รายงานวิจัย

เรื่อง

การวิจัยพัฒนาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด

Development of Infrared Gas Heater for bag culture Sterilizer

ผู้วิจัย

ลือพงษ์ ลือนาม
สมศักดิ์ คูหาสวรรค์เวช

สังกัด

ภาควิชาพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 มีนาคม 2562

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณ
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การวิจัยพัฒนาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด
ชื่อผู้วิจัย นาย ลือพงษ์ ลือนาม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.
นาย สมศักดิ์ คูหาสวรรค์เวช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.
ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยประเภท การวิจัยและพัฒนา ประจำปี 2557 จำนวนเงิน 480,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2556 ถึง กันยายน 2557

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบ และ พัฒนาเตานึ่งก้อนเห็ดโดยใช้รังสีอินฟราเรดสำหรับผลิตไอน้ำเพื่อนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ซึ่งมักจะประสบปัญหาความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตไอน้ำ โดยเตานึ่งก้อนเห็ดที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย ส่วนที่ 1 เตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดโดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้วัตถุร้อน ให้เป็นแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด ส่วนที่ 2 ส่วนห้องเผาไหม้ เป็นส่วนที่นำความร้อนที่เกิดขึ้น ไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังเตารอบนอก จนทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอ และ ส่วนที่ 3 ห้องกำเนิดไอน้ำ เป็นภาชนะที่บรรจุน้ำอยู่ด้านบนเตาอินฟราเรดในการทดสอบการทำงาน พบว่า สามารถต้มน้ำ 50 กิโลกรัม ให้เดือดกลายเป็นไอได้ภายใน 1.13 ชั่วโมง ผลิตไอน้ำได้นานเป็นเวลากว่า 5.43 ชั่วโมง ทำให้อุณหภูมิน้ำสูงถึง 100.33 องศาเซลเซียส และสามารถผลิตไอน้ำได้ปริมาณ 25.17 กิโลกรัม หรือ มีอัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ย 4.63 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงเพียง 3.67 กิโลกรัม และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 0.52 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 39.46 เปอร์เซ็นต์

เมื่อทำการทดสอบนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้วยเตาด้วยเตาที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 500 และ 288 ก้อน ด้วยเงื่อนไขการใช้พลังงานเท่ากัน พบว่า เตาสามารถทำอุณหภูมิน้ำในเตาและไอน้ำได้ใกล้เคียงกันประมาณ 100 องศาเซียส แต่แตกต่างกันที่ระยะเวลาที่เตาอินฟราเรดต้มน้ำเดือดเป็นไอ โดยในกรณีนึ่งก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 500 ก้อน ใช้เวลา 2:30 ชั่วโมง และน้ำเดือนเป็นไอนาน 7 ชั่วโมงระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าสูงสุด 79 องศาเซลเซียส ส่วนกรณีก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 288 ก้อน สามารถต้มน้ำเดือดเป็นไอได้ในเวลา 1:23 ชั่วโมง และน้ำเดือดเป็นไอนาน 9.27 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งสูงสุด90 องศาเซลเซียส ดังนั้น ในการใช้เตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งก้อนเชื้อเห็ดที่เหมาะสม จึงควรนึ่งก้อนเชื้อเห็ดประมาณ 280 ก้อนจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

The objective of this research is to design and develop a mushroom loaf steaming furnace using infrared radiation for steam production to sterilize mushrooms, which was often found the problem of biomass fuel consumption in the production of steam. The 2nd part, combustion chamber is used for exchange heat from infrared heat source to boil water becomes vapor and the 3rd, the steaming chamber for sterilize mushroom loafs. In the steaming producing test run, it was found that 50 kilograms of water can be boiled into steam within 1.13 hours. The steam can be produced for more than 5.43 hours, causing the water temperature to reach 100.33 degrees Celsius and able to produce 25.17 kilograms of steam. Average steam production rate 4.63 kg / hour using only 3.67 kilograms of fuel gas and 0.52 kilograms of fuel per hour with 39.46 percent thermal efficiency

For the test of sterilizing mushroom loafs with using the developed steaming furnace by contain 500 and 288 mushroomsloaf in the chamber with the same energy conditions. The results showed that, furnace can make water temperature in the chamber up to approximately 100 degrees Celsius of steam on both conditions, different at the time of boiling water. In case of steaming the mushroom loaf, 500 cubes take 2:30 hours and boiling water for 7 hours. The maximum temperature inside the steaming cabinet is 79 degrees Celsius. Boiling water into steam at 1:23 hours and boiling water for 9.27 hours at the temperature inside the steamer cabinet, up to 90 degrees Celsius. In this case, a suitable for steaming mushroom loafs to get a high efficiency was about 280 cubes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้ โดยการได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ในส่วนของคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะนักวิจัยใคร่ขอขอบคุณคณาจารย์ ข้าราชการ นักศึกษา เจ้าหน้าที่ ตลอดจนเกษตรกรผู้เพาะเห็ดทุกท่าน เจ้าของฟาร์มเห็ดทุกท่าน และเกษตรกรทุกท่าน ที่ให้ความรู้ ตอบคำถาม ให้คำปรึกษา อนุเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนความร่วมมือต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

นอกจากนี้คณะผู้ดำเนินการวิจัยใคร่ขอขอบคุณ บุคคล องค์กร หน่วยราชการ สถานประกอบการต่างๆ 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 การฆ่าเชื้อในการเพาะเห็ด	5
2.4 หม้อต้มไอน้ำหรือเครื่องกำเนิดไอน้ำ	6
2.5 เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไอน้ำอบฆ่าเชื้อก้อนเห็ด	7
2.6 หลักการพื้นฐานของรังสีอินฟราเรด	7
2.7 ประเภทของอุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรด	11
2.8 เตาแก๊สอินฟราเรด	11
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	14
3.1 การออกแบบและทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ	14
3.2 การทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด	16
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	18
4.1 ผลการศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ	18
4.2 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด	23
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	36
5.1 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ	36
5.2 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด	36
5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัย	37
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก	40
ภาคผนวก ก.	41
ภาคผนวก ข.	48
ภาคผนวก ค.	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เห็ดเป็นแหล่งอาหารโปรตีนจากธรรมชาติ ที่มีวิวัฒนาการมาจากการประสานเส้นใยจำนวนมากของเชื้อราชั้นสูง และถึงแม้เห็ดจะขาดกรดอะมิโนบางตัว แต่มีรสชาติและเนื้อสัมผัสดี ที่สำคัญเห็ดยังให้คุณค่าทางโภชนาการและมีสรรพคุณทางยา ซึ่งมีคุณสมบัติที่ช่วยเสริมภูมิคุ้มกันในร่างกาย และช่วยลดอัตราความเสี่ยงจากโรคร้ายต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง เบาหวาน อัลไซเมอร์ หลอดเลือดหัวใจอุดตัน และความดันโลหิตสูง เป็นต้น (มารู้จักเห็ดกันเถอะ, 2551)

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

การผลิตเห็ดมีรูปแบบการผลิตใน 2 ลักษณะ ได้แก่ การเพาะเป็นกองเชื้อเห็ดภายในโรงเพาะหรือแปลงเพาะกลางแจ้งส่วนมากเป็นการเพาะเห็ดฟาง และการผลิตเพาะเชื้อในถุงพลาสติกหรือในก้อนเชื้อเห็ด ซึ่งสามารถเพาะเห็ดได้หลายชนิด เช่น เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดขอนขาว เห็ดลม เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดหูหนู เห็ดหอม เป็นต้น การผลิตเห็ดสามารถผลิตได้ต่อเนื่องตลอดทั้งปี โดยมีการจัดการควบคุมการผลิตได้ทั้งด้านอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ตลอดจนป้องกันโรคและแมลง สามารถเก็บเกี่ยวได้ตามระยะเวลาที่กำหนด สามารถเพิ่มและลดปริมาณการผลิตได้ ซึ่งเกษตรกรผู้เพาะเห็ดทุกรายจะต้องมีเตาต้มน้ำผลิตไอน้ำสำหรับอบฆ่าเชื้อในโรงเรือนเห็ดและนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเชื้อเห็ดก่อนการเพาะเห็ด (ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์, 2550)

การนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด มีจุดประสงค์กำจัดเชื้อเจือปนที่ไม่ต้องการ ทั้งเชื้อราและแบคทีเรีย โดยเฉพาะขั้นตอนการเลี้ยงเส้นใยและการทำหัวเชื้อเห็ด การฆ่าเชื้อจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งในงานเพาะเลี้ยงเห็ด ทั่วทุกภาคของประเทศไทย มีกำลังการผลิตเห็ดในถุงพลาสติกเป็นแสนๆ ถุงต่อวัน คิดเป็นน้ำหนักเห็ดสดได้ประมาณ 3 หมื่นกิโลกรัมต่อวัน (การทำเชื้อและเพาะเห็ดในถุงพลาสติก, 2551)

การผลิตไอน้ำนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมนำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งลูกทุ่ง ซึ่งเป็นถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร นึ่งได้ถังละประมาณ 100 ถุง โดยใช้ฝากรวยครอบปิดอีกทีหนึ่ง ฝาจะเจาะรูตรงกลางขนาดเท่ากับตะปู 6 นิ้ว ที่ฝามีเข็มขัดเหล็กรัดฝาไว้ ด้านในทาสีกันสนิมที่ก้นถังมีชั้นวางของซึ่งเป็นเหล็กที่ทำขึ้นได้เอง เพื่อเป็นที่วางอาหาร หรือวัสดุเพาะเห็ดอื่นๆ ใส่น้ำลงไประดับน้ำประมาณ 15 เซนติเมตร แล้วต้มน้ำจนเดือดไอน้ำจะแผ่ความร้อนมายังอาหารและดันออกทางฝาถังตามรูตะปู ความดันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อุณหภูมิที่ใช้ คืออุณหภูมิน้ำเดือดธรรมดา 98-100 องศาเซลเซียส จับเวลาที่อุณหภูมิน้ำเดือดติดต่อกันประมาณ 2-4 ชั่วโมง การจะใช้เวลานานเท่าไหร่ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของหม้อนึ่งโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติหากเป็นหม้อนึ่งขนาดเล็กที่นึ่งได้ไม่เกิน 100 ก้อน ใช้เวลานึ่งประมาณ 2-3 ชั่วโมง ขนาดไม่เกิน 1,000 ก้อน ใช้เวลานึ่ง 3-4 ชั่วโมง หากใหญ่กว่านั้นให้ใช้เวลา 4-6 ชั่วโมง ปัจจุบันนี้เกษตรกรได้พัฒนาการใช้หม้อนึ่งลูกทุ่งให้ดีกว่าเก่าคือ สามารถนึ่งได้ครั้งละประมาณ 500 ถุง โดยใช้ถังเก็บน้ำขนาดความจุ 1,000 ลิตร มาดัดแปลงโดยใช้ถัง 200 ลิตร เป็นแหล่งกำเนิดไอน้ำแล้วต่อท่อไอน้ำเข้าไปในถัง 1,000 ลิตรอีกที หลังจากนึ่งฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้วทิ้งไว้ให้เย็นก็นำมาเขี่ยเชื้อจากหัวเชื้อในเมล็ดข้าวฟ่างเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่ปะปนมาจึงจะตาย หลังจากนึ่งฆ่าเชื้อเรียบร้อยแล้วทิ้งไว้ให้เย็นก็นำมาเขี่ยเชื้อจากหัวเชื้อในเมล็ดข้าวฟ่าง (ชยพร, 2551: ปัญญา, 2537: ข้อมูลเห็ดขอนขาว เห็ดบด, 2551)

การผลิตไอน้ำจึงมีความจำเป็นต่อกระบวนการผลิตเห็ด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในขั้นตอนการฆ่าเชื้อ ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเพาะเห็ดให้เจริญเติบโต ส่งผลถึงความสำเร็จในการผลิตและปริมาณผลผลิตเห็ดที่จะได้ ปัจจุบันการผลิตไอน้ำสำหรับการเพาะเห็ด นิยมใช้เตาก่ออิฐใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงหลัก ต้มน้ำที่บรรจุในถังน้ำมัน 200 ลิตร หรือที่เรียกว่า เตาลูกทุ่ง เนื่องจากมีราคาไม่แพง วิธีการใช้ไม่ยุ่งยาก แต่เตาผลิตไอน้ำแบบเตาลูกทุ่งส่วนใหญ่ตั้งอยู่กลางแจ้ง ไม่มีชนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ ขณะเผาเชื้อเพลิงหรือไม้ฟืนเพื่อทำการต้มน้ำ จึงทำให้การต้มน้ำให้เดือดต้องใช้เวลานาน และสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำนวนมากในการผลิตไอน้ำแต่ละครั้ง รวมถึงไม่สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิของไอน้ำให้คงที่ได้ เนื่องจากขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงหรือไม้ฟืนที่เผาภายในเตา จนเกษตรกรผู้ผลิตเห็ดปรับเปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงหลายชนิดตามสภาพที่จะหาได้ ได้แก่ ไม้ฟืน น้ำมันเตา ซังข้าวโพด น้ำมันดีเซล แก๊สหุงต้ม น้ำมันเครื่องเก่า และยางรถยนต์ เป็นต้น (เสกสรร, 2541) แต่เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีข้อจำกัด ได้แก่ ไม้ฟืนมีราคาแพงและหายาก น้ำมันและแก๊สหุงต้มมีราคาแพง ส่วนการใช้ยางรถยนต์เก่าจะก่อให้เกิดมลภาวะ ส่งกลิ่นเหม็น และมีสาระก่อมะเร็ง จนบางท้องถิ่นไม่อนุญาตให้ใช้ยางรถยนต์เป็นเชื้อเพลิง (ธนิตย์, 2545) ทำให้เกษตรกรผู้ผลิตเห็ดจึงมีความต้องการเตาผลิตไอน้ำ ที่สามารถผลิตไอน้ำได้อย่างต่อเนื่องและประหยัดเชื้อเพลิง โดยก่อให้เกิดมลภาวะต่อชมชุนน้อยที่สุด

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 โดยใช้แก๊สปิโตเลียมเหลว หรือ LPG เป็นเชื้อเพลิง ให้ความร้อนสูงถึง 800 องศาเซลเซียส และมีอัตราการสิ้นเปลืองแก๊สน้อยกว่าเตาแก๊สทั่วไปถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประโยชน์เตาแก๊สอินฟราเรดมีข้อดี ได้แก่ มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ มีไม่ควันหรือเขม่า ให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมขณะใช้เตาอินฟราเรด เป็นต้น โดยมีการใช้ในโรงงานต่างๆ เช่น โรงงานผลิตกระเบื้อง โรงงานแป้งมัน เป็นต้น

ดังนั้น การพัฒนาปรับปรุงเตาแก๊สอินฟราเรดเพื่อการผลิตไอน้ำนึ่งก้อนเชื้อเห็ด จึงเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงแก๊สให้เพิ่มสูงมากขึ้น โดยที่สามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงแก๊สได้สูง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการประยุกต์และแก้ไขปัญหาด้านพลังงาน และไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ในกระบวนการผลิตก้อนเชื้อเห็ด หรือการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด อันเป็นการปรับปรุงการใช้พลังงานเพื่อการเกษตรได้อย่างประสิทธิภาพมากขึ้นและเกิดความคุ้มค่ามากขึ้น อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ผลิตเห็ดโดยตรงหลายด้าน ทั้งการผลิตไอน้ำในการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ประหยัดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงในการนึ่งฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก้อนเห็ด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเกษตรกรผู้ผลิตเห็ด ได้ก้อนเชื้อเห็ดที่มีคุณภาพไม่เกิดเชื้อโรค อันเป็นส่วนช่วยส่งเสริมสนับสนุนกระบวนการผลิตเห็ดของเกษตรการ เกิดการเรียนรู้การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าของเกษตรกรที่ผลิตดและขยายต่อภายในชุมชน เพิ่มแหล่งเรียนรู้หรือศูนย์เรียนรู้ด้านพลังงานในท้องถิ่น ส่งผลถึงความยั่งยืนของชุมชน เกิดความเข้มแข็งภายในชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาล ในการประหยัดพลังงานและการหาแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น การสร้างความเข้มแข็งภายในชุมชน

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

โครงการนี้มีจุดประสงค์ เพื่อวิจัยและพัฒนาการผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้วยเตาแก๊สอินฟราเรด ในแหล่งผลิตเห็ดเขตจังหวัดภาคกลาง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เฉพาะ คือ

1) เพื่อออกแบบ สร้าง พัฒนาเตาแก๊สอินฟราเรดผลิตไอน้ำนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด

2) เพื่อทดสอบเตาแก๊สอินฟราเรดผลิตไอน้ำนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด

1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยโครงการนี้ ได้กำหนดพื้นที่เป้าหมายศึกษาวิจัย ณ แหล่งผลิตเห็ดเขตพื้นที่ภาคกลาง ซึ่งเป็นแหล่งผลิตเห็ดที่สำคัญโดยมีวิสาหกิจชุมชนเกี่ยวกับเห็ดจำนวนมาก จึงเห็นว่าพื้นที่เป้าหมายดังกล่าวมีความเหมาะสมเร่งด่วนในการแก้ไขปัญหา และก่อให้เกิดประโยชน์โดยตรงกับเกษตรกรผู้เพาะเห็ด

การศึกษานี้จะมุ่งเน้นพัฒนาออกแบบเตาแก๊สอินฟราเรดผลิตไอน้ำนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ที่สามารถผลิตความร้อนได้เพียงพอ จนทำให้น้ำในภาชนะหรือหม้อต้มเดือดกลายเป็นไอ และได้ไอน้ำในประมาณที่มากพอสำหรับการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดของเกษตรกรในพื้นที่เป้าหมาย โดยมีค่าชี้ผลของการศึกษาวิจัย ได้แก่ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน อัตราการผลิตไอน้ำ อัตราการใช้เชื้อเพลิง อุณหภูมิภายในก้อนเชื้อเห็ด ระยะเวลาในการผลิตไอน้ำ เป็นต้น

1.3 คำสำคัญ (Keywords) ของโครงการวิจัย

ก้อนเชื้อเห็ด (Bag culture) หมายถึง วัสดุที่เป็นอาหารของเชื้อเห็ดที่บรรจุภายในถุงพลาสติกเตรียมไว้สำหรับการต่อเชื้อเห็ด และบ่มเชื้อเห็ดให้เจริญเติบโต แล้วทำการเปิดดอกเก็บผลผลิตต่อไป

ไอน้ำ (Steam) หมายถึง การให้ความร้อนหรือการต้มน้ำในภาชะจนน้ำเดือดกลายเป็นไอ เพื่อนำมาใช้อบฆ่าเชื้อก้อนเห็ดในภาชนะบรรจุหรืออุปกรณ์บรรจุในสภาวะปิด

อินฟราเรด (Infrared) หมายถึง การให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัตถุร้อน โดยใช้ก๊าซปิโตเลียมเหลว หรือ LPG เป็นเชื้อเพลิง ผ่านแผ่นรูพรุน (Perforate plate) ที่ทำจากเซรามิก (Ceramic emitter) ซึ่งด้านบนจะเป็นโพรงสำหรับผสมอากาศกับก๊าซ LPG เมื่อเกิดการเผาไหม้พลังงานความร้อนจะแพร่ผ่านรูพรุน จนทำให้แผ่รังสีความร้อนออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

การผลิตก้อนเชื้อเห็ด ขั้นตอนการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จำเป็นต้องกำจัดเชื้อเจือปนที่ไม่ต้องการ ทั้งเชื้อราและแบคทีเรีย โดยเฉพาะขั้นตอนการเลี้ยงเส้นใยและการทำหัวเชื้อเห็ด การฆ่าเชื้อจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งในงานเพาะเลี้ยงเห็ด จึงต้องทราบกระบวนการผลิตก้อนเชื้อเห็ดและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 สถานการณ์การผลิตเห็ดของประเทศไทย

ปัจจุบันการบริโภคเห็ดได้รับความสนใจ เพื่อดูแลสุขภาพกันมากขึ้น เนื่องจากเห็ดมีรสชาติดี มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะโปรตีน เกลือแร่ วิตามิน และให้พลังงานต่ำ มีไขมันน้อย จึงเหมาะสำหรับผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับ ไขมันในเส้นเลือดสูง และโรคหัวใจ นอกจากนี้ยังปลอดภัยจากสารพิษ สำหรับประเทศไทยคาดว่ามีผลผลิตเห็ดประมาณ 1.2 แสนตัน มีมูลค่ากว่า 5 พันล้านบาท ก่อให้เกิดธุรกิจหมุนเวียนต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 1.2 หมื่นล้านบาท แยกตามชนิดของเห็ด ได้แก่ เห็ดฟางร้อยละ 68.9 เห็ดนางรมร้อยละ 12.3 เห็ดหูหนูร้อยละ 11.5 เห็ดหอมร้อยละ 2.5 เห็ดแชมปิญองร้อยละ 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

สำหรับการผลิตเห็ดในประเทศที่แบ่งตามลักษณะการผลิต สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ (ชาญยุทธ์ และคณะ, 2550)

1) การเพาะเห็ดในถุงพลาสติก เป็นการเตรียมถุงเพาะเห็ดด้วยการนำขี้เลื่อยหรือวัสดุการเกษตรอื่น ๆ มาเป็นวัสดุเพาะ

