

การทดสอบสมรรถนะของหม้อน้ำร้อนยิ่งยวด PERFORMANCE TESTING OF SUPERHEATED STEAM BOILER FOR STERILIZING MUSHROOM PROPAGATION BAG

สาธิต รุ่งฤดีสมบัติกิจ และ อุบลรัตน์ วาริชวัฒนะ
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Satit Rungrudesombatkit and Ubonrat Warichwattana
Department of Industrial Engineering Technology, Faculty of Engineering,
Kasem Bundit University. 1761 Pattanakarn Rd., Suanluang, Bangkok 10250

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง สำหรับการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเชื้อเห็ด หลักการของหม้อไอน้ำนี้จะอาศัยการต้มน้ำในปริมาณน้อย เพื่อทำให้เกิดไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยออกแบบให้ภายในห้องเผาไหม้มีชุดท่อวงกลมเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน และออกแบบให้นำความร้อนทั้งจากแก๊สไอเสียมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในห้องอุ่นน้ำป้อนเข้าหม้อน้ำ จากการทดสอบสมรรถนะหม้อไอน้ำโดยต่อไอน้ำเข้ากับถัง 200 ลิตร พบว่า หม้อไอน้ำสามารถกำเนิดไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีอัตราการผลิตไอน้ำ 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 1.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพ 42.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดลองนำก้อนเชื้อเห็ดที่ได้จากหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวด ไปเปิดดอกเห็ดและรดน้ำในโรงเรือนที่เตรียมไว้ พบว่า ก้อนเชื้อเห็ดออกดอกทุกก้อน หรือเปอร์เซ็นต์ก้อนเชื้อเห็ดเสียเป็นศูนย์

คำสำคัญ: หม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวด, การนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเชื้อเห็ด, สมรรถนะ

ABSTRACT

This research aims to test superheated steam boiler performance using liquefied petroleum gas as a fuel for sterilizing mushroom propagation bag. Principles of boiler relies on a small amount of boiling water to make superheated steam temperature. The room is designed to burn a coiled pipe circle to increase the heat exchange surface area and designed to save fuel by using waste heat from the exhaust gas to heat the water in the hot water fed into the

boiler. Performance testing of the boiler by the steam pipe to the tank 200 liters, the boiler can generate steam at a temperature of 150 °C steam production rate of 10 kg per hour with fuel consumption of 1.4 kg per hour and efficiency of 42.20%. When taken mushroom propagation bag from the boiler to cultivate and watering in the house prepared. The results showed that mushroom bloom every bag or the lump was zero percent.

KEYWORDS: Superheated Steam Boiler, Sterilizing Mushroom Propagation Bag, Performance Testing

