอุปกรณ์



จุดเตา



การดำเนินการทดลอง



หยุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เอามาใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ภาพที่ ข.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัยพัฒนาเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดหลินจือ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.  
ค่าน้ำหนักเห็ดหลินจือทุกๆ 30 นาที  
การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ค่าน้ำหนัก (กรัม) เห็ดหลินจือทุกๆ 30 นาที การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร การทดลองที่ 1

เวลา (น.)	ชั้นล่าง									ชั้นบน								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9:00	2.96	2.72	2.98	3.04	3.34	2.84	2.54	3.44	2.24	2.48	2.80	2.50	3.72	2.30	3.54	3.50	2.02	2.60
9:30	2.82	2.44	2.90	2.50	2.58	2.40	2.44	3.36	2.08	2.38	2.58	2.40	3.28	1.70	3.22	3.32	1.84	2.36
10:00	2.52	2.06	2.72	1.86	1.86	1.94	2.32	3.24	1.94	2.10	2.40	2.22	2.82	1.12	2.90	3.12	1.74	2.28
10:30	2.16	1.76	2.44	1.34	1.26	1.42	2.16	3.08	1.80	1.96	2.18	2.02	2.30	0.74	2.52	2.84	1.60	2.04
11:00	1.78	1.12	2.10	0.94	0.86	0.96	1.94	2.86	1.60	1.70	1.86	1.76	1.54	0.62	2.16	2.50	1.38	1.78
11:30	1.22	0.84	1.74	0.72	0.84	0.80	1.74	2.66	1.40	1.42	1.44	1.52	1.04	0.60	1.72	2.12	1.14	1.46
12:00	0.88	0.70	1.40	0.70	0.84	0.74	1.46	2.38	1.14	1.14	1.04	1.18	0.92	0.60	1.24	1.68	0.84	1.12
12:30	0.74	0.66	1.06	0.70	0.84	0.74	1.16	2.06	0.92	0.8	0.68	0.96	0.92	0.60	0.98	1.36	0.66	0.86
13:00	0.72	0.66	0.88	0.70	0.84	0.74	0.96	1.78	0.74	0.66	0.64	0.78	0.92	0.60	0.90	1.06	0.54	0.70
13:30	0.72	0.66	0.80	0.70	0.84	0.74	0.76	1.50	0.64	0.64	0.62	0.74	0.92	0.66	0.90	0.88	0.54	0.70
14:00	0.70	0.66	0.76	0.70	0.84	0.74	0.68	1.18	0.58	0.64	0.62	0.70	0.92	0.66	0.96	0.86	0.54	0.70
14:30	0.70	0.66	0.76	0.70	0.84	0.74	0.68	1.02	0.58	0.64	0.62	0.68	0.92	0.66	0.96	0.86	0.54	0.70
15:00	0.70	0.66	0.76	0.70	0.84	0.74	0.68	1.02	0.58	0.64	0.62	0.68	0.92	0.66	0.96	0.86	0.54	0.70

ตารางที่ ค.2 ค่าน้ำหนักเห็ด (กรัม) หลินจือทุกๆ 30 นาที การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพรร การทดลองที่ 2