2) การเพาะเห็ดกลางแจ้ง ส่วนใหญ่เป็นการเพาะเห็ดฟางที่มีปริมาณมากที่สุดของเห็นในประเทศไทย โดยใช้วัสดุเพาะจำพวกฟางข้าว เปลือกถั่วเขียว เปลือกมันสำปะหลัง ทะลายปาล์ม หรือวัสดุการเกษตรอื่น ๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่น มีลักษณะการเพาะเป็นแบบกองเตี้ย ใช้ระยะเวลาในการเพาะจนสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณ 10-15 วัน

3) การเพาะในโรงเรือนแบบอุตสาหกรรม เป็นการเพาะเห็ดที่ต้องใช้เทคโนโลยีระดับสูงในการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ซึ่งสามารถเพาะเห็ดได้ตลอดทั้งปี ส่วนมากนิยมเพาะเห็ดฟาง เห็ดแชมปิญอง เห็ดเข็มทอง เห็ดถั่วหรือเห็ดโคนน้อย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การผลิตก้อนเชื้อเห็ด

1) ก้อนเชื้อเห็ดหรือถุงเชื้อเห็ด หมายถึง เชื้อเห็ดที่เลี้ยงในถุงพลาสติกทนร้อน ซึ่งใช้วัตถุดิบเป็นขี้เลื่อย ฟางหมักหรือปุ๋ยหมัก เพื่อเป็นอาหารเชื้อเห็ดให้เจริญเติบโตในระยะบ่ม และระยะการเกิดดอกออกในโรงเรือนเพาะเห็ด

2) การทำก้อนเชื้อเห็ด มีวัสดุหลักในการทำ ได้แก่ ถุงพลาสติกทนร้อน ขี้เลื่อยไม้ยางพารา อาหารเสริม (รำละเอียด ข้าวโพดป่น น้ำตาลทราย) ดีเกลือ ปูนขาว คอขวดพลาสติก เป็นต้น โดยนำขี้เลื่อยไม้ยางพารามาคัดแยกสิ่งเจือปนออก กองขี้เลื่อยบนพื้นปูนซิเมนต์ ผสมตามสูตรต่าง ๆ ที่เหมาะสม คลุกเคล้า ขี้เลื่อยไม้ยางพาราและอาหารเสริมเขาด้วยกัน กระจายกองส่วนผสมเติมน้ำลงบนกองขี้เลื่อยผสมให้ได้ระดับความชื้นที่เหมาะสม นำส่วนผสมบรรจุลงในถุงพลาสติกทนร้อน ประมาณถุงละ 0.8-1.0 กิโลกรัม แล้วอัดก้อนเชื้อให้แน่นพอสมควร เมื่ออัดก้อนขี้เลื่อยจนแน่นแล้ว จึงทำการสวมคอขวดพลาสติกใช้ยางรัดจุกอุดด้วยสำลี นำถุงวัสดุเพาะไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งแบบลูกทุ่งนานประมาณ 3-4 ชั่วโมง แล้วพักถุงวัสดุเพาะให้เย็น ในไปเขี่ยเชื้อที่เจริญเติบโตบนเมล็ดธัญพืชภายในห้องที่มีลมสงบ โดยเขี่ยเชื้อลงในถุงวัสดุเพาะ 20-30 เมล็ด ปิดจุดสำลีนำก้อนวัสดุเพาะไปบ่มในที่มืด 3-4 สัปดาห์ ให้เส้นใยจะเจริญเต็มวัสดุเพาะ ในขณะบ่มก้อนเชื้อควรฉีดยาฆ่าแมลงคลุมถุงก่อนเชื้อไว้ เพื่อป้องกันมดหรือแมลงมากัด

2.3 การฆ่าเชื้อในการเพาะเห็ด

1) การฆ่าเชื้อ หมายถึง ขั้นตอนทำให้วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเพาะเห็ดปราศจากเชื้ออื่น ๆ หรือกำจัดเชื้อเจือปนที่ไม่ต้องการ ทั้งเชื้อราและแบคทีเรีย โดยเฉพาะขั้นตอนการเลี้ยงเส้นใยและการทำหัวเชื้อเห็ด การฆ่าเชื้อจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งในงานเพาะเลี้ยงเห็ด โดยเฉพาะขั้นตอนการเลี้ยงเส้นใย และการทำหัวเชื้อเห็ด (ฐานข้อมูลผลิตเห็ด. 2550) จึงต้องใช้ความร้อนจากน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการเพาะเห็ด (ปัญญา, 2537)

1 การฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรส์ เป็นการนึ่งฆ่าเชื้อจุลินทรีย์พวกเชื้อโรค เชื้อรา แมลงและสัตว์ที่มีขนาดเล็กเท่านั้น เพื่อไม่ให้สิ่งมีชีวิตเจริญเติบโตแข่งขันกับเชื้อเห็ด การนึ่งแบบนี้นิยมใช้สำหรับการนึ่งก้อนเชื้อในตู้ หรือการนึ่งในหม้อนึ่งแบบลูกทุ่ง จะใช้เวลานึ่งนานประมาณ 2-3 ชั่วโมง

2 การฆ่าเชื้อแบบสเตอริไรส์ เป็นการนึ่งฆ่าเชื้อให้ตายหมดโดยสิ้นเชิง นิยมใช้นึ่งฆ่าเชื้อที่ติดมากับอาหารวุ้น และเม็ดธัญพืช โดยการใช้หม้อนึ่งความดัน เพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่จะเจริญแข่งขันกับเชื้อเห็ด ซึ่งตามปกติจะใช้ความดันที่ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ใช้เวลานานประมาณ 20-30 นาที

3 การฆ่าเชื้อแบบทินดอลไลซ์เซชั่น เป็นการนึ่งด้วยไอน้ำเดือดนาน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ 1 วัน ในวันที่ 2 เวลาเดิมทำการนึ่งด้วยไอน้ำเดือดอีก 1 ชั่วโมง และในวันที่ 3 ทำการนึ่งด้วยไอน้ำเดือดอีก 1 ชั่วโมง คือการฆ่าเชื้อเป็นการนึ่ง 3 วัน วันละ 1 ครั้ง เพื่อเป็นการนึ่งฆ่าเชื้อราและเชื้อจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่ไม่ได้อยู่ในรูปของสปอร์ จะเหมะสมในเขตประเทศที่มีอากาศหนาว สำหรับประเทศไทยให้นึ่ง 3 ครั้งแต่ละครั้งห่างกัน 18-20 ชั่วโมง การนึ่งวิธีนี้จะสิ้นเปลืองแรงงาน เชื้อเพลิง และเสียเวลาอย่างมากจึงไม่เป็นที่นิยมของเกษตรกร

2) หม้อนึ่ง สำหรับการนึ่งฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ในการเพาะเห็ดทุกชนิดต้องมีการกำจัดศัตรูเห็ด ซึ่งอาจจะเป็นการฆ่าเชื้อเฉพาะส่วนที่เป็นศัตรูของเห็ด หรือฆ่าเชื้อให้หมดโดยสิ้นเชิง จะต้องอาศัยหม้อนึ่งความดันเป็นตัวฆ่าเชื้อ ยกเว้นการเพาะแบบเชื้อก้อนเชื้อมาเพาะเปิดดอกหรือผลิตก่อนเชื้อแล้วซื้อเชื้อเห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาต่อเอก ก็ไม่จำเป็นต้องมีหม้ออบความดันใช้ภายในฟาร์ม โดยหม้อนึ่งแยกได้เป็นหลายแบบ ดังนี้ (บรรณ, 2537)

1 หม้อนึ่งความดันแบบออโตเคลฟ ใช้สำหรับการนึ่งฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารวุ้น และเมล็ดธัญพืช หม้อนึ่งความดันจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาค่อนข้างแพง เนื่องจากจะทำด้วยโลหะที่มีความทนทานต่อแรงกดดันได้ดีเป็นพิเศษ เพราะในการนึ่งฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จำเป็นใช้ความดันค่อนข้างสูง มีขนาดเล็กเป็นทรงกลม ปกติไม่ค่อยมีใช้ตามฟาร์มเห็ดต่าง ๆ เนื่องจากนึ่งก้อนเห็ดได้จำนวนน้อย

2 หม้อนึ่งความดันแบบดัดแปลง ปรับปรุงจากหม้อนึ่งแบบออโตเคลฟ โดยทำจากเหล็กแผ่นหนา ม้วนเป็นวงกลม แล้วเชื่อมเข้าด้วยกัน ทำให้มีขนาดใหญ่ มีอุปกรณ์ควบคุมเช่นเดียวกับแบบออโตเคลฟ สามารถนึ่งก้อนเชื้อเห็ดได้ทุกชนิด และได้ครั้งละมาก ๆ จำนวนหลายร้อยก้อนต่อการนึ่งแต่ละครั้งเหมาะสำหรับฟาร์มเห็ดขนาดเล็ก

3 หม้อนึ่งความดันขนาดใหญ่หรือหม้อนึ่งสตีม ปรับปรุงจากหม้อนึ่งความดันแบบดัดแปลงให้มีขนาดใหญ่ขึ้น มีทั้งแบบกลมและแบบสี่เหลี่ยม สามารถนึ่งก้อนเชื้อเห็ดได้ครั้งละ 500-1000 ก้อน เหมาะสำหรับฟาร์มเห็ดขนาดใหญ่มาก

4 หม้อนึ่งแบบลูกทุ่ง ดัดแปลงมากจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร ที่ฝาของถังเจาะรูขนาด 1 นิ้ว ตรงกลางฝาถัง 1 รู ทำชั้นว่างสูงประมาณ 12-15 เซนติเมตร และตะแกรงก้อนเชื้อเห็ดไว้ภายในถังเพื่อป้องกันไม่ให้ถุงก้อนเชื้อติดด้านข้างหม้อนึ่ง จากนั้นเติมน้ำลงภายในหม้อนึ่งให้ต่ำกว่าชั้นว่างเล็กน้อย นำตะแกรงก้อนเชื้อบรรจุภายในหม้อนึ่ง เรียงก้อนเชื้อเห็ดว่างในตะแกรง ทำการนึ่งโดยการจับเวลาตั้งแต่น้ำเดือดหรือไอน้ำพุ่งออกจากรูที่เจาะนานประมาณ 2-3 ชั่วโมง แต่ถ้าเป็นหม้อนึ่งที่บรรจุก้อนเชื้อเห็นตั้งแต่ 1,000 ถุง ขึ้นไป ควรใช้เวลานึ่งนานประมาณ 4-5 ชั่วโมง ซึ่งเหมาะสมสำหรับฟาร์มเห็ดขนาดเล็กและขนาดกลาง

2.4 หม้อต้มไอน้ำหรือเครื่องกำเนิดไอน้ำ

พิกัดหม้อไอน้ำ หมายถึง อัตราการผลิตไอน้ำที่หม้อไอน้ำสามารถผลิตได้ต่อหน่วยเวลาเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง ปอนด์ต่อชั่วโมง หรือตันต่อชั่วโมง แต่บางครั้งการกำหนดพิกัดหม้อไอน้ำ จะขึ้นกับชนิดของไอน้ำที่ผลิตออกมา ถ้าเป็นไอน้ำอิ่มตัวจะกำหนดเป็นอัตราการผลิตไอน้ำต่อหน่วยเวลา เช่น 1 ตันต่อชั่วโมง หมายถึง ปริมาณความร้อนที่สามารถทำให้น้ำขนาด 1 ตันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กลายเป็นไอน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส หมดภายในเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งหม้อผลิตไอน้ำทั่วไป จะมีส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้ (สมคิด, 2550)

1) เตา เป็นส่วนเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมการเผาไหม้เชื้อเพลิง และห้องเผาไหม้สำหรับเชื้อเพลิงของแข็งส่วนล่างของเตาจะเป็นตะแกรงไฟ ส่วนเชื้อเพลิงเหลว แก๊สและถ่านหินผงจะใช้หัวเผา ส่วนมากเตาและหม้อไอน้ำจะเป็นชุดเดียวกัน

2) หม้อไอน้ำ เป็นส่วนได้ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้และส่งถ่ายความร้อน ให้กับน้ำซึ่งอยู่ภายในทำให้น้ำกลายเป็นไอ หม้อผลิตไอน้ำประกอบด้วย ท่อทรงกระบอก และท่อน้ำ หรือท่อไฟ ส่วนที่รับความร้อน ประกอบด้วยพื้นผิวติดกับห้องเผาไหม้ จะรับความร้อนจากเปลวไฟโดยการแผ่รังสีสูง จึงเรียกว่า ผิวนำความร้อนด้วยการแผ่รังสี ส่วนพื้นผิวที่อยู่ห่างจากห้องเผาไหม้ จะได้รับความร้อนส่วนใหญ่จากการสัมผัสกับแก๊สเผาไหม้ที่มีความร้อนสูง จึงเรียกว่า ผิวนำความร้อนโดยการพา ตัวหม้อไอน้ำเป็นภาชนะทนความดันได้สูงที่บรรจุน้ำและไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งจะบรรจุน้ำอยู่ประมาณ 2/3-3/4 ของปริมาตรของตัวหม้อไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) อุปกรณ์และชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของหม้อไอน้ำ ส่วนมากมีอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ประกอบย่อย ได้แก่ ลิ้นนิรภัย ลิ้นถ่ายน้ำวาล์วต่างๆ เครื่องมือวัดความดัน เครื่องมือวัดระดับน้ำและเครื่องขจัดเขม่า เป็นต้น

2.5 เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไอน้ำอบฆ่าเชื้อก้อนเห็ด

การผลิตไอน้ำอบฆ่าเชื้อในการเพาะเห็ด นิยมใช้เตาแบบถังน้ำมัน 200 ลิตร เนื่องจากมีราคาไม่แพง วิธีการใช้ไม่ยุ่งยาก โดยใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด ได้แก่ ไม้ฟืน น้ำมันเตา ซังข้าวโพด น้ำมันดีเซล แก๊สหุงต้ม น้ำมันเครื่องเก่า และยางรถยนต์ เป็นต้น (เสกสรร, 2541) แต่มีข้อจำกัดและปัญหาในการใช้งาน คือ ไม่มีชนวนป้องกัน ตั้งอยู่กลางแจ้ง เกิดการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ ขณะเผาเชื้อเพลิงหรือไม้ฟืนเพื่อทำการต้มน้ำ ทำให้ต้องสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำนวนมากในการผลิตไอน้ำ เป็นผลทำให้การต้มน้ำให้เดือดต้องใช้เวลานาน และไม่สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิของไอน้ำให้คงที่ได้ เนื่องจากการสูญเสียความร้อนจากลมพัดถังหรือหม้อต้มน้ำขณะทำการต้มน้ำ และยังมีข้อจำกัดของการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด ดังนี้ (ธนิตย์, 2545)

1) ไม้ฟืน มีราคาแพงและหายาก แต่ยังใช้เชื้อเพลิงชีวมวลทดแทนได้ เช่น ซังข้าวโพด เศษไม้ เป็นต้น

2) น้ำมันดีเซลและแก๊สหุงต้ม มีราคาแพงไม่คุ้มค่าต่อการผลิตไอน้ำฆ่าเชื้อในโรงเรือนเพาะเห็ด

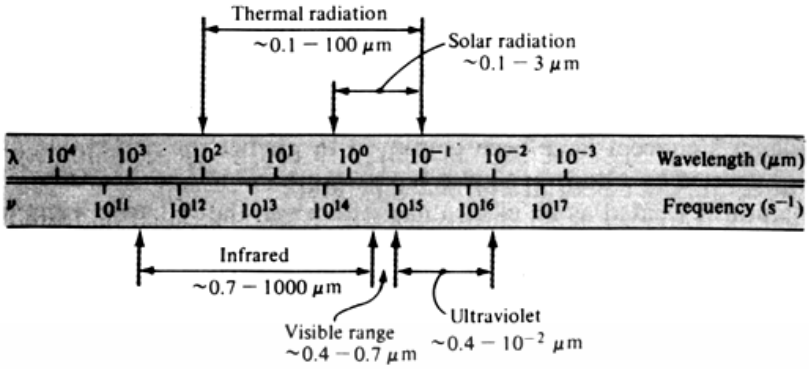
3) ยางรถยนต์เก่า ก่อให้ปัญหาเกิดมลภาวะและส่งกลิ่นเหม็น ซึ่งเป็นสาระก่อมะเร็ง เมื่อเผายางรถยนต์จะทำให้สารก่อมะเร็งออกสู่บรรยากาศ จนบางท้องถิ่นไม่อนุญาตหรือออกกฎหมายไม่ให้ใช้ยางรถยนต์เป็นเชื้อเพลิง

4) น้ำมันเครื่องเกาหรือน้ำมันขี้โล้ ก่อให้เกิดเป็นอันตรายต่อมนุษย์ เนื่องจากประกอบด้วยโลหะและอโลหะ ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว สารหนู เป็นต้น

2.6 หลักการพื้นฐานของรังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared ray) ถูกค้นพบโดยบังเอิญโดย Sir William Herschel นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษในปี ค.ศ. 1800 ขณะทำการศึกษาเกี่ยวกับแสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งคุณสมบัติของรังสีอินฟราเรด เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ที่ส่งผ่านพลังงานออกมาจากวัตถุร้อนในรูปของการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) ด้วยอุณหภูมิของตัววัตถุเองโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางหรือตัวนำในการส่งผ่านความร้อนไปยังวัตถุเย็น ตัวอย่างเช่นดวงอาทิตย์ที่แผ่รังสีความร้อนออกมาที่อุณหภูมิผิวประมาณ 5,487 °C โดยมีรังสีอินฟราเรดเป็นส่วนประกอบประมาณ 48% ของรังสีที่แผ่ออกมาทั้งหมด นอกจากนั้นยังประกอบด้วยรังสีที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าคือ รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet ray, UV) และรังสีที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible ray) ซึ่งรวมเรียกว่า Solar radiation โดยมีช่วงความยาวคลื่น (Wave length, λ) อยู่ระหว่าง 0.1 μm ถึง 3 μm ซึ่งเป็นรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.1 μm ถึง 0.4 μm (ภาพที่ 2.1) อย่างไรก็ดี การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดนี้จะไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางแสง (Photochemical) เหมือนกับรังสีอัลตราไวโอเลต จึงไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้โดยตรงกับผิวหนังร่างกายของคน (Fellows, 1990; Ozisik, 1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



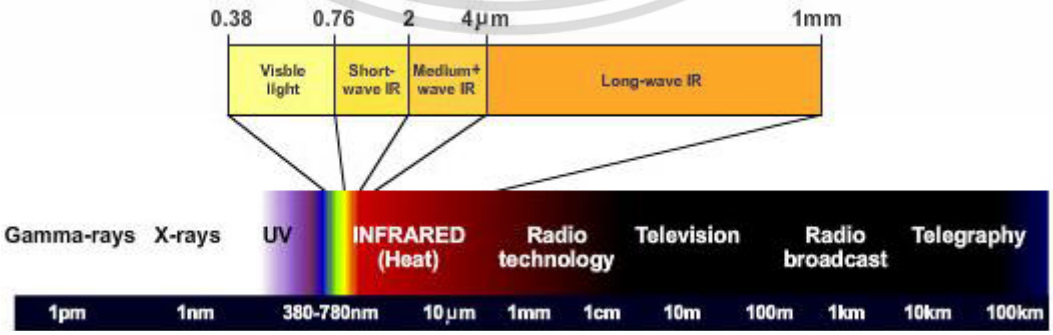
ภาพที่ 2.1 ช่วงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติเป็นรังสีความร้อน (Ozisik, 1985)

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 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 ให้กาลังความร้อนต่อพื้นที่สูง และสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกเหมาะกับการให้ความร้อนอุณหภูมิสูงอย่างรวดเร็ว เช่น การอบแห้งผลิตภัณฑ์

2. รังสีอินฟราเรดย่านกลาง (Middle Infra-red หรือ mid-IR) ความยาวคลื่น 2 - 4 ไมครอน มีอุณหภูมิใช้งาน อยู่ที่ 500°C – 950°C ให้กาลังความร้อนต่อพื้นที่ และสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกปานกลาง

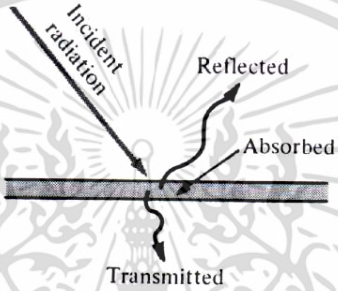
3. รังสีอินฟราเรดย่านไกล (Far Infra-red หรือ FIR) ความยาวคลื่น 4 - 1,000 ไมครอน มีอุณหภูมิใช้งาน อยู่ที่ 300°C – 700°C ให้กาลังความร้อนต่อพื้นที่ต่ำ และสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกตื้นเหมาะสาหรับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก และจากัดบริเวณพื้นผิว



ภาพที่ 2.1 สเปคตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารังสีอินฟราเรด ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 760 นาโนเมตร – 1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



ภาพที่ 2.3 การสะท้อน การดูดซึม และการส่งผ่านพลังงานของวัตถุที่รับรังสีอินฟราเรด (Ozisik, 1985)