1. บทนำ

ปัจจุบันอาชีพเพาะเห็ดเป็นอาชีพที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากสามารถทำได้ตลอดทั้งปี อุตสาหกรรมเห็ดจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวทั่วโลกมีผลผลิตเห็ดมากกว่า 2 ล้านตันต่อปี [1] ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตเห็ดได้รวม 120,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 7,014 ล้านบาท [2] ส่วนวิธีการเพาะเห็ดโดยส่วนมากจะนิยมเพาะเห็ดในถุงพลาสติก เนื่องจากมีเห็ดหลายชนิดที่เพาะในถุงพลาสติก เช่น เห็ดขอน เห็ดบด (ลม) เห็ดหูหนู เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า เห็ดเป๋าฮื้อ เป็นต้น ในขั้นตอนการเพาะเห็ดในถุงพลาสติก เมื่อผสมขี้เลื่อยและอาหารของเห็ดให้เข้ากันดีแล้วตามสัดส่วนที่กำหนด จึงบรรจุลงในถุงพลาสติกและปิดปากถุงเพื่อป้องกันไอน้ำเข้าก่อนเชื้อเห็ดในขั้นตอนการนึ่ง การนึ่งเพื่อฆ่าเชื้อเห็ด/ราที่มีอยู่ตามธรรมชาติด้วยหม้อต้มไอน้ำ ก่อนที่จะนำไปเพาะเลี้ยงให้มีการขยายของเส้นใยจนกลายเป็นผลผลิตของดอกเห็ด ในหมู่บ้านท้องถิ่นของประเทศ ประชาชนทั่วไปมีอาชีพทำไร่ ทำนา บางส่วนมีการตั้งกลุ่มเพื่อประกอบอาชีพเสริมการเพาะเห็ดชนิดต่าง ๆ เป็นอีกอาชีพหนึ่งซึ่งมีกลุ่มแม่บ้าน กลุ่มเกษตรกรจำนวนมากดำเนินการทำอาชีพเพาะเห็ดเพื่อเป็นอาชีพเสริม การเพาะเห็ดในถุงจำเป็นต้องมีกระบวนการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดเพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อนที่จะนำเชื้อเห็ดไปบรรจุในถุงเพื่อเพาะเลี้ยงต่อไป เตาหนึ่งก้อนเชื้อเห็ดแบบเดิมที่มีอยู่จะสิ้นเปลืองปริมาณเชื้อเพลิง และระยะเวลาในการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดนาน [3] จากการศึกษารายงาน [4] ซึ่งทำการนึ่งเชื้อเห็ดจำนวน 220 ก้อน ใช้เวลารวม 5.5 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อเพลิงไม้พินยูคาลิปตัส 92 กิโลกรัม การนึ่งก้อนเชื้อเห็ดด้วยเตาแบบลูกทุ่ง 90-100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 3 ชั่วโมง นับจากอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และความร้อนที่ให้อย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรที่เพาะเห็ดถุง จะใช้เวลาหนึ่งฆ่าเชื้อนาน 8-12 ชั่วโมง ขึ้นกับความต่อเนื่องของการดูแลการเติมฟืน จะเห็นได้ว่าระยะเวลาหนึ่งก้อนเชื้อเห็ดที่ยาวนานก่อให้เกิดความสิ้นเปลืองพลังงานเป็นจำนวนมาก และยังทำให้เกิดความยุ่งยากในการดูแลและเสี่ยงต่อความเสียหายได้ หากนึ่งก้อนเชื้อเห็ดที่ไม่สุก เมื่อนำมาหยอดเชื้อเห็ดจะทำให้เชื้อเห็ดไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ [5] อุณหภูมิที่จะทำให้เชื้อหรือสิ่งมีชีวิตทุกรูปแบบตายได้อย่างหมดจด ต้องใช้อุณหภูมิที่ 121 องศาเซลเซียส

นานอย่างน้อย 15 นาที หม้อหนึ่งก้อนเชื้อเห็ดรูปแบบต่าง ๆ ที่มีมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ยังไม่มีเตาหนึ่งใดฆ่าเชื้อปนเปื้อนได้อย่างหมดจดนั่นเอง ด้วยเหตุผลนี้ เราจึงได้เห็นข้อความประมาณว่า “เปอร์เซ็นต์ก้อนเสียจากการนึ่งที่ยอมรับได้คือ ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์” ปรากฏอยู่ในตารางเพาะเห็ดทั่ว ๆ ไป ทั้งที่ความจริงเราสามารถลดเปอร์เซ็นต์ก้อนเสียได้ถึงพันละศูนย์ ที่เป็นเช่นนั้นก็เพราะที่ผ่านมา คนในวงการเห็ดต่างยอมรับกับการนึ่งและฝังใจเชื่อว่าหากไม่ใช้แรงดันช่วยแล้วจะทำอุณหภูมิสูงได้เพียงแค่ 100 องศาเซลเซียส [6] กล่าวคือคนในวงการการเพาะเห็ดเชื่อว่า ปกติน้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันอากาศเท่ากับ 0 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่เมื่อเพิ่มความดันขึ้นเป็น 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (1 บาร์) น้ำจะเดือดและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มความดันขึ้นเป็น 27 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (2 บาร์) น้ำจะเดือดและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิ 132 องศาเซลเซียส [7]