เวลา (น.)	ชั้นล่าง									ชั้นบน								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9:00	2.96	2.54	2.64	3.76	3.14	2.70	3.60	2.06	3.08	3.24	2.34	3.24	3.78	2.82	2.44	2.68	2.62	2.84
9:30	2.72	1.90	2.50	3.32	2.50	2.26	3.54	1.92	2.94	2.96	1.90	3.06	3.46	2.44	2.34	2.62	2.54	2.72
10:00	2.20	1.26	2.34	2.84	1.60	1.70	3.48	1.88	2.80	2.50	1.60	2.80	3.10	1.90	2.16	2.44	2.36	2.56
10:30	1.72	0.76	2.18	2.32	1.08	1.08	3.42	1.72	2.70	2.02	1.02	2.60	2.76	1.30	1.90	2.38	2.24	2.42
11:00	1.06	0.64	1.96	1.86	0.88	0.76	3.30	1.64	2.54	1.40	0.60	2.24	2.42	0.94	1.64	2.16	2.02	2.20
11:30	0.84	0.62	1.70	1.32	0.74	0.68	3.14	1.44	2.30	0.92	0.52	1.96	1.82	0.68	1.28	1.96	1.76	1.92
12:00	0.78	0.62	1.50	0.98	0.70	0.68	2.90	1.30	2.06	0.76	0.52	1.72	1.48	0.68	0.86	1.74	1.50	1.64
12:30	0.74	0.62	1.24	0.86	0.70	0.68	2.70	1.10	1.82	0.76	0.52	1.46	1.14	0.68	0.74	1.50	1.22	1.40
13:00	0.74	0.62	1.00	0.86	0.70	0.68	2.36	0.82	1.54	0.76	0.52	1.10	0.92	0.68	0.66	1.14	0.92	1.14
13:30	0.74	0.62	0.82	0.86	0.70	0.68	2.02	0.66	1.28	0.76	0.52	0.90	0.92	0.68	0.66	0.98	0.74	0.96
14:00	0.74	0.62	0.68	0.86	0.70	0.68	1.90	0.58	0.98	0.76	0.52	0.84	0.92	0.68	0.66	0.70	0.64	0.74
14:30	0.74	0.62	0.68	0.86	0.70	0.68	1.62	0.58	0.80	0.76	0.52	0.84	0.92	0.68	0.66	0.70	0.64	0.74
15:00	0.74	0.62	0.68	0.86	0.70	0.68	1.62	0.58	0.80	0.76	0.52	0.84	0.92	0.68	0.66	0.70	0.64	0.74

ตารางที่ ค.3 ค่าน้ำหนัก (กรัม) เห็ดหลินจือทุกๆ 30 นาที การทดสอบเตาอินฟราเรดอบแห้งเห็ดสมุนไพร การทดลองที่ 3

เวลา (น.)	ชั้นล่าง									ชั้นบน								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9:30	2.72	2.40	2.54	2.58	2.42	3.28	2.56	2.04	2.92	3.02	3.56	3.00	2.50	3.34	3.00	2.78	2.68	2.52
10:00	2.32	1.38	2.26	1.96	2.02	2.76	2.40	1.94	2.72	2.72	3.16	2.78	2.04	2.70	2.64	2.68	2.54	2.38
10:30	1.94	0.94	2.14	1.56	1.80	2.36	2.24	1.80	2.62	2.46	2.88	2.58	1.54	1.72	2.12	2.50	2.36	2.24
11:00	1.44	0.78	1.92	1.04	1.22	1.82	2.18	1.44	2.42	2.24	2.56	2.30	1.28	1.04	1.58	2.30	2.14	2.10
11:30	1.00	0.68	1.68	0.76	0.66	1.34	2.00	1.24	2.20	1.90	2.08	2.04	0.98	0.84	1.06	2.08	1.90	1.82
12:00	0.80	0.66	1.42	0.70	0.66	0.88	1.86	1.04	1.98	1.54	1.70	1.78	0.74	0.84	0.78	1.84	1.66	1.54
12:30	0.66	0.66	1.14	0.64	0.66	0.80	1.60	0.76	1.62	1.26	1.28	1.52	0.70	0.84	0.74	1.62	1.38	1.28
13:00	0.66	0.66	0.92	0.64	0.66	0.80	1.40	0.62	1.32	1.06	0.98	1.20	0.68	0.84	0.74	1.38	1.06	1.02
13:30	0.66	0.66	0.76	0.64	0.66	0.80	1.14	0.62	1.04	0.86	0.86	0.96	0.68	0.84	0.74	1.12	0.84	0.82
14:00	0.66	0.66	0.70	0.64	0.66	0.80	0.96	0.62	0.88	0.76	0.76	0.76	0.64	0.84	0.74	0.86	0.72	0.68
14:30	0.66	0.66	0.70	0.64	0.66	0.80	0.70	0.62	0.78	0.76	0.76	0.76	0.64	0.84	0.74	0.76	0.72	0.64
15:00	0.66	0.66	0.70	0.64	0.66	0.80	0.70	0.62	0.72	0.76	0.76	0.76	0.64	0.84	0.74	0.76	0.72	0.64
15:30	0.66	0.66	0.70	0.64	0.66	0.80	0.70	0.62	0.72	0.76	0.76	0.76	0.64	0.84	0.74	0.76	0.72	0.64