วัตถุดำนั้นเป็นวัตถุในอุดมคติ (ε = 1) ซึ่งสำหรับวัตถุจริงนั้นคุณสมบัติการแผ่รังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุนั้น เช่น อุณหภูมิผิววัตถุร้อน สี มุมการแผ่รังสี ความหยาบมันเงาของผิวเป็นต้น ทำให้ค่าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมามีค่าไม่ถึงหนึ่ง (ε < 1) โดยพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีออกมา (Thermal radiation power) สามารถคำนวณด้วยกฎของ สเตฟาน – โบลแมน (Stefan-Boltzmann law) ดังสมการที่ (1)

$$Q = \varepsilon\sigma AT^4 \qquad (1)$$

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

ε = ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุเทา (มีค่า 0 ถึง 1)

σ = ค่าคงที่ของ สเตฟาน – โบลแมน (5.67×10^{-8} $W/m^2 K^4$)

A = พื้นที่ผิว (m^2)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K, °C + 273)

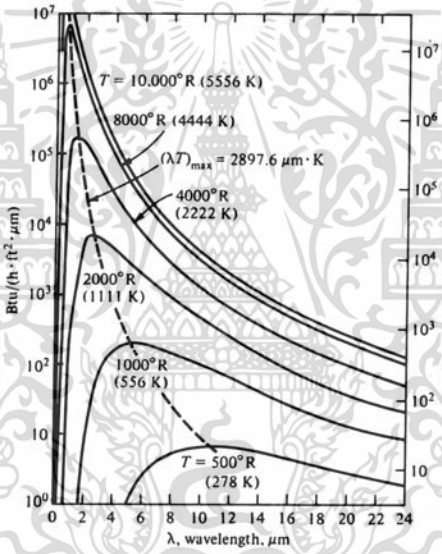
ส่วนวัตถุที่รับรังสีอินฟราเรดนั้น ปริมาณรังสีที่ถูกดูดซับด้วยวัตถุเทานั้น ความสามารถในการดูดซับรังสี (α) จะถูกสมมติให้มีค่าเท่ากับความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุนั้น (ε) โดยที่เมื่อความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดกำหนดโดยต้นกำเนิดรังสีอุณหภูมิที่สูงกว่าจะให้ความยาวคลื่นที่สั้นกว่าและการแทรกซึมลึกกว่า ปริมาณสุทธิของการถ่ายโอนความร้อนสู่วัตถุจึงเท่ากับอัตราการดูดซับลบจากอัตราการแผ่รังสีของวัตถุร้อนดังสมการที่ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4) \qquad (2)$$

เมื่อ T_1 = อุณหภูมิของวัตถุที่แผ่รังสี (K)
T_2 = อุณหภูมิของวัตถุที่ดูดซับรังสี (K)

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



ภาพที่ 2.4 ค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งความยาวคลื่นสูงสุดจากกับค่าพลังงานการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุดำ (Ozisik, 1985)

ซึ่งความยาวคลื่นสูงสุดจะสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิผิวของวัตถุร้อนนั้นในขณะที่แผ่รังสีและเป็นไปตามกฎของเวนน์ (Wien's displacement law) โดยคำนวณได้ดังสมการที่ (3) (Ratti, Mujumdar,1995 ; Ozisik, 1985)

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

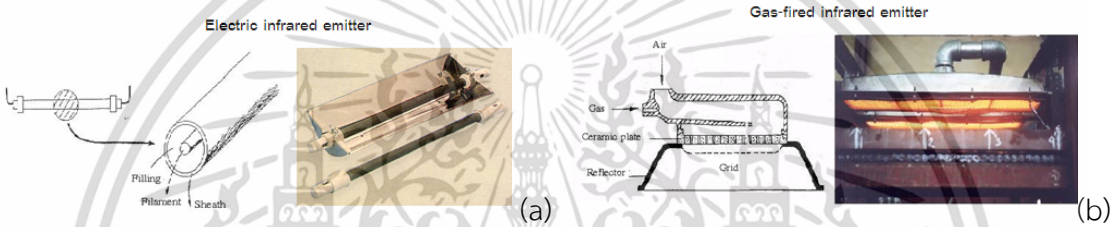
เมื่อ λ_{max} = ความยาวคลื่นสูงสุดที่แผ่รังสี (μm)
T = อุณหภูมิผิวของวัตถุที่แผ่รังสี (K)

ตัวอย่างเช่น วัตถุดำมีอุณหภูมิผิว 1000 K (727 °C) จะมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่แผ่รังสี 2.898 μm อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ดังกล่าวหากเป็นการแผ่รังสีของวัตถุจริง ย่อมจะปลดปล่อยพลังงาน (Q) ออกมาได้น้อยกว่าวัตถุดำเสมอขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการแผ่รังสี (ε) ของวัตถุนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ประเภทของอุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรด

การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด เป็นการให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยวัตถุร้อน ซึ่งหากแบ่งตามแหล่งการใช้พลังงานของอุปกรณ์กำเนิดรังสี สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ ชนิดใช้ไฟฟ้ากับชนิดใช้ก๊าซปิโตเลียมเหลว หรือ LPG (ภาพที่ 2.5) โดยอุปกรณ์กำเนิดรังสีแบบใช้ไฟฟ้า (Electrically heated radiator) ทำงานด้วยการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านตัวกระจายความร้อนเช่น ลวดนิโครม หรือ ทังสเตน ซึ่งจะกระจายความร้อนให้แก่วัตถุกำเนิดรังสี ที่มีหลายประเภทได้แก่ Tungsten filament lamp Metal sheath Radiant rod Quartz tubes และแบบ Quartz lamp เป็นต้น ส่วนอุปกรณ์กำเนิดรังสีแบบใช้ LPG ประกอบด้วยแผ่นรูพรุน (Perforate plate) ด้านบนจะเป็นโพรงสำหรับผสมอากาศกับก๊าซ เมื่อเกิดการเผาไหม้พลังงานความร้อนจะแพร่ผ่านรูพรุน ทำให้แผ่นรูพรุนที่ทำจากเซรามิก (Ceramic emitter) แล้วแผ่รังสีความร้อนออกมา โดยมีประสิทธิภาพการแผ่รังสีประมาณ 60%



ภาพที่ 2.5 อุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรดโดยใช้พลังงานไฟฟ้า (a) และแบบใช้ก๊าซปิโตเลียมเหลว (b)

2.8 เตาแก๊สอินฟราเรด

การติดไฟของเตาอินฟราเรด สามารถมองเห็นได้แค่เพียงแสงสีแดงของรังสีความร้อนหน้าเตาเท่านั้น โดยจะไม่มีเปลวไฟปรากฏเกิดขึ้น หลักการของเตาแก๊สอินฟราเรดและเตาอินฟราเรดในรูปแบบต่างๆ จะใช้คลื่นแม่เหล็กอินฟราเรดทำให้เกิดความร้อน ซึ่งคลื่นแม่เหล็กความร้อน จะมีความยาวของคลื่นมากกว่าแสงที่เรามองเห็นได้ ในความเป็นจริงความร้อนทุกชนิดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

หลักการทำงานของเตาอินฟราเรด จะใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงเริ่มต้นจุดไฟภายในเตา 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี

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

ข้อเสีย

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

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมชาย (2543) ได้ผลิตหม้อต้มน้ำสตีมไอน้ำแบบรวดเร็ว หรือ เตาสตีมพึ่งต้นเอง มีลักษณะโครงสร้างทำด้วยแผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมยาว 122.5 เซนติเมตร มีห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นอุโมงค์โค้ง ด้านบนห้องเผาไหม้เป็นหม้อต้มน้ำ ส่วนเหนือหม้อต้มเป็นถังน้ำสำรองขนาด 30 ลิตร เพื่อหยดหล่อเลี้ยงน้ำในหม้อต้มน้ำ

ธนิตน์ (2545) ได้พัฒนาเตาผลิตไอน้ำสำหรับการเพาะเห็ดฟางในโรงเรือน ออกแบบสร้างทำเป็นโครงชิ้นเดียวประกอบด้วย เตาเผาไหม้และตัวหม้อต้มน้ำ ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลทำงานต่อเนื่องได้นาน 1 ชั่วโมงต่อการเติมเชื้อเพลิงเต็มถัง 40 กิโลกรัม มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 45 เปอร์เซ็นต์

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% ใช้ความเข้มของรังสี0.125, 0.250, 0.375 และ 0.500 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตรและความหนาของแผ่นมันฝรั่งเท่ากับ 2.5, 6.5 และ 10.5 มิลลิเมตร โดยศึกษาผลกระทบของการอบแห้งเมื่อมีการเพิ่มความเข้มของรังสีและเมื่อมีการเพิ่มความหนาของมันฝรั่ง จากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของรังสีอินฟราเรดไกลที่ใช้ และพบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของรังสีอินฟราเรดไกลอยู่ระหว่าง5.93×10-11และ 1.73×10-9 ตารางเมตรต่อวินาที ใช้พลังงาน 2057 กิโลจูลต่อกิโลกรัม สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ หรืออัตราการอบแห้งคือความเข้มของการแผ่รังสี (Radiative Intensity) และอัตราการไหลอากาศ โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์มีผลน้อยมาก

Ipsita Das and Das (2004) ได้ศึกษาการใช้พลังงานและคุณภาพของรังสีอินฟราเรดในการอบแห้งข้าวเหนียวนึ่ง โดยใช้ความเข้มของการแผ่รังสีที่ 5 ระดับ คือ 5514, 4520,3510, 2520 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1509 วัตต์ต่อตารางเมตร ความหนาของเมล็ดข้าว 4 ขนาด คือ 3, 6, 12, และ25 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่าการใช้ความเข้มของการแผ่รังสีที่เพิ่มขึ้นจะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลงและมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

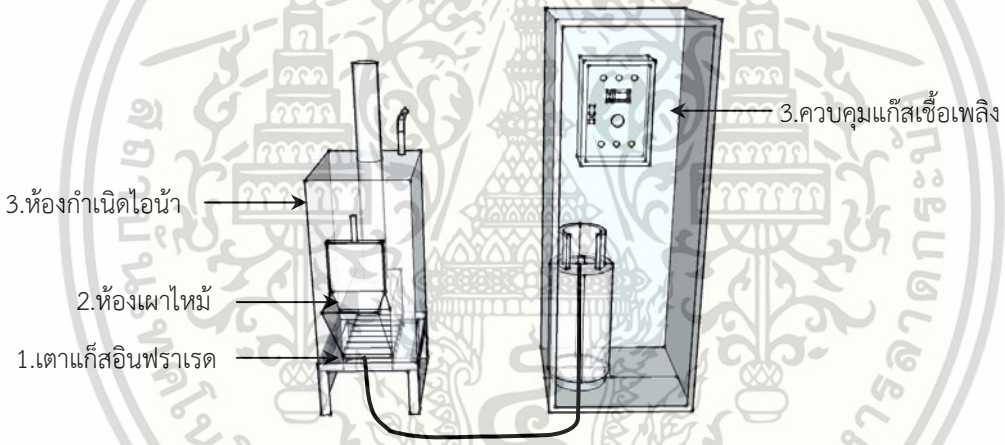
บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการศึกษาวิจัย เพื่อให้การศึกษาวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ จึงกำหนดแนวทางการศึกษาแยกออกเป็นขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 การออกแบบและทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

การศึกษาในขั้นตอนนี้ เพื่อการออกแบบและสร้างเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ แล้วทำการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การออกและสร้างเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ จึงทำการออกแบบและสร้างเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบที่ส่วนประกอบ 3 ส่วน ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 เตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

1. ส่วนเตาแก๊สอินฟราเรดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ แล้วยังให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอและต่อเนื่อง

2. ส่วนห้องเผาไหม้เป็นส่วนที่นำความร้อนที่เกิดขึ้นจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังเตารอบนอกจนทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอ

3. ส่วนห้องกำเนิดไอน้ำ เป็นภาชนะที่บรรจุน้ำอยู่ด้านบนเตาแก๊สอินฟราเรด โดยรับความร้อนจากการเผาไหม้ของส่วนเตาแก๊สอินฟราเรด ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสุงขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็นไอน้ำ และเกิดแรงดันให้ไอน้ำพุ่งออกมาตามท่อ เพื่อเข้าตู้อบก้อนเชื้อเห็ด

4. ส่วนควบคุมแก๊สเชื้อเพลิง เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบและควบคุมปริมาณการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงไปยังหัวเตาอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ โดยการนำห้องกำเนิดไอน้ำวางบนชุดเตาแก๊สอินฟราเรด แล้วจากนั้นเติมน้ำเข้าห้องกำเนิดไอน้ำ ให้มีระดับ 1 ใน 3 ส่วน แล้วทำการจุดไฟเตาแก๊สอินฟราเรดเพื่อเริ่มกระบวนการเผาไหม้ต้มน้ำ

3.1.2 วิธีการดำเนินการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ โดยการทดลองต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอ เพื่อเก็บข้อมูลต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิหน้าเตา อุณหภูมิปากปล่อง อุณหภูมิน้ำในห้องกำเนิดไอ อุณหภูมิไอน้ำ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ปริมาณน้ำที่ระเหย ปริมาณน้ำที่เหลือในหม้อต้ม และเวลาในการเผาไหม้ผลิตไอน้ำ เป็นต้น มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมอุปกรณ์ ตรวจสอบและประกอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

2) เติมน้ำภายในห้องกำเนิดไอน้ำปริมาณ 1 ใน 3 ส่วนของห้องกำเนิดไอน้ำ โดยการวัดปริมาณน้ำที่เติมเข้าห้องกำเนิดไอน้ำแล้วจดบันทึก

3) เตรียมจุดไฟหน้าเตา โดยทำการชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG แล้วจดบันทึก

4) จุดไฟหน้าเตา พร้อมกับบันทึกเวลาและอุณหภูมิในตำแหน่งตางๆของการทดลอง ณ อุณหภูมิหน้าเตา อุณหภูมิปากปล่อง อุณหภูมิน้ำในห้องกำเนิดไอ และอุณหภูมิไอน้ำ โดยบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที

5) แล้วสังเกตปากท่อไอน้ำ บันทึกลักษณะการเกิดไอน้ำ และเวลาที่เริ่มเกิดไอน้ำพุ่งออกจากปากท่อ

6) เมื่อเกิดไอน้ำที่ปากท่อครบ 6 ชั่วโมง ทำปิดแก๊ส LPG เพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้ ปล่อยให้น้ำภายในห้องกำเนิดไอเย็นตัวลง 24 ชั่วโมง

7) หลังจากหยุดกระบวนการเผาไหม้ตามเวลาที่กำหนด ทำการชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG และชั่งน้ำหนักน้ำที่เหลือในห้องกำเนิดไอ พร้อมบันทึกน้ำหนัก

8) ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1-7 จนครบทั้ง 3 การทดลอง

3.1.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ ในการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตา และอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้ม จะทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ และแสดงผลการทดสอบเป็นตารางเปรียบเทียบ โดยการวิเคราะห์ตามสมการ ดังนี้

1) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%) = [(MiCpdT+MeL) x 100]/MH

เมื่อ M = มวลของไม้เชื้อเพลิง (กิโลกรัม)

H = ค่าความร้อนของไม้เชื้อเพลิง (กิโลจูล/กิโลกรัม)

Mi = น้ำหนักของน้ำที่ใช้ในการต้ม (กิโลกรัม)

Cp = ความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.19 กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส)

dT = อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลง (องศาเซลเซียส)

Me = น้ำหนักของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ (กิโลกรัม)

L = ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ (2256 กิโลจูล/กิโลกรัม)

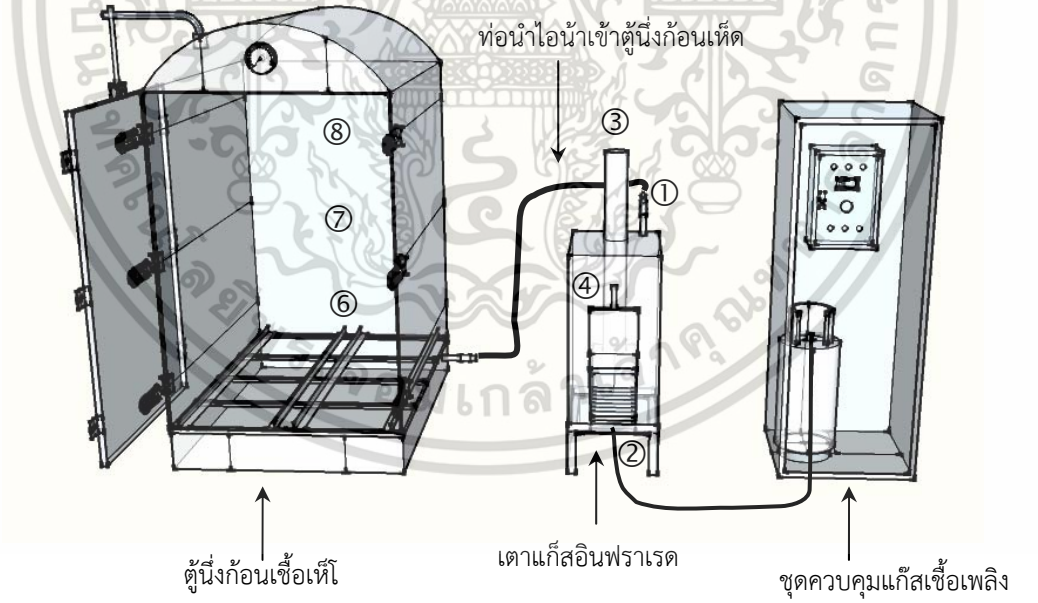
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อัตราการผลิตไอน้ำ (ลิตร/ชั่วโมง) = ปริมาณน้ำที่ระเหย (ลิตร) / ระยะเวลาที่เกิดไอน้ำ (ชั่วโมง)

3) อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ชั่วโมง) = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป (กิโลกรัม) / ระยะเวลาการผลิตไอน้ำ (ชั่วโมง)

3.2 การทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด

การทดสอบระบบการทำงานของเตาอินฟราเรดสำหับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด การศึกษาในขั้นตอนนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ที่ผ่านการทดลองเบื้องต้นมาแล้ว กับการใช้ไอน้ำที่ผลิตได้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดภายในตู้นึ่ง ทดลองเปรียบเทียบการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด (ภาพที่ 3.2) บรรจุก้อนเห็ดเต็มตู้นึ่งขนาด 500 ก้อน และ บรรจุก้อนเห็ดครึ่งตู้นึ่ง 280 ก้อน เพื่อศึกษาอัตราการผลิตและประสิทธิภาพในการผลิตไอน้ำ อุณหภูมิไอน้ำ① อุณหภูมิหน้าเตา② อุณหภูมิปากปล่อง③ อุณหภูมิน้ำในเตา④ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ปริมาณน้ำที่ระเหย ปริมาณน้ำที่เหลือในหม้อต้ม ระยะเวลาในการผลิตไอน้ำ เวลาในการเผาไหม้ผลิตไอน้ำ และอุณหภูมิในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ล่าง⑥ กลาง⑦ บน⑧ เป็นต้น ซึ่งมีอุปกรณ์ในการทดสอบ ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิ สายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K เครื่องชั่งน้ำหนัก นาฬิกาจับเวลา แก๊สเชื้อเพลิง ชุดควบคุมแก๊สอินฟราเรดและอุปกรณ์ป้อง เป็นต้น



ภาพที่ 3.2 เตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 500 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 วิธีการดำเนินการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมอุปกรณ์ ตรวจสอบและประกอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

2) เติมน้ำภายในห้องกำเนิดไอน้ำปริมาณ 1 ใน 3 ส่วนของห้องกำเนิดไอน้ำ โดยการวัดปริมาณน้ำที่เติมเข้าห้องกำเนิดไอน้ำแล้วจดบันทึก

3) เตรียมจุดไฟหน้าเตา โดยทำการชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG แล้วจดบันทึก

4) จุดไฟหน้าเตา พร้อมกับบันทึกเวลาและอุณหภูมิในตำแหน่งตางๆของการทดลอง ณ อุณหภูมิหน้าเตา อุณหภูมิปากปล่อง อุณหภูมิน้ำในห้องกำเนิดไอ อุณหภูมิไอน้ำ และอุณหภูมิในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบน โดยทำการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที

5) แล้วสังเกตปากท่อไอน้ำ บันทึกลักษณะการเกิดไอน้ำ และเวลาที่เริ่มเกิดไอน้ำพุ่งออกจากปากท่อ

6) เมื่อเกิดไอน้ำเข้าสู่ตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 70 องศาเซลเซียส ครบ 4 ชั่วโมง ทำปิดแก๊ส LPG เพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้ ปล่อยให้น้ำภายในห้องกำเนิดไอเย็นตัวลง 24 ชั่วโมง

7) หลังจากหยุดกระบวนการเผาไหม้ตามเวลาที่กำหนด ทำการชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG และชั่งน้ำหนักน้ำที่เหลือในห้องกำเนิดไอ พร้อมบันทึกน้ำหนัก

8) ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1-7 จนครบทั้ง 3 การทดลอง

3.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ในการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตา อุณหภูมภายในตู้นึ่งก้อนเห็ด และอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้ม จะทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ และแสดงผลการทดสอบเป็นตารางเปรียบเทียบ โดยการวิเคราะห์ตามสมการ ดังนี้

1) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%) = [(MiCpdT+MeL) x 100]/MH