อย่างไรก็ตาม เมื่อศึกษาถึงวิธีอบแห้งโดยใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว (Saturation Temperature) ที่ความดันสมบูรณ์ในห้องอบแห้ง หรือที่เรียกกันว่า การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด [8] พบว่าในกรณีที่ความดันไอน้ำประมาณ 1 บาร์ เท่ากับความดันบรรยากาศ ซึ่งอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำประมาณ 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไอน้ำร้อนยิ่งยวดยิ่งที่ใช้จะต้องมากกว่า 100 องศาเซลเซียส จะได้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดเป็นแหล่งความร้อนและเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ซึ่งมีไอน้ำเป็นส่วนประกอบอย่างเดียว การระเหยของน้ำในวัสดุจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับความร้อนจากไอน้ำร้อนยิ่งยวดจนถึงจุดเดือดหรือสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ

ด้วยหลักการดังกล่าวข้างต้น จึงน่าจะนำไอน้ำความร้อนยิ่งยวดมาใช้ฆ่าเชื้อโรคในก้อนเชื้อเห็ดได้ โดยไม่จำเป็นต้องกระทำที่ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนเพิ่มมากขึ้น เพราะต้องใช้วัสดุที่สามารถรับแรงดันสูง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำหลักการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดมาใช้ในการกำจัดจุลินทรีย์ในก้อนเชื้อเห็ด ด้วยวิธีการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดที่อุณหภูมิเกินกว่า 121 องศาเซลเซียส โดยไม่จำเป็นต้องกระทำที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ด้วยการออกแบบและสร้างหม้อไอน้ำความร้อนยิ่งยวดที่อาศัยหลักการเดียวกันกับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยนำไอน้ำร้อนยิ่งยวดไปใช้ในการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเชื้อเห็ดที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 121 องศาเซลเซียส ณ ความดันบรรยากาศ (ความดันเกจเท่ากับศูนย์)

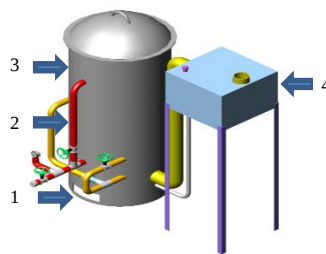
2. วิธีการศึกษาวิจัย

2.1 การออกแบบหม้อนึ่งก้อนเชื้อเห็ดไอน้ำร้อนยิ่งยวด

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตไอน้ำมาใช้ในการนึ่งฆ่าเชื้อของก้อนเชื้อเห็ด ซึ่งส่วนใหญ่ [5] หม้อผลิตไอน้ำแบบดั้งเดิมของเกษตรกรจะใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ใช้เวลาในการนึ่งนาน ต้องดูแลการเติมไม้ฟืนตลอดเวลา และมีปริมาณก้อนเสียจากการนึ่งเกินกว่า 5% [6]

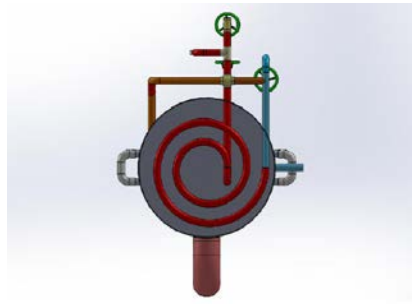


รูปที่ 1 หม้อหุงต้ม (แบบดั้งเดิม)