เมื่อ M = มวลของไม้เชื้อเพลิง (กิโลกรัม)
H = ค่าความร้อนของไม้เชื้อเพลิง (กิโลจูล/กิโลกรัม)
Mi = น้ำหนักของน้ำที่ใช้ในการต้ม (กิโลกรัม)
Cp = ความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.19 กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส)
dT = อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลง (องศาเซลเซียส)
Me = น้ำหนักของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ (กิโลกรัม)
L = ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ (2256 กิโลจูล/กิโลกรัม)

2) อัตราการผลิตไอน้ำ (ลิตร/ชั่วโมง) = ปริมาณน้ำที่ระเหย (ลิตร) / ระยะเวลาที่เกิดไอน้ำ (ชั่วโมง)

3) อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ชั่วโมง) = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป (กิโลกรัม) / ระยะเวลาการผลิตไอน้ำ (ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการดำเนินการศึกษาวิจัยพัฒนาออกแบบและเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด และได้ดำเนินการทดสอบวิจัยเก็บข้อมูล ณ ตึกเจ้าคุณทหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งได้ผลการศึกษาอภิปรายและวิจารณ์ ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

การดำเนินการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบได้ออกแบบและจัดสร้างเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดขึ้น โดยมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ ส่วนเตาแก๊สอินฟราเรดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ส่วนห้องเผาไหม้เป็นส่วนที่นำความร้อนที่เกิดขึ้น จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังเตารอบนอก จนทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอ และส่วนห้องกำเนิดไอน้ำ เป็นภาชนะที่บรรจุน้ำอยู่ด้านบนเตาแก๊สอินฟราเรด ลักษณะของเตาแก๊สอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความสูง 80 เซนติเมตร กว้าง 40 เซนติเมตร มีผนังชั้นนอกและชั้นในแยกกันโดยระหว่างผนังมีน้ำอยู่รอมรอบเตา ส่วนด้านล่างมีท่อน้ำขนาด 2 นิ้ว เชื่อมต่อระหว่างผนังทั้ง 2 ข้าง จากด้านซ้ายไปด้านขวาหลังจำนวน 3 เส้น ให้น้ำที่อยู่ในผนังเคลื่อนที่ไหลวนภายในเตาได้ ด้านบนเตาจะมีปล่องควัน และท่อออกไอน้ำ ซึ่งหลักการทำงานของสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด เริ่มจากเติมน้ำเข้าไปในผนังเตาให้มีความสูงประมาณ 3 ใน 4 ของเตา แล้วประกอบชุดเตาแก๊สอินฟราเรดแล้วนำมาวางใต้ห้องเผาไหม้ ทำการจุดไฟเตาแก๊สอินฟราเรด จากนั้นอุณหภูมิน้ำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนผลิตไอน้ำนึ่งก้อนเห็ดได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการหรือตามระยะเวลาที่กำหนด

ภาพที่ 4.1 ลักษณะเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการออกแบบและสร้างเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดแล้วเสร็จ จึงได้ดำเนินการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ ภาพที่ 4.2 เพื่อศึกษาทดลองเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ ให้ทราบถึงการทำงานของเตาอินฟราเรดผลิตไอน้ำ ปัญหาและข้อจำกัดของการใช้งานเบื้องต้น โดยทำการศึกษาเก็บข้อมูล ได้แก่ ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ อัตราการผลิตไอน้ำ อัตราการใช้แก๊ส การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ระยะเวลาในการเกิดไอน้ำ ตลอดจนลักษณะการเกิดไอน้ำขณะทำการทดลอง โดยได้ทดสอบการทำงานของเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ณ ตึกเจ้าคุณทหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดำเนินการทดลองเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งใช้ระยะเวลาประมาณ 1 วัน ซึ่งการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จะใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ กับชุดหัวเตาอินฟราเรดให้ความร้อนกับเตาต้มน้ำ โดยเริ่มจากเติมน้ำเข้าไปในผนังเตาประมาณ 50 กิโลกรัม แล้วประกอบชุดเตาแก๊สอินฟราเรดแล้วนำมาวางใต้ห้องเผาไหม้ และทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปอร์ ตามตำแหน่งต่างๆ ภายในเตา แล้วต่อสายเข้ากับเครื่องวัดบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ ทำการจุดเตา พร้อมกับเริ่มบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยมีสภาพอากาศแวดล้อมบริเวณทดสอบอุณหภูมิอากาศประมาณ 31 องศาเซลเซียส มีลมพัด และมีแสงแดดตลอดทั้งวัน แสดงการดำเนินการทดลองและข้อมูลการทดลองในภาคผนวก ก แสดงระดับอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ของเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ดังภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 มีผลการทดสอบและอภิปรายผลได้ดังนี้

ภาพที่ 4.2 การทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

การทดลองที่ 1 เริ่มทดลองเวลา 12:25 น. โดยทำการเติมน้ำในเตา 50 กิโลกรัม ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ปากปล่อง ท่อไอน้ำ และน้ำในเตา มีอุณหภูมิ 30 29 30 และ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ การทดลองดำเนินผ่านไปเป็นเวลา 1:20 ชั่วโมง สังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากปากท่อไอน้ำ โดยระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง ท่อไอน้ำ และน้ำในเตา เพิ่มสูงถึง 630 155 100 และ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งไอน้ำพุ่งออกจากปลายท่อไอน้ำเพิ่มมากเรื่อยๆ และมีไอน้ำพุ่งออกมาเป็นระยะๆ เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง จากนั้นทำหยุดจ่ายแก๊สเพื่อหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเผาไหม้ พักเตาไว้นานประมาณ 12 ชั่วโมง จึงทำการชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดปริมาณน้ำที่เหลือภายในเตาต้มน้ำ ซึ่งได้ใช้แก๊สปริมาณ 4.00 กิโลกรัม และน้ำ 26.50 กิโลกรัม

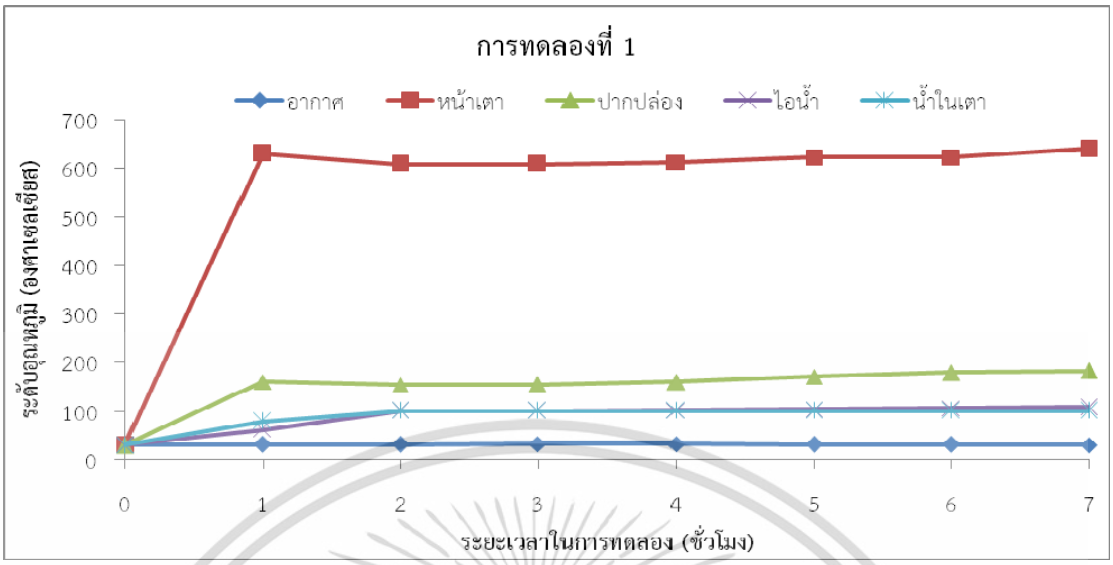
การทดลองที่ 2 เริ่มทดลองเวลา 10:10 น. โดยทำการเติมน้ำในเตา 50 กิโลกรัม ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ปากปล่อง ท่อไอน้ำ และน้ำในเตา มีอุณหภูมิ 29 30 29 และ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ การทดลองดำเนินผ่านไปเป็นเวลา 1:10 ชั่วโมง สังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากปากท่อไอน้ำ โดยระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง ท่อไอน้ำ และน้ำในเตา เพิ่มสูงถึง 682 135 80 และ 96 องศาเซลเซียส ซึ่งไอน้ำพุ่งออกจากปลายท่อไอน้ำเพิ่มมากเรื่อย ๆ และมีไอน้ำพุ่งออกมาเป็นระยะๆ เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง จากนั้นทำหยุดจ่ายแก๊สเพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้ พักเตาไว้นานประมาณ 12 ชั่วโมง จึงทำการชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดปริมาณน้ำที่เหลือภายในเตาต้มน้ำ ซึ่งได้ใช้แก๊สปริมาณ 3.50 กิโลกรัม และน้ำ 24.00 กิโลกรัม

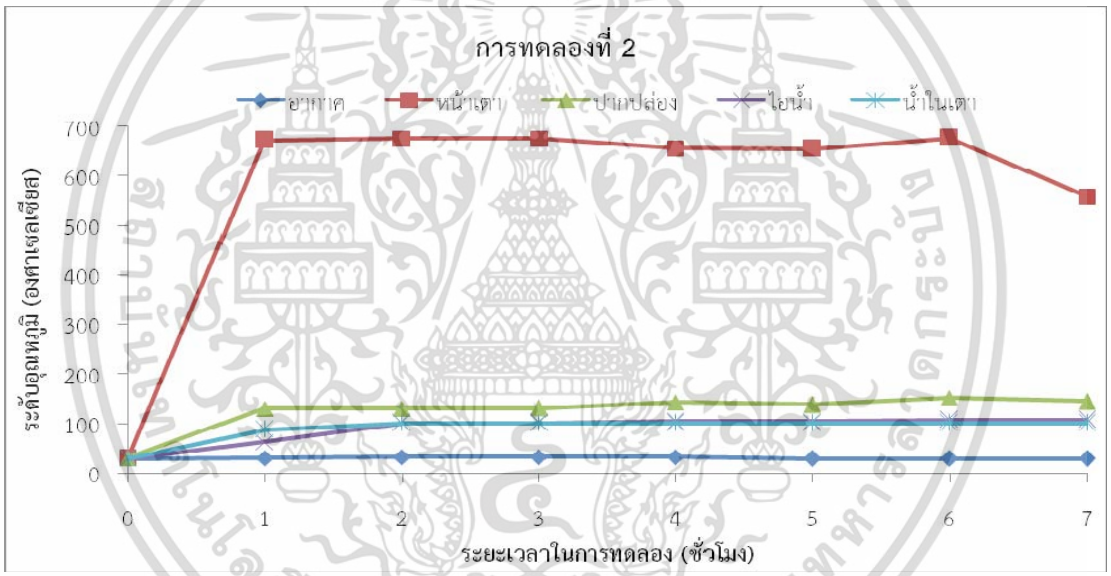
การทดลองที่ 3 เริ่มทดลองเวลา 11:00 น. โดยทำการเติมน้ำในเตา 50 กิโลกรัม ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ปากปล่อง ท่อไอน้ำ และน้ำในเตา มีอุณหภูมิ 27 27 24 และ 28 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ การทดลองดำเนินผ่านไปเป็นเวลา 1:10 ชั่วโมง สังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากปากท่อไอน้ำ โดยระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง ท่อไอน้ำ และน้ำในเตา เพิ่มสูงถึง 632 134 83 และ 98 องศาเซลเซียส ซึ่งไอน้ำพุ่งออกจากปลายท่อไอน้ำเพิ่มมากเรื่อย ๆ และมีไอน้ำพุ่งออกมาเป็นระยะๆ เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง จากนั้นทำหยุดจ่ายแก๊สเพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้ พักเตาไว้นานประมาณ 12 ชั่วโมง จึงทำการชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดปริมาณน้ำที่เหลือภายในเตาต้มน้ำ ซึ่งได้ใช้แก๊สปริมาณ 3.50 กิโลกรัม และน้ำ 25.00 กิโลกรัม

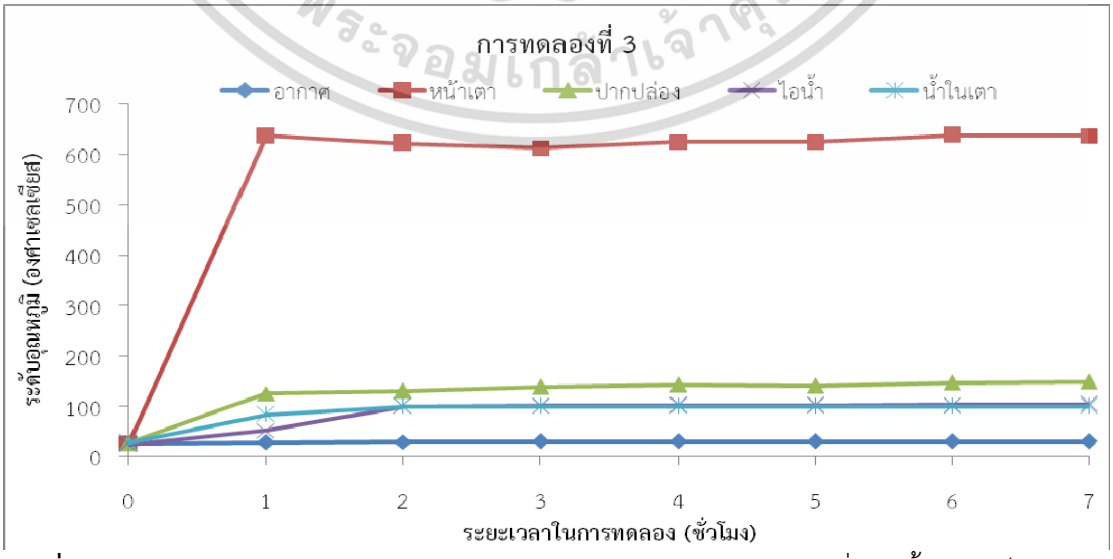
จากผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบทั้ง 3 การทดลอง ด้วยการต้มน้ำที่บรรจุในระหว่างผนังเตาเผาถ่านผลิตไอน้ำจำนวน 50 กิโลกรัม จากนั้นทำการจุดไฟหน้าเตาเพื่อเริ่มกระบวนการเผาไหม้ โดยใช้แก๊สเฉลี่ย 3.67 กิโลกรัม ทำให้อุณหภูมิของหน้าเตาและปากปล่องเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำที่อยู่ระหว่างผนังเตาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเก็บสะสมความร้อนจากการเผาไหม้ และด้านล่างของเตายังมีท่อน้ำทำเป็นตะแกรง ทำให้น้ำที่บรรจุระหว่างผนังเตาและในท่อด้านล่างเตาร้อนขึ้น และเกิดการหมุนวนของน้ำที่บรรจุภายในผนังเตา จากลักษณะที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่า น้ำที่บรรจุภายในผนังเตาจะได้รับความร้อนทั้งจากการเผาหน้าเตาและห้องเผาไหม้ภายใน การบรรจุน้ำในระหว่างผนังเตายังเป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนภายในห้องเผาไหม้อีกด้วย เป็นผลให้น้ำที่บรรจุภายในเตาจนกลายเป็นไอในระยะเวลา 1.13 ชั่วโมง และมีไอน้ำออกจากเตาเผาจนสิ้นสุดการทดลอง เป็นระยะเวลาเกิดไอน้ำ 5.43 ชั่วโมง โดยใช้ระยะเวลาในการผลิตไอน้ำตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดทั้งหมด 7 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณากราฟอุณหภูมิเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบทั้ง 3 การทดลอง จะเห็นว่า ระดับอุณหภูมิหน้าเตาอินฟราเรดอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีระดับอุณหภูมิหน้าเตาเพิ่มขึ้นสูงกว่า 600 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 5 นาที และจะค่อนข้างคงที่ตลอดจนถึงสิ้นสุดการทดลอง และทำให้น้ำที่บรรจุอยู่ในเตามีอุณหภูมิสูงขึ้น และเกิดไอน้ำขึ้นภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีระดับอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส จนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งได้ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 7 ชั่วโมล และระยะเวลาในการเกิดไอน้ำมากกว่า 5 ชั่วโมง โดยการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดเพื่อฆ่าเชื้อจะใช้เวลาในการนึ่งประมาณ 4-5 ชั่วโมง ทำให้เตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ ที่ออกแบบและสร้างมีแนวโน้มนำไปประยุคต์ใช้กับการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







ภาพที่ 4.3 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบทั้ง 3 การทดลอง (ตารางที่ 4.1) เตาอินฟราเรดผลิตไอน้ก โดยใช้แก็ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในปริมาณใกล้เคียงกันเฉลี่ย 3.67 กิโลกรัม สำหรับการต้มน้ำในปริมาณ 50 กิโลกรัม ทำให้น้ำที่บรรจุภายในเตาร้อนสูงขึ้นจนกลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนภายในเตาที่เกิดขึ้นจากกระบวนถ่ายเทความร้อนภายในเตา มีผลให้น้ำภายในเตากลายเป็นไอน้ำได้ภายในระยะเวลา 1.13 ชั่วโมง พุ่งออกทางท่อไอน้ำของเตาอินฟราเรดผลิตไอน้ำ และทำให้เกิดไอน้ำต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมง โดยมีน้ำเหลือภายในเตาผลิตไอน้ำเฉลี่ย 24.82 กิโลกรัม หรือการเผาไหม้ต้มน้ำให้ระเหยกลายเป็นไอไป 25.12 กิโลกรัม ซึ่งมีอัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ย 4.63 กิโลกรัม/ชั่วโมง ในอัตราการใช้เชื้อเพลิง LPG 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง

ตารางที่ 4.1 การศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

รายการวิเคราะห์ผล	การทดลองที่			เฉลี่ย
	1	2	3	
น้ำหนักแก็สเชื้อเพลิง(กิโลกรัม)	4.00	3.50	3.50	3.67
ปริมาณน้ำในหม้อต้ม(กิโลกรัม)	50.00	50.00	50.00	50.00
อุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มเริ่มต้น(องศาเซลเซียส)	30.00	30.00	28.00	25.00
อุณหภูมิของน้ำในหม้อต้ม(องศาเซลเซียส)	100.00	101.00	100.00	100.33
ระยะเวลาที่เกิดไอน้ำ(ชั่วโมง)	5.40	5.50	5.40	5.43
ระยะเวลาในการเผาทั้งหมด(ชั่วโมง)	7.00	7.00	7.00	7.00
ปริมาณน้ำที่ระเหย(กิโลกรัม)	26.50	24.00	25.00	25.17
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(%)	37.11	39.32	40.72	39.46
อัตราการผลิตไอน้ำ(กิโลกรัม/ชั่วโมง)	4.91	4.36	4.63	4.63
อัตราการใช้เชื้อเพลิง(กิโลกรัม/ชั่วโมง)	0.57	0.50	0.50	0.52

ผลจากการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยกระบวนการเผาไหม้ถ่ายเทความร้อนให้น้ำด้วยเตาอินฟราเรด ซึ่งใช้แก็ส LPG เป็นเชื้อเพลิงผลิตความร้อนจากรังสีเตาอินฟราเรดในการต้มน้ำให้เดือดกลายไอน้ำ ทำให้เกิดความร้อนสูงสามารถต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอน้ำได้ โดยทดสอบของเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ พบว่า สามารถต้มน้ำจำนวน 50 กิโลกรัม ให้เดือดกลายเป็นไอได้ภายใน 1.13 ชั่วโมง ผลิตไอน้ำได้นานเป็นเวลากว่า 5.43 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิน้ำและไอน้ำสูงถึง 100 องศาเซลเซียส และสามารถผลิตไอน้ำได้ปริมาณ 25.17 กิโลกรัม ซึ่งมีอัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ย 4.63 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยใช้แก็สเชื้อเพลิงเพียง 3.67 กิโลกรัม และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 0.52 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 39.46 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการผลิตไอน้ำนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด

การทดสอบระบบการทำงานของเตาอินฟราเรดสำหับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ที่ผ่านการทดลองเบื้องต้นแล้ว โดยทดลองเปรียบเทียบการนึ่งก้อนฆ่าเชื้อเห็ดในสภาพการใช้งานกับตู้นึ่งก้อนเชื้อเห็ด (ภาพที่ 3.2) บรรจุก้อนเห็ดเต็มตู้นึ่งจำนวน 500 ก้อน และ บรรจุก้อนเห็ดครึ่งตู้นึ่งจำนวยน 280 ก้อน ผลการศึกษาดังนี้

4.2.1 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน

การดำเนินการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ทำการทดสอบ ณ ตึกเจ้าคุณทหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยดำเนินการทดลองเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อนจำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งใช้ระยะเวลา 1 วัน สภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศแวดล้อมบริเวณทดสอบดังภาพที่ 4.4 มีแสงแดดตลอดทั้งวัน อุณหภูมิอากาศประมาณ 33 องศาเซลเซียส แสดงการดำเนินการทดสอบและข้อมูลการทดลองในภาคผนวก ข และวิเคราะห์ผลได้ดังตารางที่ 4.2

ภาพที่ 4.4 การทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน

การทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อนทั้ง 3 การทดลอง เริ่มจากเติมน้ำเข้าไปในเตาผลิตไอน้ำ 100 กิโลกรัม พร้อมกับการต่อท่อไอน้ำเข้าตู้นึ่งเชื้อก้อนเห็ด แล้วประกอบชุดเตาแก๊สอินฟราเรด ติดตั้งใต้เตาตรงห้องเผาไหม้ให้เกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำภายในท่อ และทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปอร์ ตามตำแหน่งต่างๆ ภายในเตา ได้แก่ หน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา ท่อไอน้ำ เป็นต้น ภายในตู้นึ่ง ได้แก่ ด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบน เป็นต้น จากนั้นต่อสายหัววัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องวัดบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ ทำการจุดเตา พร้อมกับเริ่มบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ แต่ละการทดลองอภิปรายผล ดังนี้

การทดลองที่ 1 เริ่มทดลองตอนเช้าเวลา 7:00 น. โดยทำการเติมน้ำในเตา 100 กิโลกรัม ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ มีอุณหภูมิ 26 26 28 และ 26 องศาเซลเซียส ส่วนภายในตู้นึ่งเชื้อก้อนเห็ดด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบน มีระดับอุณหภูมิ 29 29 และ 29

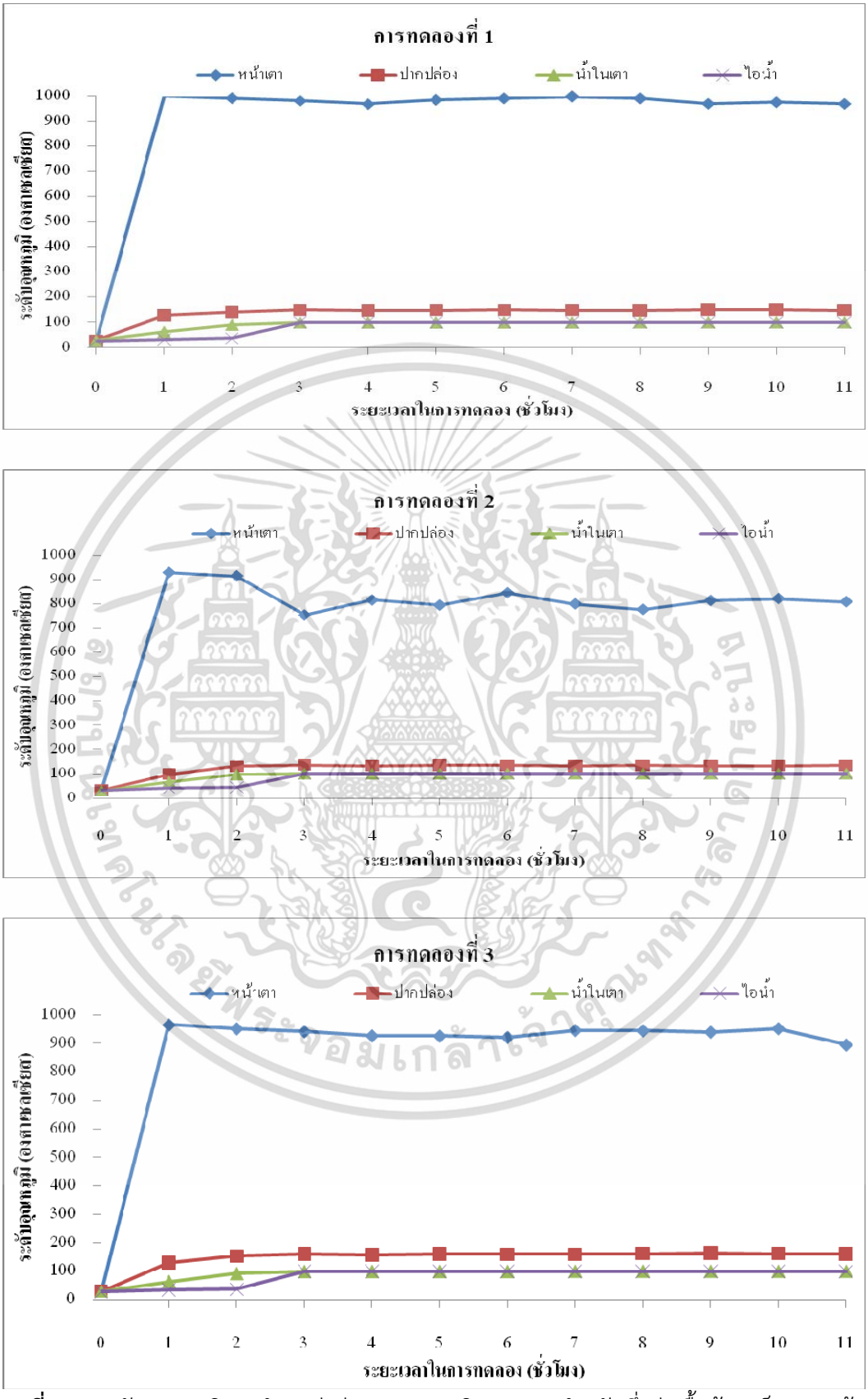
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ การทดลองดำเนินผ่านไปเป็นเวลา 2:30 ชั่วโมง สังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากปากท่อไอน้ำ โดยระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงถึง 995 146 99 และ 99 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบน มีอุณหภูมิ 33 36 และ 42 องศาเซลเซียส ซึ่งไอน้ำพุ่งออกจากปลายท่อไอน้ำเพิ่มมากเรื่อย ๆ และมีไอน้ำพุ่งออกมาเป็นระยะๆ เมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง ระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงขึ้น 992 147 100 และ 100 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบนเพิ่มสูงขึ้นที่ 71 73 และ 73 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 11 ชั่วโมง จากนั้นทำหยุดจ่ายแก๊สเพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้ พักเตาไว้นานประมาณ 12 ชั่วโมง จึงทำการชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดปริมาณน้ำที่เหลือภายในเตาต้มน้ำ ซึ่งได้ใช้แก๊สปริมาณ 6.50 กิโลกรัม และน้ำ 62.00 กิโลกรัม

การทดลองที่ 2 เริ่มทดลองตอนเช้าเวลา 9:00 น. โดยทำการเติมน้ำในเตา 100 กิโลกรัม ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ มีอุณหภูมิ 31 32 30 และ 31 องศาเซลเซียส ส่วนภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบน มีระดับอุณหภูมิ 30 32 และ 34 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ การทดลองดำเนินผ่านไปเป็นเวลา 2:20 ชั่วโมง สังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากปากท่อไอน้ำ โดยระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงถึง 863 136 100 และ 100 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบน มีอุณหภูมิ 34 37 และ 44 องศาเซลเซียส ซึ่งไอน้ำพุ่งออกจากปลายท่อไอน้ำเพิ่มมากเรื่อย ๆ และมีไอน้ำพุ่งออกมาเป็นระยะๆ เมื่อเวลาผ่านไป 7 ชั่วโมง ระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงขึ้น 799 132 100 และ 100 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบนเพิ่มสูงขึ้นที่ 70 71 และ 72 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 11 ชั่วโมง จากนั้นทำหยุดจ่ายแก๊สเพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้ พักเตาไว้นานประมาณ 12 ชั่วโมง จึงทำการชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดปริมาณน้ำที่เหลือภายในเตาต้มน้ำ ซึ่งได้ใช้แก๊สปริมาณ 5.50 กิโลกรัม และน้ำ 60.50 กิโลกรัม

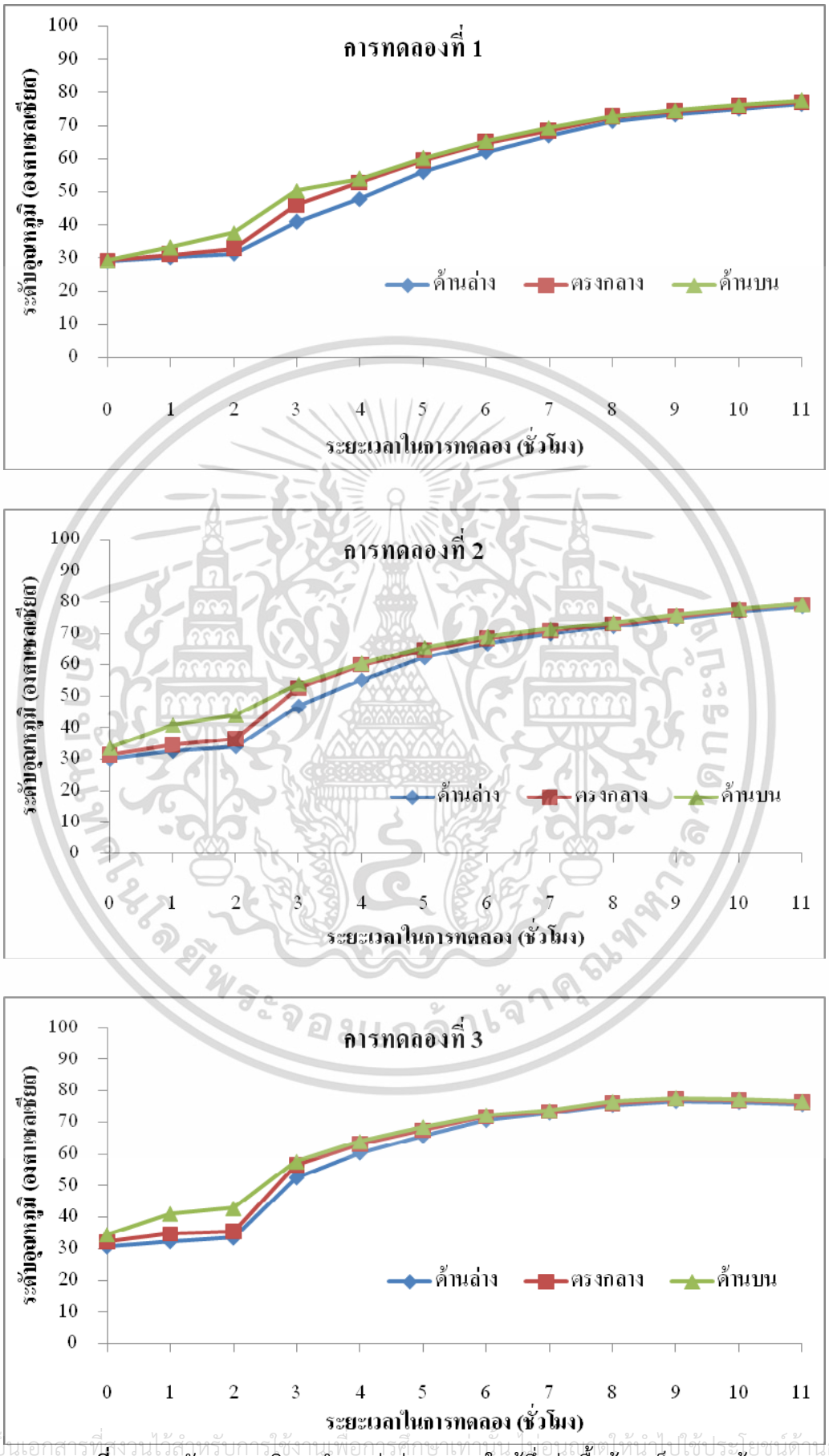
การทดลองที่ 3 เริ่มทดลองตอนเช้าเวลา 9:00 น. โดยทำการเติมน้ำในเตา 100 กิโลกรัม ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ มีอุณหภูมิ 30 30 30 และ 29 องศาเซลเซียส ส่วนภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบน มีระดับอุณหภูมิ 31 32 และ 35 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ การทดลองดำเนินผ่านไปเป็นเวลา 2:40 ชั่วโมง สังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากปากท่อไอน้ำ โดยระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงถึง 945 157 100 และ 100 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบน มีอุณหภูมิ 42 45 และ 46 องศาเซลเซียส ซึ่งไอน้ำพุ่งออกจากปลายท่อไอน้ำเพิ่มมากเรื่อย ๆ และมีไอน้ำพุ่งออกมาเป็นระยะๆ เมื่อเวลาผ่านไป 7 ชั่วโมง ระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงขึ้น 922 159 100 และ 99 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบนเพิ่มสูงขึ้นที่ 71 72 และ 72 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 11 ชั่วโมง จากนั้นทำหยุดจ่ายแก๊สเพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้ พักเตาไว้นานประมาณ 12 ชั่วโมง จึงทำการชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดปริมาณน้ำที่เหลือภายในเตาต้มน้ำ ซึ่งได้ใช้แก๊สปริมาณ 5.50 กิโลกรัม และน้ำ 61.50 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 ระดับอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 500 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ระดับอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 500 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน ทั้ง 3 การทดลอง ด้วยการเติมน้ำเข้าเตาผลิตไอน้ำ 100 กิโลกรัม เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิเตาอินฟราเรดและภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ตั้งแต่การจุดไฟหน้าเตาหัวอินฟราเรด เริ่มกระบวนการเผาไหม้ให้ความร้อนในการต้มน้ำ ทำให้อุณหภูมิของน้ำภายในเตาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็นไอ เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2:20 ชั่วโมง เริ่มสังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากท่อไอน้ำ เป็นช่วงเริ่มต้นของการต่อท่อไอน้ำเข้าตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ที่ยังมีอุณหภูมิใกล้เคียงสภาพอากาศปกติ จากนั้นไอน้ำที่ต่อเข้าไปในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จะทำให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เป็นที่สังเกตในชั่วโมงที่ 2-3 อุณหภูมิภายในตู้นึ่งก้อนเชื้อเห็ดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยอุณหภูมิด้านบนจะสูงกว่าด้านล่างของตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดในช่วงอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนถึงชั่วโมงที่ 7 ระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดสูงถึง 70 องศาเซลเซียส และทำการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต่อไปเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาที่เกษตรกรนิยมในการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด โดยอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบน เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่จะเพิ่มขึ้นไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส อาจเป็นเพราะตู้นึ่งที่ใช้ในการทดสอบมีรอยรั่วตามประตูที่ปิดไม่สนิท แต่อย่างไรก็ตาม เตาอินฟราเรดผลิตไอน้ำสามารถทำให้เกิดไอน้ำต่อเนื่องเข้าตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจนสิ้นสุดการทดลอง โดยระยะเวลาผลิตไอน้ำทั้งหมด 8:40 ชั่วโมง และระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งก้อนเชื้อเห็ดสูงสุดที่ 79 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มจุดเตาจนสิ้นสุดการทดลอง 11 ชั่วโมง หลังจากสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง จะอยู่ในช่วง 5.50-6.00 กิโลกรัม และทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ 38.00-39.50 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.2 การศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน

รายการวิเคราะห์ผล	การทดลองที่			เฉลี่ย
	1	2	3	
ปริมาณแก๊ส LPG เชื้อเพลิง(กิโลกรัม)	6.00	5.50	5.50	5.67
ปริมาณน้ำในหม้อต้ม(กิโลกรัม)	100.00	100.00	100.00	100.00
อุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	28.00	30.00	30.00	25.00
อุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มสูงสุด(องศาเซลเซียส)	101.00	101.00	100.00	100.67
อุณหภูมิในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดเริ่มต้น(องศาเซลเซียส)	29	30	30	29.67
อุณหภูมิในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดสูงสุด(องศาเซลเซียส)	78	79	78	78.33
ระยะเวลาที่เกิดไอน้ำ(ชั่วโมง)	8.30	8.50	8.40	8.40
ระยะเวลาในการเผาทั้งหมด(ชั่วโมง)	11.00	11.00	11.00	11.00
ปริมาณน้ำที่ระเหย(กิโลกรัม)	38.00	39.50	38.5	38.67
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(%)	38.65	43.09	42.12	41.29
อัตราการผลิตไอน้ำ(กิโลกรัม/ชั่วโมง)	4.58	4.65	4.58	4.60
อัตราการใช้เชื้อเพลิง(กิโลกรัม/ชั่วโมง)	0.55	0.50	0.50	0.52

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน (ตารางที่ 4.2) การใช้ปริมาณเชื้อเพลิง LPG ในช่วง 5.50-6.00 กิโลกรัม หรือเฉลี่ยที่ 5.67 กิโลกรัม การต้มน้ำที่บรรจุภายในเตาอินฟราเรดในปริมาณ 100 กิโลกรัม ตั้งแต่จุดไฟหน้าเตาอินฟราเรด ทำให้เกิดความร้อนกับน้ำที่บรรจุภายในเตา จนทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ต้มเพิ่มสูงสุดเฉลี่ยถึง 100.67 องศา

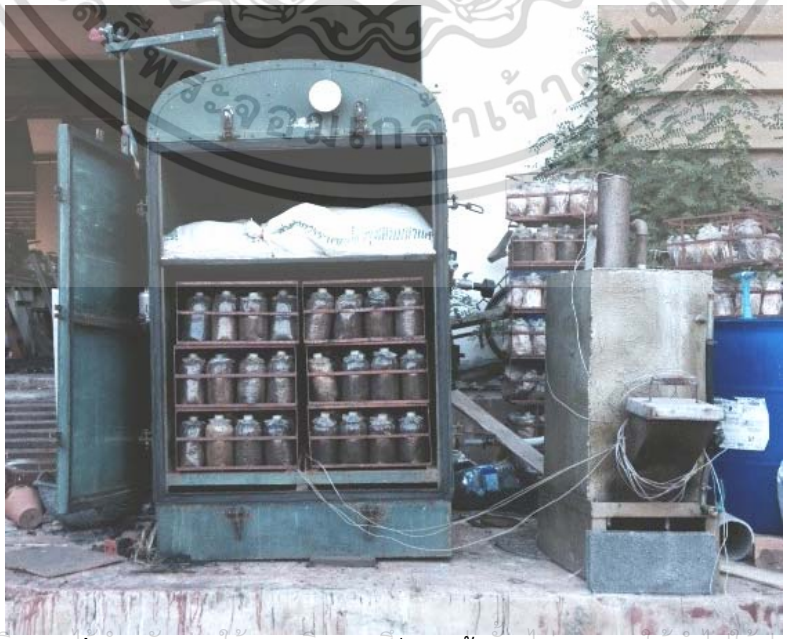
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลเซียส และน้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำตั้งแต่ 2 ชั่วโมง อย่างต่อเนื่อง พุ่งออกจากท่อไอน้ำเข้าตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ได้เป็นเวลากนานเฉลี่ย 8:40 ชั่วโมง ซึ่งความร้อนจากอินฟราเรดในการต้มน้ำให้เดือนกลายเป็นไอ ทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำเข้าตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดเฉลี่ย 38.67 กิโลกรัม โดยอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดที่นึ่งด้วยไอน้ำเพิ่มขึ้นถึง 79 องศาเซลเซียส และเกิดไอน้ำต่อเนื่องในการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง ซึ่งเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงในผลิตไอน้ำเฉลี่ย 41.29 เปอร์เซ็นต์ อัตราการผลิตไอน้ำ 4.60 กิโลกรัม/ชั่วโมง และอัตราการใช้เชื้อเพลิง LPG 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง

จากการศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน ทำให้ได้เทคโนโลยีผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ประหยัด แล้วยังมีความสะดวกในการใช้งานวัสดุเชื้อเพลิงในการดำเนินการสามารถหาได้ง่าย โดยเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน ใช้เชื้อเพลิง LPG เพียง 5.67 กิโลกรัม ในการต้มน้ำปริมาณ 100 กิโลกรัม ทำให้อุณหภูมิน้ำที่ต้มภายในเตาอินฟราเรดสูงถึง 100.67 องศาเซลเซียส จนน้ำกลายไปไอในระยะเวลา 2:30 ชั่วโมง และทำให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดมีระดับสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 7 ชั่วโมง และยาวนานต่อถึงไปถึง 4 ชั่วโมง โดยใช้ระยะเวลาในการสอบนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดทั้งหมด 11 ชั่วโมง แล้วยังอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำเพียง 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดังนั้น เตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน สามารถผลิตไอน้ำได้ระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดสูงสุด 79 องศาเซลเซียส

4.2.2 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน

การดำเนินการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน โดยการแบ่งครึ่งตู้นึ่ง 500 ก้อน (ดังภาพที่ 4.7) แล้วทำการทดสอบ ณ ตึกเจ้าคุณทหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยดำเนินการทดลองเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งใช้ระยะเวลา 1 วัน มีแสงแดดตลอดทั้งวัน อุณหภูมิอากาศประมาณ 34 องศาเซลเซียส แสดงการดำเนินการทดสอบและข้อมูลการทดลองในภาคผนวก ค และวิเคราะห์ผลได้ดังตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.7 เตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อนทั้ง 3 การทดลอง เริ่มจากเติมน้ำเข้าเตาจำนวน 60 กิโลกรัม เพื่อให้น้ำในเตาร้อนและเดือดกลายเป็นไอน้ำได้เร็วขึ้น พร้อมกับการต่อท่อไอน้ำเข้าตู้นึ่งเชื้อก้อนเห็ด แล้วประกอบชุดเตาแก๊สอินฟราเรด ติดตั้งใต้เตาตรงห้องเผาไหม้ให้เกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำภายในท่อ และทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปอร์ ตามตำแหน่งต่างๆ ภายในเตา ได้แก่ หน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา ท่อไอน้ำ เป็นต้น ภายในตู้นึ่ง ได้แก่ ด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบน เป็นต้น จากนั้นต่อสายหัววัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องวัดบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ ทำการจุดเตา พร้อมกับเริ่มบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ แต่ละการทดลองอภิปรายผล ดังนี้