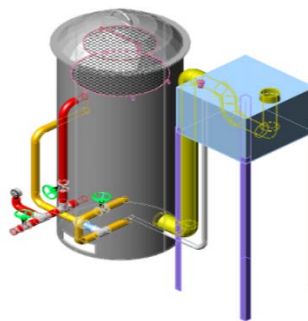


รูปที่ 2 หม้อหุงต้มเชื้อเพลิงที่ออกแบบใหม่

ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบและสร้างหม้อผลิตไอน้ำ โดยใช้ก๊าซหุงต้มเชื้อเพลิง ซึ่งให้ความร้อนสม่ำเสมออย่างต่อเนื่อง ไม่จำเป็นต้องคอยดูแลการเติมไม้ฟืน ประหยัดเวลา สามารถนำไปใช้หนึ่งชั่วโมงที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส การพัฒนาและสร้างหม้อผลิตไอน้ำร้อนยิ่งยวดเพื่อใช้ในการนึ่งฆ่าเชื้อก่อนเชื้อเห็ดสามารถประยุกต์ใช้ทดแทนเตาหนึ่งของเกษตรกรแบบดั้งเดิม ดังแสดงในรูปที่ 1 หม้อหนึ่งของเกษตรกรซึ่งประยุกต์ใช้ถัง 200 ลิตร สามารถผลิตไอน้ำแล้วนึ่งก่อนเชื้อเห็ดได้ในตัว สำหรับหม้อนึ่งก่อนเชื้อเห็ดที่ออกแบบใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ 1) ห้องเผาไหม้ 2) ห้องกำเนิดไอน้ำ 3) ห้องนึ่งฆ่าเชื้อก่อนเชื้อเห็ด 4) ห้องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ซึ่งจะนำความร้อนทั้งจากปล่องไอเสียกลับมาใช้ในการอุ่นน้ำป้อนหม้อนึ่งก่อนเชื้อเห็ด ในส่วนของห้องกำเนิดไอน้ำสามารถต่อท่อไอน้ำนำความร้อนไปใช้ร่วมกับเตาหนึ่งของเกษตรกรแบบดั้งเดิม (ถัง 200 ลิตร) เพื่อเพิ่มผลผลิตได้อีกด้วย หลักการทำงานของเตานึ่งก่อนเชื้อเห็ดไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ออกแบบ คือ เมื่อให้ความร้อนด้วยแก๊สในห้องเผาไหม้ น้ำที่อยู่ภายในห้องกำเนิดไอน้ำจะได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิดวาล์วให้น้ำออกมาในปริมาณน้อยไหลผ่านชุดท่อวงกลม ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนจนทำให้เกิดไอน้ำร้อนยิ่งยวด ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขดท่อวงกลมใต้หม้อหนึ่ง



รูปที่ 4 โครงเส้นของหม้อหนึ่ง

หลักการทำงานของหม้อไอน้ำความร้อนยิ่งยวด คือ ไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะไหลขึ้นไปยังห้องหนึ่ง ก่อนเชื้อเพลิงที่อยู่ชั้นบนสุด ความร้อนที่ได้จากไอน้ำร้อนยิ่งยวดนี้ จะมีอุณหภูมิสูงเพียงพอที่จะฆ่าเชื้อโรคที่ปนเปื้อนอยู่ในก้อนเชื้อเพลิงได้ และหากต้องการเพิ่มผลผลิตก็สามารถต่อท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดไปยังเตาหนึ่งของเกษตรกรแบบดั้งเดิม (ถึง 200 ลิตร) ได้อีกด้วย สำหรับส่วนของห้องอุ่นน้ำร้อน เป็นการนำความร้อนจากปล่องไอเสียที่ไหลผ่านห้องอุ่นน้ำร้อน มาใช้ในการอุ่นน้ำก่อนเข้าห้องกำเนิดไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อการประหยัดเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำได้อีกด้วย

2.2 การสร้างหม้อหนึ่งก้อนเชื้อเพลิงไอน้ำร้อนยิ่งยวด

1. นำแผ่นเหล็กหนา 3 มิลลิเมตร มาม้วนให้เป็นท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร แล้วแบ่งท่อเหล็กออกเป็น 3 ชั้นด้วยวิธีการเชื่อม ชั้นล่างเป็นห้องเผาไหม้สูง 40 เซนติเมตร ชั้นกลางเป็นห้องกำเนิดไอน้ำร้อนยิ่งยวดสูง 30 เซนติเมตรและชั้นบนเป็นห้องหนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเชื้อเพลิงสูง 50 เซนติเมตร