การทดลองที่ 1 เริ่มทดลองตอนเช้าเวลา 10:00 น. โดยทำการเติมน้ำในเตา 60 กิโลกรัม ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ มีอุณหภูมิ 34 36 32 และ 46 องศาเซลเซียส ส่วนภายในตู้นึ่งเชื้อก้อนเห็ดด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบน มีระดับอุณหภูมิ 34 34 และ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ การทดลองดำเนินผ่านไปเป็นเวลา 1:20 ชั่วโมง สังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากปากท่อไอน้ำ โดยระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงถึง 938 136 100 และ 98 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบน มีอุณหภูมิ 36 36 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งไอน้ำพุ่งออกจากปลายท่อไอน้ำเพิ่มมากเรื่อย ๆ และมีไอน้ำพุ่งออกมาเป็นระยะๆ เมื่อเวลาผ่านไป 7:00 ชั่วโมง ระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงขึ้น 918 141 100 และ 100 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบนเพิ่มสูงขึ้นที่ 80 80 และ 81 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 11 ชั่วโมง จากนั้นทำหยุดจ่ายแก๊สเพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้ พักเตาไว้นานประมาณ 12 ชั่วโมง จึงทำการชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดปริมาณน้ำที่เหลือภายในเตาต้มน้ำ ซึ่งได้ใช้แก๊สปริมาณ 5.50 กิโลกรัม และน้ำ 18.00 กิโลกรัม

การทดลองที่ 2 เริ่มทดลองตอนเช้าเวลา 10:00 น. โดยทำการเติมน้ำในเตา 60 กิโลกรัม ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ มีอุณหภูมิ 33 33 30 และ 41 องศาเซลเซียส ส่วนภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบน มีระดับอุณหภูมิ 32 33 และ 34 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ การทดลองดำเนินผ่านไปเป็นเวลา 1:30 ชั่วโมง สังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากปากท่อไอน้ำ โดยระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงถึง 904 104 101 และ 100 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบน มีอุณหภูมิ 39 38 และ 44 องศาเซลเซียส ซึ่งไอน้ำพุ่งออกจากปลายท่อไอน้ำเพิ่มมากเรื่อย ๆ และมีไอน้ำพุ่งออกมาเป็นระยะๆ เมื่อเวลาผ่านไป 7:10 ชั่วโมง ระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงขึ้น 667 101 100 และ 100 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบนเพิ่มสูงขึ้นที่ 80 80 และ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 11 ชั่วโมง จากนั้นทำหยุดจ่ายแก๊สเพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้ พักเตาไว้นานประมาณ 12 ชั่วโมง จึงทำการชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดปริมาณน้ำที่เหลือภายในเตาต้มน้ำ ซึ่งได้ใช้แก๊สปริมาณ 6.00 กิโลกรัม และน้ำ 20.00 กิโลกรัม

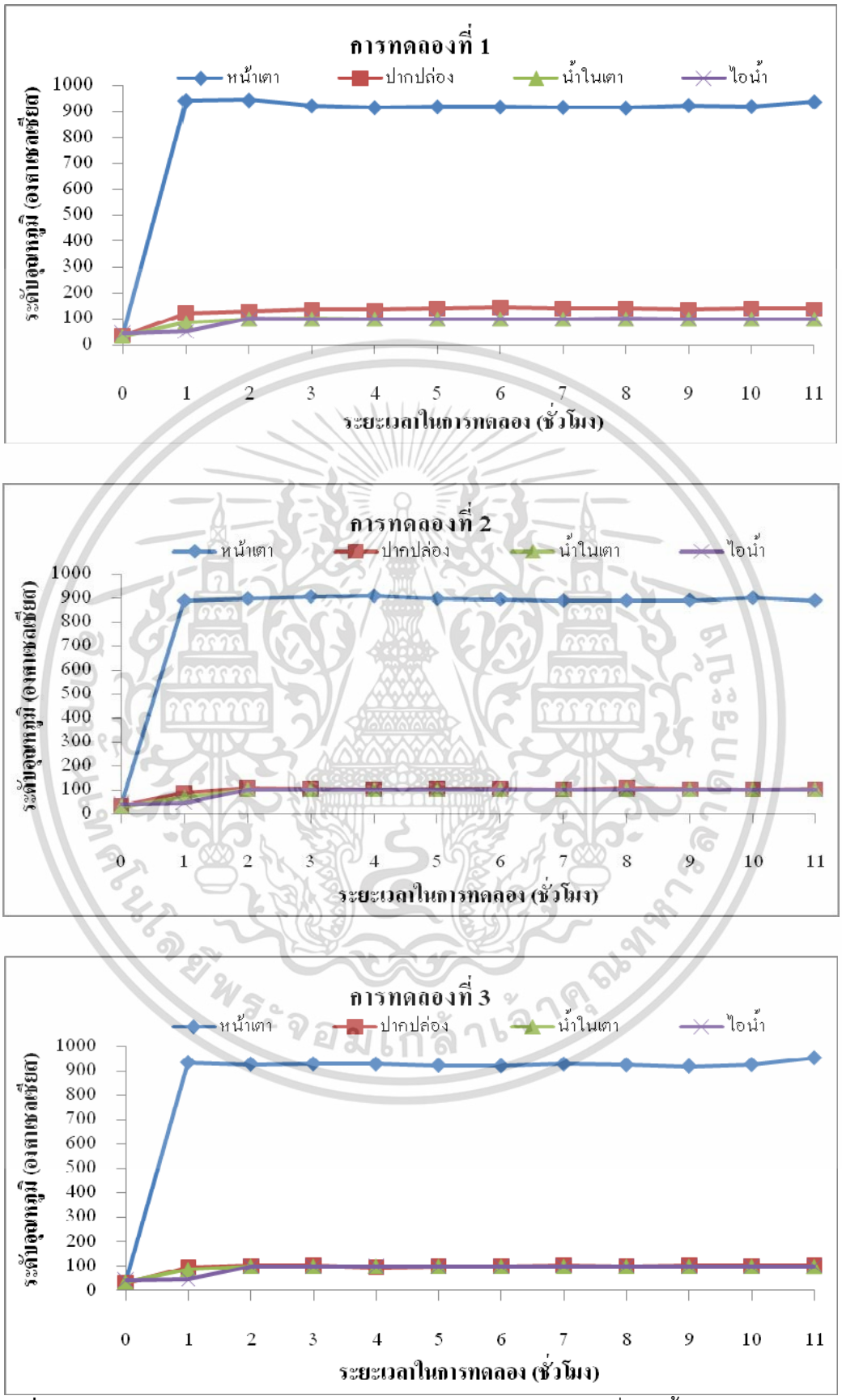
การทดลองที่ 3 เริ่มทดลองตอนเช้าเวลา 9:30 น. โดยทำการเติมน้ำในเตา 60 กิโลกรัม ขณะเริ่มทำการทดลอง ณ หน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ มีอุณหภูมิ 34 33 37 และ 43 องศาเซลเซียส ส่วนภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้านล่าง ตรงกลาง และด้านบน มีระดับอุณหภูมิ 38 39 และ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยๆ การทดลองดำเนินผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปเป็นเวลา 1:20 ชั่วโมง สังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากปากท่อไอน้ำ โดยระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงถึง 934 102 101 และ 100 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบน มีอุณหภูมิ 39 39 และ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งไอน้ำพุ่งออกจากปลายท่อไอน้ำเพิ่มมากเรื่อย ๆ และมีไอน้ำพุ่งออกมาเป็นระยะๆ เมื่อเวลาผ่านไป 6:50 ชั่วโมง ระดับอุณหภูมิหน้าเตา ปากปล่อง น้ำในเตา และไอน้ำ เพิ่มสูงขึ้น 927 103 100 และ 101 องศาเซลเซียส ส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดบริเวณด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบนเพิ่มสูงขึ้นที่ 84 80 และ 82 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 11 ชั่วโมง จากนั้นทำหยุดจ่ายแก๊สเพื่อหยุดกระบวนการเผาไหม้ พักเตาไว้นานประมาณ 12 ชั่วโมง จึงทำการชั่งน้ำหนักแก๊สและวัดปริมาณน้ำที่เหลือภายในเตาต้มน้ำ ซึ่งได้ใช้แก๊สปริมาณ 5.50 กิโลกรัม และน้ำ 17.00 กิโลกรัม

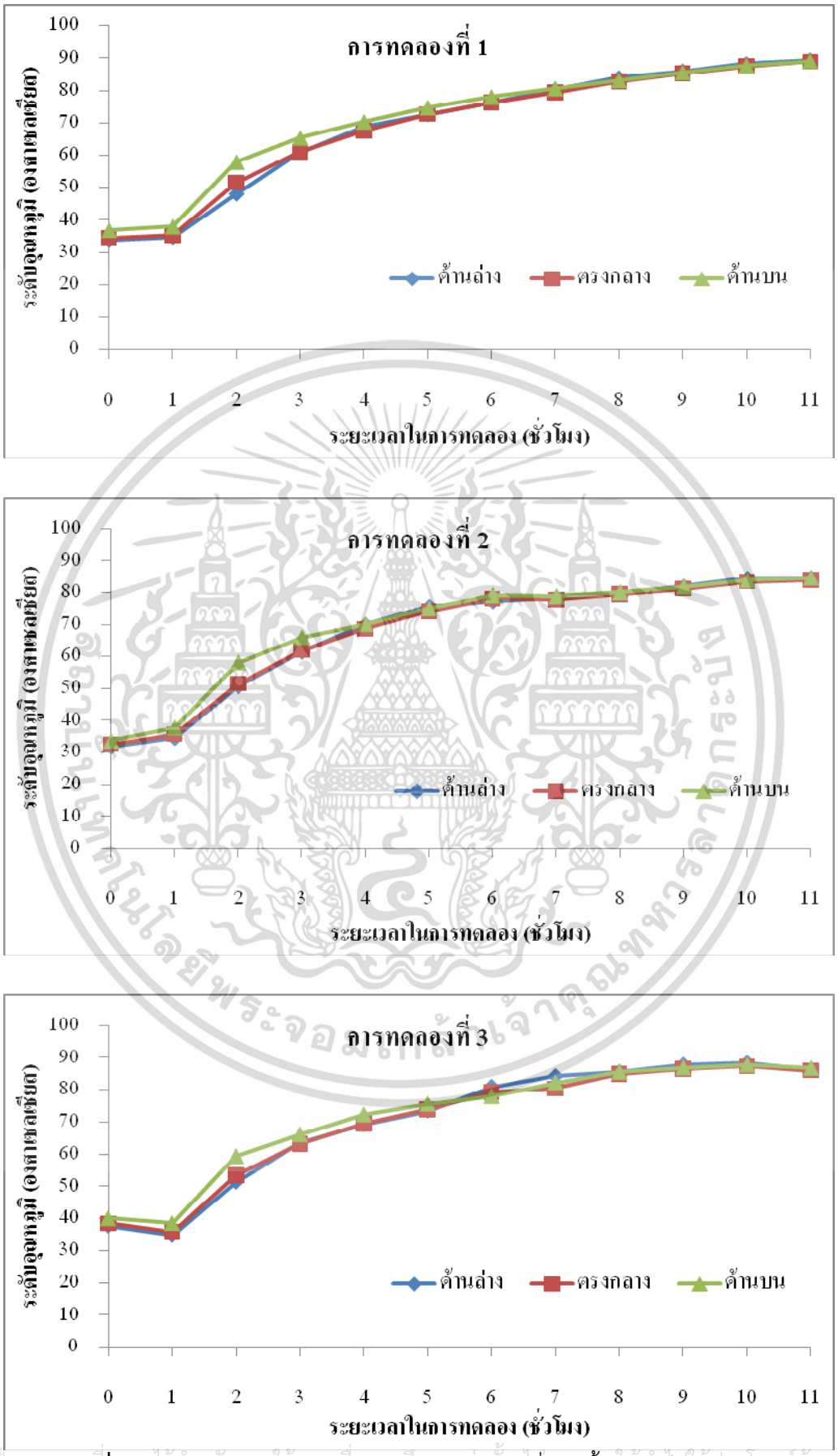
จากผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน ทั้ง 3 การทดลอง ด้วยการเติมน้ำเข้าเตาผลิตไอน้ำ 60 กิโลกรัม เพื่อให้น้ำในเตาร้อนและเดือดกลายเป็นไอน้ำได้เร็วขึ้น เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิเตาอินฟราเรดและภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ตั้งแต่การจุดไฟหน้าเตาหัวอินฟราเรด เริ่มกระบวนการเผาไหม้ให้ความร้อนในการต้มน้ำ ทำให้อุณหภูมิของน้ำภายในเตาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็นไอ โดยอุณหภูมิน้ำภายในเตาอินฟราเรดจะสูงถึง 100 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1:23 ชั่วโมง เริ่มสังเกตเห็นไอน้ำลอยออกจากท่อไอน้ำ ซึ่งมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นช่วงเริ่มต้นของการต่อท่อไอน้ำเข้าตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ที่ยังมีอุณหภูมิใกล้เคียงสภาพอากาศปกติ จากนั้นไอน้ำที่ต่อเข้าไปในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จะทำให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เป็นที่สังเกตในชั่วโมงที่ 1-2 อุณหภูมิภายในตู้นึ่งก้อนเชื้อเห็ดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยอุณหภูมิด้านบนจะสูงกว่า ตรงกลาง ด้านล่างของตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ระดับอุณหภูมิอยู่ในช่วง 50-60 องศาเซลเซียส และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนถึงชั่วโมงที่ 5 ระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดสูงถึง 70 องศาเซลเซียส และทำการนึ่งต่อเนื่องจนสิ้นสุดระยะเวลาการทดลองเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เนื่องจากการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 3-4 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาที่เกษตรกรนิยมในการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด โดยอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ด้านล่าง ตรงกลาง ด้านบน เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มค่อนข้างใกล้เคียงกัน จนใกล้เคียงกับระดับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส อาจเป็นเพราะตู้นึ่งที่ใช้ในการทดสอบมีรอยรั่วตามประตูที่ปิดไม่สนิท แต่อย่างไรก็ตาม เตาอินฟราเรดผลิตไอน้ำ สามารถทำให้เกิดไอน้ำต่อเนื่องเข้าตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจนสิ้นสุดการทดลอง โดยระยะเวลาผลิตไอน้ำทั้งหมด 9:27 ชั่วโมง และระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งก้อนเชื้อเห็ดสูงสุดที่ 90 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มจุดเตาจนสิ้นสุดการทดลอง 11 ชั่วโมง หลังจากสิ้นสุดการทดลองทำการชั่งน้ำหนักแก๊ส LPG ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง จะอยู่ในช่วง 5.50-6.00 กิโลกรัม และทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ 40.00-43.50 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ระดับอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 288 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ระดับอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 288 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน

รายการวิเคราะห์ผล	การทดลองที่			เฉลี่ย
	1	2	3	
ปริมาณแก๊ส LPG เชื้อเพลิง(กิโลกรัม)	5.50	6.00	5.50	5.67
ปริมาณน้ำในหม้อต้ม(กิโลกรัม)	60.00	60.00	60.00	60.00
อุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	36.00	33.00	33.00	34.00
อุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มสูงสุด(องศาเซลเซียส)	101.00	101.00	101.00	101.00
อุณหภูมิในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดเริ่มต้น(องศาเซลเซียส)	34	32	38	34.67
อุณหภูมิในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดสูงสุด(องศาเซลเซียส)	90	85	88	87.67
ระยะเวลาที่เกิดไอน้ำ(ชั่วโมง)	9.40	9.30	9.10	9.27
ระยะเวลาในการเผาทั้งหมด(ชั่วโมง)	11.00	11.00	11.00	11.00
ปริมาณน้ำที่ระเหย(กิโลกรัม)	42.00	40.00	43.00	41.67
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(%)	40.28	35.67	41.37	39.10
อัตราการผลิตไอน้ำ(กิโลกรัม/ชั่วโมง)	4.47	4.30	4.73	4.50
อัตราการใช้เชื้อเพลิง(กิโลกรัม/ชั่วโมง)	0.50	0.55	0.50	0.52

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน (ตารางที่ 4.3) การใช้ปริมาณเชื้อเพลิง LPG ในช่วง 5.50-6.00 กิโลกรัม หรือเฉลี่ยที่ 5.67 กิโลกรัม การต้มน้ำที่บรรจุภายในเตาอินฟราเรดในปริมาณ 60 กิโลกรัม ตั้งแต่จุดไฟหน้าเตาอินฟราเรด ทำให้เกิดความร้อนกับน้ำที่บรรจุภายในเตา จนทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ต้มเพิ่มสูงสุดเฉลี่ยถึง 101.00 องศาเซลเซียส และน้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำตั้งแต่ 1 ชั่วโมง อย่างต่อเนื่อง พุ่งออกจากท่อไอน้ำเข้าตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด ได้เป็นเวลากนานเฉลี่ย 9:27 ชั่วโมง ซึ่งความร้อนจากอินฟราเรดในการต้มน้ำให้เดือนกลายเป็นไอ ทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำเข้าตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดเฉลี่ย 41.67 กิโลกรัม โดยอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดที่นึ่งด้วยไอน้ำเพิ่มขึ้นถึง 90 องศาเซลเซียส และเกิดไอน้ำต่อเนื่องในการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง ซึ่งเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงในผลิตไอน้ำเฉลี่ย 39.10 เปอร์เซ็นต์ อัตราการผลิตไอน้ำ 4.50 กิโลกรัม/ชั่วโมง และอัตราการใช้เชื้อเพลิง LPG 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง

จากการศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน ทำให้ได้เทคโนโลยีผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ประหยัด แล้วยังมีความสะดวกในการใช้งานวัสดุเชื้อเพลิงในการดำเนินการสามารถหาได้ง่าย โดยเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน ใช้เชื้อเพลิง LPG เพียง 5.67 กิโลกรัม ในการต้มน้ำปริมาณ 60 กิโลกรัม ทำให้อุณหภูมิน้ำที่ต้มภายในเตาอินฟราเรดสูงถึง 101.00 องศาเซลเซียส จนน้ำกลายไปไอในระยะเวลา 1:23 ชั่วโมง และทำให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดมีระดับสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 9.27 ชั่วโมง และยาวนานต่อถึงไปถึง 6 ชั่วโมง โดยใช้ระยะเวลาในการสอบนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดทั้งหมด 11 ชั่วโมง แล้วยังอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำเพียง 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดังนั้น เตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน สามารถผลิตไอน้ำได้ระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดสูงสุด 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 500 และ 288 ก้อน

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 500 และ 288 ก้อน (ตารางที่ 4.4) โดยขนาดบรรจุก้อนเชื้อเห็ดเต็มตู้นึ่งจำนวน 500 ก้อน ส่วนการบรรจุเชื้อเห็ดจำนวน 288 ก้อน บรรจุเพียงครึ่งตู้นึ่งและทำผนังกัน เพื่อลดขนาดการบรรจุและควบคุมให้มีปริมาณของตู้นึ่งให้เล็กลง กับการทดลองต้มน้ำด้วยเตาอินฟราเรดจำนวน 100 กิโลกรัม และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 11 ชั่วโมงเท่ากัน พบว่า ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ในการต้มน้ำปริมาณเท่ากัน 5.67 กิโลกรัม หรือมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง เนื่องจากควบคุมการจ่ายแก๊สเชื้อเพลิงด้วยชุดควบคุมในปริมาณทำเท่ากับให้ทั้ง 2 การทดลองใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเท่ากัน โดยระดับอุณหภูมิที่หัวเตาอินฟราเรดยังมีระดับที่ใกล้เคียงกันประมาณ 900 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิปากปล่องเตา 100-150 องศาเซลเซียส โดยมีแนวโน้วคงที่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 จนถึงสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งระดับอุณหภูมิน้ำในเตาและไอน้ำใกล้เคียงกันประมาณ 100 องศาเซียส โดยการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 500 ก้อน จะใกล้เคียงกันในชั่วโมงที่ 3 เป็นต้นไป ส่วนการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 288 ก้อน จะใกล้เคียงกันในตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 เป็นต้นไป เนื่องจากปริมาณการเติมน้ำในเตาของการทดลอง 288 ก้อน น้อยกว่า 500 ก้อน จำนวน 60 กิโลกรัม และ 100 กิโลกรัม ทำให้น้ำในการทดลอง 280 ก้อน น้ำในเตาอินฟราเรดเดือดกลายเป็นไอน้ำได้เร็วกว่า

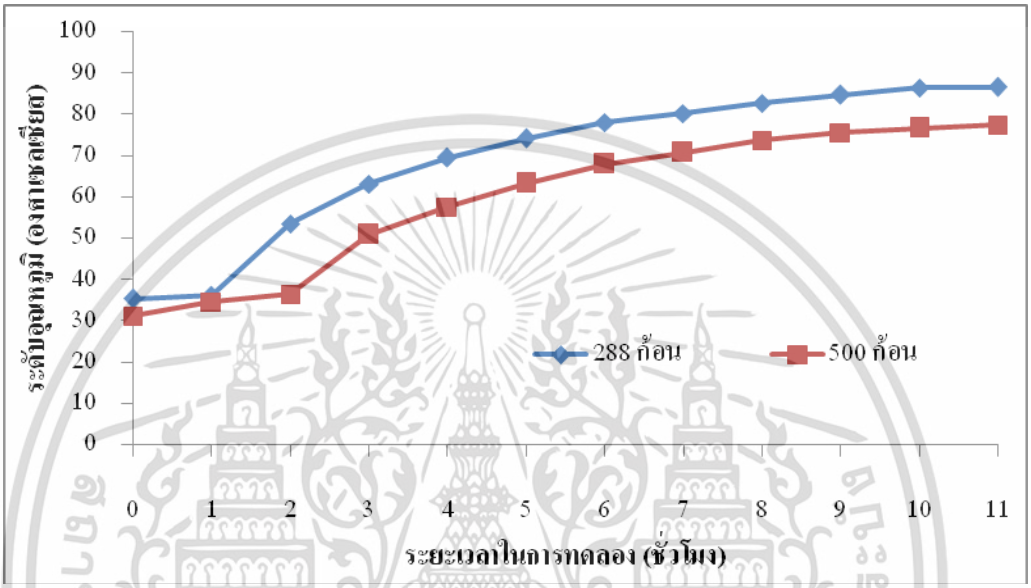
หากพิจารณาจำนวนการเติมน้ำในเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งก้อนเชื้อเห็ด ควรเติมจำนวน 60 กิโลกรัม น่าเพียงพอในการผลิตไอน้ำนึ่งก้อนเชื้อเห็ด เนื่องจากมีน้ำภายในเตาเดือนในระยะเวลา 2 ชั่วโมง และระยะเวลาน้ำเดือนกลายเป็นไอ 9.27 ชั่วโมง โดยที่ปริมาณน้ำที่ระเหย 41.67 กิโลกรัม ทำให้ยังมีน้ำเหลือในเตาอินฟราเรดจำนวน 18.33 กิโลกรัม หลังสิ้นสุดการทดลอง

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 500 และ 288 ก้อน

รายการวิเคราะห์ผล	จำนวนก้อนเชื้อเห็ด (ก้อน)	
	500	288
ปริมาณแก๊ส LPG เชื้อเพลิง(กิโลกรัม)	5.67	5.67
ปริมาณน้ำในหม้อต้ม(กิโลกรัม)	100.00	60.00
อุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มเริ่มต้น(องศาเซลเซียส)	25.00	34.00
อุณหภูมิของน้ำในหม้อต้มสูงสุด(องศาเซลเซียส)	100.67	101.00
อุณหภูมิในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดเริ่มต้น(องศาเซลเซียส)	29.67	34.67
อุณหภูมิในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดสูงสุด(องศาเซลเซียส)	78.33	87.67
เวลาเกิดไอน้ำชั่วโมงที่	2:20	1:23
ระยะเวลาที่เกิดไอน้ำ(ชั่วโมง)	8.40	9.27
ระยะเวลาในการเผาทั้งหมด(ชั่วโมง)	11.00	11.00
ปริมาณน้ำที่ระเหย(กิโลกรัม)	38.67	41.67
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(%)	41.29	39.10
อัตราการผลิตไอน้ำ(กิโลกรัม/ชั่วโมง)	4.60	4.50
อัตราการใช้เชื้อเพลิง(กิโลกรัม/ชั่วโมง)	0.52	0.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตไอน้ำของเตาอินฟราเรดที่ 4.50 กิโลกรัม/ชั่วโมง ยังสามารถต้มน้ำผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเชื้อเห็ดได้อีกไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง โดยจะเหลือน้ำภายในเตา 9.33 กิโลกรัม เพิ่มระยะเวลาในการผลิตไอน้ำได้ไม่น้อยกว่า 11 ชั่วโมง ดังนั้น เตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งก้อนเชื้อเห็ดที่ออกแบบและสร้าง จึงสามารถผลิตไอน้ำได้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 11 ชั่วโมง จากการเติมน้ำจำนวน 60 กิโลกรัม โดยน้ำจะเดือดกลายเป็นไอในเวลา 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 500 และ 288 ก้อน

เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้นึ่งก้อนเชื้อเห็ด (ภาพที่ 4.10) จะสอดคล้องกับระยะเวลาในการเกิดไอน้ำชั่วโมงที่ 2 และ ชั่วโมงที่ 3 ของจำนวนก้อน 288 ก้อน และ 500 ก้อน ตามลำดับ มีการเพิ่มของอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องไปในทิศทางเดียวกัน แต่อุณภูมิภายในตู้นึ่งจำนวน 288 ก้อน มีระดับสูงกว่าจำนวน 500 ก้อน ทั้งนี้เนื่องจากห้องบรรจุก้อนเชื้อเห็ดมีขนาดเล็ก การศูนย์เสียความร้อน หรือการรั่วไหลของไอน้ำที่บริเวณประตูตู้นึ่งอาจจะน้อยกว่า ประกอบกับอัตราผลิตไอน้ำเหมาะกับกับปริมาตรของตู้นึ่ง ดังนั้น เตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งก้อนเชื้อเห็ดที่ออกแบบและสร้าง จึงเหมาะสมกับการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดขนาด 280 ก้อน โดยมีระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส

จากออกแบบและสร้างเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งก้อนเชื้อเห็ด สามารถต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอในเวลา 2 ชั่วโมง ผลิตไอน้ำได้ต่อเนื่องกว่า 9 ชั่วโมง ทำให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดขนาด 280 ก้อน โดยมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินการศึกษาวิจัยพัฒนาออกแบบและเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล ได้ดังนี้

5.1 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

ผลการออกแบบและสร้างเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ ได้ออกแบบและจัดสร้างเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดขึ้น โดยมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ ส่วนเตาแก๊สอินฟราเรด เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ส่วนห้องเผาไหม้เป็นส่วนที่นำความร้อนที่เกิดขึ้น ไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับผนังเตารอบนอก จนทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอ และส่วนห้องกำเนิดไอน้ำ เป็นภาชนะที่บรรจุน้ำอยู่ด้านบนเตาแก๊สอินฟราเรด ลักษณะของเตาแก๊สอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ จะมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมทรงกระบอกมีความสูง 80 เซนติเมตร กว้าง 40 เซนติเมตร มีผนังชั้นนอกและชั้นในแยกกัน โดยระหว่างผนังมีน้ำบรรจุอยู่ภายในโดยรอบ ระหว่างผนังด้านในกับด้านนอกของเตา ส่วนด้านล่างมีท่อน้ำขนาด 2 นิ้ว เชื่อมต่อระหว่างผนังทั้ง 2 ข้าง จากด้านซ้ายไปด้านขวาจำนวน 3 เส้น โดยผลการทดสอบเตาอินฟราเรด สำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ พบว่า สามารถต้มน้ำ 50 กิโลกรัม ให้เดือดกลายเป็นไอได้ภายใน 1.13 ชั่วโมง ผลิตไอน้ำได้นานเป็นเวลากว่า 5.43 ชั่วโมง ทำให้อุณหภูมิน้ำสูงถึง 100.33 องศาเซลเซียส และสามารถผลิตไอน้ำได้ปริมาณ 25.17 กิโลกรัม หรือ มีอัตราการผลิตไอน้ำเฉลี่ย 4.63 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยใช้แก๊สเพียง 3.67 กิโลกรัม และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 0.52 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 39.46 เปอร์เซ็นต์

5.2 ผลการศึกษาทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด

การศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด เพื่อทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดที่ออกแบบและสร้างขึ้น กับใช้ไอน้ำที่ผลิตได้ในการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดที่บรรจุภายในตู้นึ่ง สรุปผลได้ดังนี้

การศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน พบว่า ใช้เชื้อเพลิง LPG เพียง 5.67 กิโลกรัม ซึ่งสามารถต้มน้ำในปริมาณ 100 กิโลกรัม ทำให้อุณหภูมิน้ำที่ต้มสูงถึง 100.67 องศาเซลเซียส จนน้ำกลายไปไอในระยะเวลา 2:30 ชั่วโมง และทำให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดมีระดับสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 7 ชั่วโมง และยาวนานต่อถึงไปถึง 4 ชั่วโมง โดยใช้ระยะเวลาในการเผาทั้งหมด 11 ชั่วโมง แล้วยังอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำเพียง 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง สามารถผลิตไอน้ำได้ระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดสูงสุด 79 องศาเซลเซียส

การศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน พบว่า ใช้เชื้อเพลิง LPG เพียง 5.67 กิโลกรัม ในการต้มน้ำปริมาณ 60 กิโลกรัม ทำให้อุณหภูมิน้ำที่ต้มภายในเตาอินฟราเรดสูงถึง 101.00 องศาเซลเซียส จนน้ำกลายไปไอในระยะเวลา 1:23 ชั่วโมง และทำให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดมีระดับสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 9.27 ชั่วโมง และยาวนานต่อถึงไปถึง 6 ชั่วโมง โดยใช้ระยะเวลาในการสอบนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดทั้งหมด 11 ชั่วโมง แล้วยังอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำเพียง 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง สามารถผลิตไอน้ำได้ระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดสูงสุด 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด 500 และ 288 ก้อน พบว่า ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ในการต้มน้ำใช้ปริมาณเท่ากัน 5.67 กิโลกรัม และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยอุณหภูมิที่หัวเตาอินฟราเรดมีระดับใกล้เคียงกันประมาณ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งทำอุณหภูมิน้ำในเตาและไอน้ำใกล้เคียงกันประมาณ 100 องศาเซียส โดยการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 288 ก้อน เติมน้ำจำนวน 60 กิโลกรัม ทำให้เตาอินฟราเรดต้มน้ำกลายเป็นไอได้เร็ว ในระยะเวลา 1:23 ชั่วโมง และน้ำเดือนกลายเป็นไอนาน 9.27 ชั่วโมง ซึ่งอัตราการผลิตไอน้ำของเตาอินฟราเรดที่ 4.50 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยมีระดับอุณหภูมิภายในตู้นึ่งสูงถึง 90 องศาเซลเซียส

ดังนั้น การออกแบบและสร้างเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งก้อนเชื้อเห็ด สามารถต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอในเวลา 1:23 ชั่วโมง ผลิตไอน้ำได้ต่อเนื่องกว่า 9 ชั่วโมง ทำให้อุณหภูมิภายในตู้นึ่งสูงถึง 90 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดขนาด 280 ก้อน โดยมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG 0.52 กิโลกรัม/ชั่วโมง

5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งก้อนเชื้อเห็ด ซึ่งการออกแบบและสร้างยังข้อบกพร่องที่ควรปรับปรุงพัฒนาในหลายด้าน และการผลิตไอน้ำของเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งก้อนเชื้อเห็ดที่ใช้ได้ผลในเบื้องต้นนั้น แต่ยังต้องมีการศึกษาวิจัยพัฒนาเพิ่มเติมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนี้

1.ศึกษาวิจัยขนาดหัวเตาอินฟราเรดให้เหมาะสมกับปริมาณไอน้ำที่ต้องการในการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด

2.ศึกษาพัฒนาวัสดุและขนาดเตาอินฟราเรดที่เหมาะสมกับจำนวนก้อนเห็ดที่เพิ่มมากขึ้น

3.ศึกษาพัฒนาตู้นึ่งก้อนเชื้อเห็ดที่เหมาะสมกับเตาอินฟราเรดผลิตไอน้ำ

4.ศึกษาวิจัยวัสดุทำตู้นึ่งก้อนเชื้อเห็ดเพื่อให้เก็บความร้อนได้ดีขึ้นและเกิดการสูญเสียความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

การทำเชื้อและเพาะเห็ดในถุงพลาสติก. 2551. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://loei.doae.go.th/nonghin/OLDNEW/hid.htm

ข้อมูลเห็ดขอนขาว เห็ดบด. 2551 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.school.net.th/library/webcontest2003/100team/dlbs004/kaomonhed.htm#4.

ชยพร แอคะรัจน์. 2551. “การเพาะเห็ดแต่ละชนิด” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก www.geocities.com/university2u/ .

ชาญยุทธ์ ภานุทัต นงนุช แตงทรัพย์ และสมชาย ไทยทัตกุล. 2540. การศึกษาการเพาะเห็ดฟางโดยใช้ก้อนเห็ดที่ทิ้งแล้ว. 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

ธนิตย์ เรืองรุ่งชัยกุล. 2545. การพัฒนาเตาเพื่อผลิตไอน้ำสำหรับการเพาะเห็ดฟางในโรงเรือน.รายงานการวิจัย ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

บรรณ บูรณะชนบท. 2537. คู่มือเพาะเห็ด. เพ็ท-แพล้น พับลิชชิ่ง. เทพพิทักษ์. กรุงเทพฯ. 280 หน้า

ปัญญา โพธิ์ฐิติรัตน์ และกิตติพงษ์ ศิริวานิชกุล. 2537. เทคโนโลยีการเพาะเห็ด. พิมพ์รั่วเขียว. วี.พี.บุ๊ คเซนเตอร์. กรุงเทพฯ. 421 หน้า

มารู้จักเห็ดกันเถอะ. 2551.[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://nutty007.multiply.com/journal

วิโรจน์. 2551. “เครื่องอบรังไหมด้วยเตาแก๊สอินฟราเรด” รายงานวิจัย ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา

สมคิด สลัดยะนันท์. 2550. “หม้อไอน้ำ” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.oraclechem.com/

สมชาย ไทยทัตกุล. 2543. สตีมพึ่งตนเอง ใน วารสารเทคโนโลยีชาวบ้าน ปีที่ 11 (ก.ย.). หน้า 10

เสกสรร สีหวงษ์. 2541. การใช้น้ำมันเครื่องเก่าเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเกษตรกร. ข่าวสารศูนย์เครื่องจักรกลเกษตรแห่งชาติ. 11(เม.ย.-มิ.ย.). หน้า 6

Afzal, T.M. and Abe. 1998. “Diffusion in Potato during Far Infrared Radiation Drying,” Journal of Food Engineering. 37 : 353-365.

Fellows P. 1990. Food proceesing technology : principles and practice. 1st 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.

Ozisik M. Necati. 1985. Heat Transfer : a basic approach. 1st ed. Singapore: McGraw-Hill.

Ratti C, Mujumdar A.S. 1995. Handbook of industrial drying. VOLUME 1. 2nd ed. New York: Marcel Dekker.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Soponronnarit, S. and others. 1992. “Optimum Strategies for Drying Papaya Glace,”ASEAN Food Journal. 7 : 17-22.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
การทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

การทดลองที่	ปริมาณแก๊ส (กก.)	ปริมาณน้ำในถังต้ม (กก.)	ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น (ตามนาฬิกา : น.)			ปริมาณน้ำที่เหลือในถังต้ม (กก.)	ระยะเวลาในการเกิดไอน้ำ (ชม.)	ระยะเวลาในการเผาทั้งหมด (ชม.)
			เริ่มจุดเตา	เกิดไอน้ำ	เวลาปิดเตา			
1	4.00	50.00	12:25	13:45	19:25	23.50	5:40	7:00
2	3.50	50.00	10:10	11:20	17:10	26.00	5:50	7:00
3	3.50	50.00	11:00	12:20	18:00	25.00	5:40	7:00
เฉลี่ย	3.67	50.00	-	-	-	24.83	5:45	7:00

ตารางที่ ก.2 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ การทดลองที่ 1

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	ไอน้ำ	น้ำในเตา		เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	ไอน้ำ	น้ำในเตา
12:25	30	30	29	30	30		17:55	31	637	174	106	100
12:35	30	629	110	33	40		18:05	31	614	176	106	100
12:45	31	625	123	35	46		18:15	31	613	175	106	100
12:55	31	618	138	39	54		18:25	31	622	179	106	100
13:05	31	636	147	43	61		18:35	31	629	176	107	100
13:15	31	608	152	52	70		18:45	31	630	177	107	100
13:25	31	630	160	61	79		18:55	31	641	178	107	100
13:35	31	630	162	77	89		19:05	31	653	179	107	100
13:45	31	630	155	100	100		19:15	31	616	181	107	100
13:55	32	628	154	100	100		19:25	30	639	182	107	100
14:05	31	629	152	100	100							
14:15	32	622	153	100	100							
14:25	31	609	154	100	100							
14:35	32	626	148	100	100							
14:45	32	601	152	100	100							
14:55	31	605	150	100	100							
15:05	31	610	150	100	100							
15:15	31	601	155	100	100							
15:25	32	608	154	100	100							
15:35	32	625	154	100	100							
15:45	32	616	155	100	100							
15:55	31	622	158	100	100							
16:05	31	616	158	101	100							
16:15	31	616	159	101	100							
16:25	32	612	159	101	100							
16:35	31	612	162	102	100							
16:45	31	611	167	102	100							
16:55	31	604	168	103	100							
17:05	31	618	173	103	100							
17:15	31	620	171	103	100							
17:25	31	622	170	104	100							
17:35	31	598	174	104	100							
17:45	31	624	175	104	100							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ การทดลองที่ 2

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	ไอน้ำ	น้ำในเตา		เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	ไอน้ำ	น้ำในเตา
10:10	29	29	30	29	30		15:40	29	681	147	105	100
10:20	29	689	85	31	39		15:50	29	678	150	106	100
10:30	29	688	100	34	49		16:00	29	680	151	106	100
10:40	30	674	111	37	59		16:10	29	676	151	107	100
10:50	30	672	120	39	69		16:20	29	693	151	107	100
11:00	30	684	125	50	79		16:30	30	664	152	107	100
11:10	31	673	130	63	88		16:40	30	675	153	108	100
11:20	31	682	135	80	96		16:50	29	661	153	108	100
11:30	32	684	130	100	100		17:00	30	628	148	108	100
11:40	31	660	131	100	100		17:10	29	559	144	107	100
11:50	32	687	130	100	100							
12:00	32	687	130	100	100							
12:10	32	676	130	100	100							
12:20	32	657	130	100	101							
12:30	32	677	129	100	101							
12:40	32	669	128	100	100							
12:50	32	666	129	100	101							
13:00	32	678	129	100	101							
13:10	32	676	131	100	100							
13:20	32	682	133	101	101							
13:30	32	666	135	101	100							
13:40	32	679	139	102	100							
13:50	33	661	141	103	100							
14:00	33	677	140	103	100							
14:10	32	656	143	103	100							
14:20	33	684	142	104	100							
14:30	33	673	145	104	100							
14:40	32	689	146	104	100							
14:50	32	664	144	105	100							
15:00	30	683	136	104	100							
15:10	29	655	138	104	100							
15:20	29	671	142	104	100							
15:30	28	679	143	104	100							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ระโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ การทดลองที่ 3

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	ไอน้ำ	น้ำในเตา		เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	ไอน้ำ	น้ำในเตา
11:00	27	27	27	24	28		16:30	30	624	146	102	100
11:10	27	593	79	27	37		16:40	30	623	148	102	100
11:20	27	608	95	30	47		16:50	30	649	147	102	100
11:30	28	633	103	32	57		17:00	30	638	147	103	100
11:40	28	642	110	34	66		17:10	30	628	147	103	100
11:50	28	636	119	41	75		17:20	30	649	148	103	100
12:00	29	637	126	52	83		17:30	30	640	148	103	100
12:10	29	644	129	60	91		17:40	30	636	148	103	100
12:20	29	632	134	83	98		17:50	30	642	148	104	100
12:30	29	637	131	100	100		18:00	30	637	149	104	100
12:40	30	632	131	100	100							
12:50	30	620	130	100	100							
13:00	30	622	131	100	100							
13:10	30	613	133	100	100							
13:20	30	629	135	100	100							
13:30	30	634	137	101	100							
13:40	30	628	137	101	100							
13:50	30	617	139	101	100							
14:00	30	613	139	101	100							
14:10	30	634	139	101	100							
14:20	30	643	137	101	100							
14:30	30	645	139	101	100							
14:40	30	646	141	101	100							
14:50	30	624	141	101	100							
15:00	30	625	143	102	100							
15:10	30	630	142	102	100							
15:20	30	618	144	102	100							
15:30	30	645	141	102	100							
15:40	30	635	141	102	100							
15:50	30	632	141	102	100							
16:00	30	625	141	102	100							
16:10	30	629	144	102	100							
16:20	30	647	144	102	100							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.1 การเตรียมการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

ภาพที่ ก.2 การเริ่มดำเนินการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.3 ลักษณะไอน้ำที่เกิดขึ้น การทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
การทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน

การทดลองที่	ปริมาณแก๊ส (กก.)	ปริมาณน้ำในถังต้ม (กก.)	ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น (ตามนาฬิกา : น.)			ปริมาณน้ำที่เหลือในถังต้ม (ลิตร)	ระยะเวลาในการเกิดไอน้ำ (ชม.)	ระยะเวลาในการเผาทั้งหมด (ชม.)
			เริ่มจุดเตา	เกิดไอน้ำ	เวลาปิดเตา			
1	6.00	100.00	7:00	9:30	18:00	62.00	8:30	11:00
2	5.50	100.00	9:00	11:10	20:00	60.50	8:50	11:00
3	5.50	100.00	9:00	11:20	20:00	61.50	8:40	11:00
เฉลี่ย	5.67	100.00	-	-	-	61.33	8:40	11:00

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ ข.2 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จำนวน 500 ก้อน การทดลองที่ 1

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
7:00	29	26	26	28	26	29	29	29
7:10	29	982	102	33	27	28	28	29
7:20	29	999	107	39	28	29	30	30
7:30	30	1002	112	45	28	29	30	30
7:40	30	1003	120	51	29	30	31	31
7:50	30	1005	124	57	30	30	31	32
8:00	30	1000	128	63	31	30	31	33
8:10	31	1006	132	68	32	31	32	35
8:20	31	1002	140	74	32	31	32	35
8:30	31	1004	143	79	33	31	32	37
8:40	31	1000	145	83	34	31	32	37
8:50	31	799	142	88	36	31	33	38
9:00	31	993	141	91	36	31	33	38
9:10	32	999	145	95	35	31	33	37
9:20	31	999	144	99	36	32	33	37
9:30	32	995	146	99	99	33	36	42
9:40	32	991	146	99	99	36	43	46
9:50	34	990	148	100	100	38	45	49
10:00	32	982	148	100	100	41	46	51
10:10	32	973	144	100	100	42	47	50
10:20	32	987	143	100	100	43	48	51
10:30	31	986	147	100	100	46	50	53
10:40	33	980	146	100	100	45	50	52
10:50	33	976	145	100	100	47	51	55
11:00	34	969	146	100	100	48	53	54
11:10	33	976	147	100	100	50	54	55
11:20	34	970	147	100	100	51	56	56
11:30	34	973	147	100	100	51	56	57
11:40	35	979	149	100	100	53	57	58
11:50	35	976	145	100	100	53	57	58
12:00	33	986	147	100	100	56	59	60
12:10	34	984	148	100	100	57	60	61
12:20	36	990	149	100	100	58	61	62
12:30	35	978	150	100	100	58	61	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน การทดลองที่ 1 (ต่อ)

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
12:40	35	990	148	100	100	59	62	63
12:50	35	992	148	100	100	61	64	65
13:00	35	992	148	100	100	62	65	65
13:10	35	973	149	100	100	63	66	66
13:20	35	985	146	100	100	64	66	67
13:30	35	985	145	100	100	65	67	67
13:40	35	994	147	100	100	66	68	68
13:50	35	993	147	100	100	67	68	69
14:00	35	1000	148	100	100	67	68	69
14:10	35	974	153	100	100	67	69	70
14:20	35	990	148	100	100	69	70	71
14:30	35	998	145	100	100	70	71	72
14:40	34	996	145	100	100	70	71	72
14:50	34	1001	149	101	100	71	72	73
15:00	34	1000	147	100	100	71	72	73
15:10	35	992	147	100	100	71	73	73
15:20	33	998	143	100	100	72	73	74
15:30	33	1003	150	101	100	73	74	74
15:40	33	978	146	100	100	72	73	74
15:50	33	960	149	100	100	73	74	74
16:00	34	971	149	100	100	74	74	75
16:10	33	976	146	100	100	74	74	75
16:20	33	974	149	100	100	74	75	76
16:30	33	959	149	100	100	74	75	76
16:40	32	979	147	100	100	75	75	76
16:50	32	977	149	101	100	75	76	76
17:00	32	977	149	100	100	75	76	76
17:10	33	978	147	100	100	75	76	76
17:20	32	979	147	100	100	76	76	77
17:30	32	968	147	100	100	76	76	77
17:40	31	971	150	100	100	76	77	77
17:50	32	977	149	100	100	76	77	77
18:00	31	970	148	100	100	77	77	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จำนวน 500 ก้อน การทดลองที่ 2

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
9:00	30	31	32	30	31	30	32	34
9:10	31	945	76	36	33	31	33	35
9:20	31	926	81	42	35	31	33	37
9:30	31	914	89	48	36	31	33	37
9:40	31	921	91	54	37	31	33	37
9:50	32	906	97	60	42	32	34	39
10:00	31	928	98	66	41	33	35	41
10:10	32	917	103	71	42	32	35	41
10:20	32	920	105	77	44	33	35	42
10:30	32	915	108	82	40	33	35	41
10:40	32	942	110	86	44	33	35	42
10:50	32	927	128	91	45	34	36	43
11:00	32	914	130	96	44	34	37	44
11:10	34	863	136	100	100	34	37	44
11:20	33	910	133	100	100	39	45	49
11:30	33	884	135	100	100	42	49	51
11:40	33	919	136	100	101	44	50	52
11:50	34	929	134	101	101	46	52	54
12:00	35	753	136	100	100	47	53	54
12:10	35	787	135	100	100	49	54	56
12:20	34	778	132	101	100	51	56	57
12:30	34	774	135	101	101	52	57	58
12:40	35	819	133	101	101	53	58	59
12:50	34	845	132	101	101	55	59	60
13:00	35	815	133	100	100	55	60	61
13:10	34	870	132	101	101	57	60	62
13:20	34	845	134	100	101	59	62	63
13:30	34	852	135	100	100	59	62	63
13:40	34	859	134	101	101	60	63	64
13:50	34	829	133	100	100	61	64	65
14:00	36	794	135	100	100	62	65	66
14:10	36	819	135	100	101	64	66	67
14:20	35	786	132	100	100	64	66	67
14:30	36	776	133	100	100	65	67	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน การทดลองที่ 2 (ต่อ)

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
14:40	34	814	132	100	100	66	67	68
14:50	34	806	131	100	100	66	68	69
15:00	33	845	133	100	100	67	69	69
15:10	34	798	132	100	100	68	69	70
15:20	33	827	132	100	100	68	69	70
15:30	33	851	131	100	100	69	70	71
15:40	33	841	133	100	100	69	70	71
15:50	33	823	132	100	100	69	70	71
16:00	34	799	132	100	100	70	71	72
16:10	33	822	132	100	100	70	71	72
16:20	33	860	131	100	100	71	72	72
16:30	33	802	132	100	100	71	72	73
16:40	32	875	134	100	100	71	72	73
16:50	33	795	132	100	100	72	72	73
17:00	33	776	133	100	100	72	73	74
17:10	33	831	130	100	100	73	73	74
17:20	32	770	134	100	100	73	74	75
17:30	32	775	134	100	100	74	74	75
17:40	32	815	131	100	100	74	75	76
17:50	32	788	134	100	100	74	75	76
18:00	31	813	132	100	100	75	76	76
18:10	31	825	132	100	100	75	76	76
18:20	31	802	131	100	100	76	76	77
18:30	31	799	133	100	100	76	77	77
18:40	31	822	132	100	100	76	77	77
18:50	31	793	132	100	100	77	77	78
19:00	31	821	133	100	100	77	78	78
19:10	31	779	135	100	100	77	78	78
19:20	31	803	133	100	100	78	78	78
19:30	31	809	133	100	100	78	78	79
19:40	31	817	133	100	100	78	79	79
19:50	30	811	133	100	100	79	79	80
20:00	30	808	133	100	100	79	79	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จำนวน 500 ก้อน การทดลองที่ 3

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
9:00	28	30	30	30	29	31	32	35
9:10	29	976	84	35	30	31	33	36
9:20	29	978	88	41	31	31	33	36
9:30	31	973	117	47	32	31	33	37
9:40	30	971	123	52	34	32	34	38
9:50	31	963	132	59	36	32	34	41
10:00	30	966	131	64	34	32	35	41
10:10	30	964	138	69	37	32	34	41
10:20	31	957	142	74	39	33	35	42
10:30	31	957	142	79	38	33	35	42
10:40	31	948	149	84	36	33	35	42
10:50	31	954	152	88	37	34	36	43
11:00	32	952	153	92	37	34	36	43
11:10	31	937	158	96	38	35	46	44
11:20	32	945	157	100	100	42	45	46
11:30	31	950	159	100	100	47	50	52
11:40	34	946	154	100	100	49	54	55
11:50	32	933	157	100	100	51	55	56
12:00	33	942	161	100	100	53	57	58
12:10	34	938	156	100	99	54	59	59
12:20	34	941	155	100	100	56	59	60
12:30	35	926	161	99	99	56	59	60
12:40	34	936	161	100	100	58	62	63
12:50	34	932	160	99	99	59	62	63
13:00	35	927	157	99	99	60	63	64
13:10	36	925	158	99	99	61	64	65
13:20	35	928	159	100	100	62	65	66
13:30	35	924	161	100	99	63	66	66
13:40	35	920	163	100	99	64	66	67
13:50	35	929	161	100	100	65	67	68
14:00	35	926	160	100	99	66	68	69
14:10	36	923	161	100	99	67	68	69
14:20	34	929	160	100	100	68	70	70
14:30	35	924	159	100	100	68	70	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน การทดลองที่ 3 (ต่อ)

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
14:40	35	917	166	100	100	69	70	72
14:50	35	919	160	100	99	69	71	72
15:00	37	922	159	100	99	71	72	72
15:10	35	918	158	100	100	71	72	73
15:20	36	921	161	100	100	72	73	74
15:30	34	917	163	100	100	73	74	74
15:40	35	925	161	100	100	73	74	75
15:50	35	919	160	100	100	74	74	75
16:00	34	946	159	100	100	73	73	74
16:10	34	951	159	100	100	74	75	75
16:20	34	947	161	100	100	74	75	75
16:30	34	949	166	100	100	75	76	76
16:40	33	945	165	100	100	75	76	76
16:50	33	942	162	100	100	75	76	76
17:00	33	945	162	100	100	76	76	77
17:10	33	945	165	100	100	75	76	76
17:20	32	941	167	100	100	76	76	77
17:30	32	940	167	100	100	76	76	77
17:40	32	937	164	100	100	76	77	77
17:50	33	942	160	100	100	77	77	78
18:00	32	940	164	100	100	77	78	78
18:10	32	935	165	100	100	77	78	78
18:20	32	936	161	100	100	77	78	78
18:30	31	958	167	100	100	77	78	78
18:40	32	932	162	100	100	77	77	78
18:50	31	924	166	100	100	77	77	78
19:00	32	953	161	100	100	76	77	77
19:10	31	841	146	100	100	76	76	77
19:20	31	931	168	100	100	76	77	77
19:30	31	895	158	100	100	76	76	77
19:40	31	841	153	100	100	75	76	76
19:50	31	931	161	100	100	76	76	77
20:00	31	895	161	100	100	76	77	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ข.1 การเตรียมการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน

ภาพที่ ข.2 การเริ่มทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ข.3 การไอน้ำต่อเข้าตู้นึ่งในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 500 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
การทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการศึกษาเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน

การทดลองที่	ปริมาณแก๊ส (กก.)	ปริมาณน้ำในถังต้ม (กก.)	ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น (ตามนาฬิกา : น.)			ปริมาณน้ำที่เหลือในถังต้ม (ลิตร)	ระยะเวลาในการเกิดไอน้ำ (ชม.)	ระยะเวลาในการเผาทั้งหมด (ชม.)
			เริ่มจุดเตา	เกิดไอน้ำ	เวลาปิดเตา			
1	5.50	60.00	10:00	11:20	21:00	18.00	9:40	11:00
2	6.00	60.00	10:00	11:30	21:00	20.00	9:30	11:00
3	5.50	60.00	9:30	10:50	20:30	17.00	9:10	11:00
เฉลี่ย	5.67	60.00	-	-	-	18.33	9:27	11:00

ตารางที่ ค.2 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จำนวน 288 ก้อน การทดลองที่ 1

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
10:00	36	34	36	32	46	34	34	37
10:10	36	890	101	44	50	34	35	38
10:20	37	904	108	52	50	34	35	38
10:30	37	945	114	60	51	34	35	38
10:40	36	923	120	70	49	35	35	38
10:50	35	929	129	79	48	34	35	38
11:00	36	943	122	86	52	35	35	38
11:10	36	953	130	94	55	36	36	39
11:20	37	938	136	100	98	36	36	40
11:30	37	937	132	100	100	50	44	51
11:40	38	944	133	101	101	49	47	54
11:50	37	948	129	100	100	47	49	56
12:00	37	945	129	100	100	48	52	58
12:10	36	929	136	101	100	53	54	60
12:20	36	923	137	100	100	55	56	61
12:30	36	930	136	100	100	56	57	62
12:40	37	924	133	100	100	58	58	63
12:50	37	935	132	100	100	58	60	65
13:00	36	923	135	100	100	61	61	65
13:10	36	924	135	100	100	64	63	67
13:20	36	922	136	100	100	64	64	67
13:30	36	935	135	100	100	62	65	68
13:40	36	919	136	100	100	66	66	69
13:50	36	919	135	100	100	68	67	70
14:00	36	917	135	100	100	69	68	70
14:10	36	920	133	100	100	70	69	71
14:20	36	920	134	100	100	70	70	72
14:30	36	926	135	100	100	70	70	73
14:40	36	926	136	100	100	70	71	73
14:50	35	922	140	100	100	70	72	74
15:00	35	920	139	100	100	73	73	75
15:10	35	928	127	100	100	72	73	75
15:20	35	922	138	100	100	74	74	76
15:30	35	928	139	100	100	75	75	76

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จำนวน 288 ก้อน การทดลองที่ 1 (ต่อ)

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
15:40	34	922	143	100	100	75	76	77
15:50	35	930	138	100	100	76	76	77
16:00	34	919	145	100	100	76	76	78
16:10	34	910	147	100	100	77	77	78
16:20	33	908	145	100	100	76	77	79
16:30	33	912	143	100	100	78	78	79
16:40	34	911	141	100	100	79	78	80
16:50	33	910	141	100	100	80	79	80
17:00	33	918	141	100	100	80	80	81
17:10	33	919	140	100	100	81	80	81
17:20	34	921	141	100	100	81	81	82
17:30	33	919	142	100	100	82	81	82
17:40	33	914	141	100	100	83	82	82
17:50	32	905	149	100	100	82	82	83
18:00	33	915	141	100	100	84	83	83
18:10	32	920	142	100	100	84	83	84
18:20	33	921	139	100	100	84	84	84
18:30	32	927	139	100	100	85	84	85
18:40	33	923	138	100	100	85	84	85
18:50	32	924	139	100	100	86	85	85
19:00	33	925	136	100	100	86	85	86
19:10	32	924	138	100	100	87	86	86
19:20	32	926	136	100	100	87	86	87
19:30	32	919	137	100	100	88	87	87
19:40	32	926	136	100	100	88	87	87
19:50	32	930	137	100	100	88	87	87
20:00	32	921	140	100	100	88	88	88
20:10	32	927	138	100	100	88	88	88
20:20	32	931	137	100	100	89	88	88
20:30	32	930	137	100	100	88	88	88
20:40	32	939	137	100	100	89	89	89
20:50	32	931	141	100	100	90	89	89
21:00	32	938	138	100	100	90	89	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จำนวน 288 ก้อน การทดลองที่ 2

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
10:00	33	33	33	30	41	32	33	34
10:10	34	872	75	41	44	35	36	37
10:20	35	872	82	50	45	34	35	37
10:30	35	890	82	55	46	35	36	38
10:40	35	887	87	60	46	34	35	37
10:50	34	893	81	65	47	35	36	38
11:00	35	889	89	69	46	35	36	38
11:10	34	878	95	74	49	35	36	38
11:20	35	889	108	99	85	35	36	38
11:30	36	904	104	101	100	39	38	44
11:40	35	897	110	101	100	47	46	53
11:50	36	895	107	101	100	49	49	56
12:00	35	898	109	101	100	51	52	58
12:10	37	905	102	101	101	49	53	59
12:20	37	902	105	101	100	55	55	61
12:30	36	900	105	101	100	55	57	62
12:40	36	899	108	100	100	59	59	63
12:50	35	899	108	100	100	61	61	65
13:00	36	907	104	101	101	61	62	66
13:10	36	901	103	101	101	62	64	67
13:20	34	893	112	101	100	62	64	68
13:30	35	904	102	101	100	65	65	69
13:40	35	907	92	101	100	63	66	69
13:50	35	907	102	101	100	69	68	70
14:00	36	909	102	100	100	70	69	70
14:10	35	905	104	100	100	70	70	71
14:20	35	904	105	100	100	72	71	72
14:30	35	902	105	100	100	73	71	73
14:40	36	898	106	100	100	74	72	74
14:50	35	903	106	100	100	74	73	75
15:00	35	898	105	100	100	76	74	75
15:10	35	890	113	100	100	76	75	76
15:20	36	901	104	100	100	77	76	77
15:30	35	888	110	100	100	77	76	78

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จำนวน 288 ก้อน การทดลองที่ 2 (ต่อ)

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
15:40	35	897	104	100	100	79	77	78
15:50	35	890	107	100	100	79	78	79
16:00	35	896	106	100	100	77	78	79
16:10	34	893	106	100	100	76	77	78
16:20	34	891	105	100	100	75	76	77
16:30	34	884	105	100	100	73	75	76
16:40	33	855	104	100	100	75	75	76
16:50	33	807	101	100	100	77	77	78
17:00	33	893	100	100	100	78	78	79
17:10	32	904	101	100	100	80	80	80
17:20	32	893	104	100	100	80	80	80
17:30	32	890	110	100	100	80	80	81
17:40	32	887	104	100	100	81	80	81
17:50	31	899	107	100	100	80	80	81
18:00	31	890	108	100	100	80	80	80
18:10	31	895	103	100	100	80	80	80
18:20	32	904	100	100	100	80	80	80
18:30	31	904	102	100	100	81	80	81
18:40	31	904	102	100	100	81	80	81
18:50	31	900	103	100	100	82	81	81
19:00	31	892	103	100	100	82	81	82
19:10	30	899	103	100	100	83	82	82
19:20	30	902	103	100	100	84	82	83
19:30	31	905	102	100	100	84	83	83
19:40	30	899	107	100	100	83	83	84
19:50	30	903	101	100	100	84	83	84
20:00	31	902	101	100	100	84	83	84
20:10	30	900	103	100	100	84	84	84
20:20	30	895	103	100	100	85	84	84
20:30	30	898	102	100	100	85	84	84
20:40	30	892	104	100	100	85	84	84
20:50	30	894	103	100	100	85	84	85
21:00	30	890	103	100	100	85	84	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จำนวน 288 ก้อน การทดลองที่ 3

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
9:30	33	34	33	37	43	38	39	40
9:40	33	920	75	41	45	34	35	37
9:50	34	909	84	50	46	34	35	38
10:00	34	911	88	60	47	34	36	38
10:10	35	937	91	70	48	34	35	38
10:20	34	921	93	79	46	35	36	39
10:30	33	933	94	87	46	35	36	39
10:40	35	931	98	95	63	35	36	39
10:50	34	934	102	101	100	39	39	45
11:00	34	929	101	101	100	44	46	53
11:10	35	918	104	101	100	49	49	56
11:20	35	926	105	100	100	53	52	58
11:30	35	927	102	100	100	51	53	59
11:40	34	929	96	100	100	51	55	61
11:50	35	906	107	101	100	57	57	62
12:00	35	922	100	100	100	57	58	63
12:10	35	922	102	100	100	59	59	64
12:20	35	916	102	100	100	61	61	65
12:30	34	928	102	100	100	63	63	66
12:40	35	927	101	100	100	66	65	67
12:50	35	913	106	100	100	68	65	68
13:00	36	904	108	100	100	68	67	69
13:10	35	922	99	100	100	68	68	71
13:20	34	925	98	100	100	68	69	72
13:30	34	927	96	100	100	69	70	72
13:40	34	933	94	100	101	69	71	73
13:50	34	927	96	100	101	70	71	74
14:00	34	933	99	100	100	73	72	74
14:10	34	933	96	100	100	72	73	75
14:20	34	924	88	100	101	72	73	75
14:30	34	922	101	100	100	73	74	76
14:40	34	925	98	100	100	75	75	76
14:50	35	922	102	100	101	78	76	77
15:00	35	924	102	100	101	78	77	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ระดับอุณหภูมิ (^{O}C) ณ ตำแหน่งๆ ในการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน การทดลองที่ 3 (ต่อ)

เวลา (น.)	อากาศ	หน้าเตา	ปากปล่อง	น้ำในเตา	ไอน้ำ	ด้านล่าง	ตรงกลาง	ด้านบน
15:10	34	926	103	100	101	80	78	78
15:20	35	911	104	100	101	80	79	78
15:30	35	920	101	100	101	81	79	78
15:40	35	928	101	100	101	81	79	79
15:50	35	920	104	100	101	82	79	79
16:00	35	916	104	100	101	82	79	79
16:10	35	915	106	100	101	83	79	79
16:20	35	919	102	100	101	83	79	80
16:30	35	927	103	100	101	84	80	82
16:40	34	927	104	100	101	84	84	84
16:50	35	918	104	100	101	85	84	84
17:00	34	915	104	100	101	86	84	85
17:10	34	953	96	100	101	84	84	85
17:20	33	907	107	100	101	86	85	85
17:30	34	924	100	100	101	86	85	86
17:40	33	921	102	100	101	86	85	86
17:50	33	938	101	100	100	86	85	86
18:00	33	911	103	100	101	87	86	86
18:10	32	911	106	100	101	87	86	87
18:20	32	909	105	100	100	87	86	87
18:30	32	919	103	100	100	88	87	87
18:40	32	925	100	100	100	87	87	87
18:50	31	913	107	100	101	88	87	87
19:00	31	920	104	100	101	87	87	87
19:10	31	927	102	100	101	88	87	88
19:20	31	921	103	100	101	88	87	88
19:30	31	925	102	100	101	88	87	88
19:40	31	939	100	100	101	87	87	88
19:50	31	937	99	100	101	86	87	87
20:00	31	940	103	100	101	86	86	87
20:10	31	930	100	100	101	86	86	87
20:20	31	949	101	100	101	87	86	87
20:30	31	952	102	100	101	86	86	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ค.1 การเตรียมการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน

ภาพที่ ค.2 การดำเนินการทดสอบเตาอินฟราเรดสำหรับนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ดจำนวน 288 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้