2. เจาะรูเพื่อเชื่อมประกอบเชื่อมต่อขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว เป็นท่อทางเดินน้ำและไอน้ำ แล้วติดตั้งวาล์วระบายน้ำ วาล์วกักเก็บ ที่ทำจากทองเหลืองขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 5

3. เชื่อมประกอบชุดท่อวงกลมใต้ห้องกำเนิดไอน้ำตรงบริเวณห้องเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ไอน้ำอึดตัวที่จะถูกปล่อยจากห้องกำเนิดไอน้ำด้านบน ไหลเข้ามาในชุดท่อวงกลม แล้วถูกให้ความร้อนซ้ำด้วยเปลวไฟจากหัวแก๊สจนกลายเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวด

4. เชื่อมประกอบห้องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ โดยใช้ท่อขนาด 4 นิ้วตัดเชื่อมให้มีลักษณะหักเลี้ยวเป็นมุม เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการให้ความร้อนทั้งจากแก๊สไอเสียที่จะมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในห้องอุ่นน้ำป้อน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 การเชื่อมประกอบท่อน้ำและท่อไอน้ำ



รูปที่ 6 การเชื่อมประกอบชุดท่อวงกลมและห้องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

2.3 การทดสอบสมรรถนะของหม้อหนึ่งก่อนเชื้อเห็ดไอน้ำร้อนยิ่งยวด

ในที่นี้ จะทำการทดสอบสมรรถนะของหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ออกแบบและสร้างเสร็จแล้วว่ามีสมรรถนะในการอบฆ่าเชื้อก้อนเชื้อเห็ดแตกต่างจากหม้อหนึ่งแบบดั้งเดิมอย่างไร ด้วยการตรวจสอบก่อนว่า อุณหภูมิไอน้ำที่ไหลไปยังห้องหนึ่งฆ่าเชื้อว่ามีอุณหภูมิสูงกว่า 121 องศาเซลเซียสหรือไม่ แล้วนำก้อนเชื้อเห็ดที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อไปทดลองเปิดดอกในโรงเรือนที่จัดเตรียมไว้ เพื่อศึกษาว่ามีก้อนเสียเกิดขึ้นที่เปอร์เซ็นต์ แล้วศึกษาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจากการนำแก๊สไอเสียไปอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำอีกด้วย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ปิดวาล์วทุกตัว ไม่ว่าจะเป็นวาล์วระบายน้ำและวาล์วกันกลับ ทำการตรวจสอบการอุดตันและรอยรั่วซึมต่าง ๆ ที่อาจเกิดจากการเชื่อม โดยเติมน้ำลงในห้องกำเนิดไอน้ำให้เต็ม แล้วปล่อยให้ไอน้ำไหลออกเพื่อที่จะดูว่ามีรอยรั่วหรือการอุดตันอยู่ตรงจุดใดบ้าง ถ้าไม่พบปัญหาดังที่กล่าวไว้ ให้ปล่อยน้ำทิ้งไปแต่ให้เหลือไว้เล็กน้อย (ประมาณ 5 ลิตร)

2. จุดเตาแก๊สใต้หม้อไอน้ำ โดยให้ความร้อนจากแก๊สผ่านชุดท่อวงกลมขึ้นไปถึงห้องกำเนิดไอน้ำ หลังจากต้มน้ำไปประมาณ 5 นาที ให้ทดลองเปิดวาล์วสังเกตสีของไอน้ำที่ออกมาจากวาล์วว่าเป็นไอน้ำอ้อมตัวหรือไอน้ำยิ่งยวด (ถ้าเป็นไอน้ำอ้อมตัวจะสังเกตเห็นเป็นไอน้ำสีขาว)

3. ตรวจสอบค่าอุณหภูมิแก๊สไอเสียก่อนและหลังผ่านห้องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำในห้องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล ซึ่งน้ำหนักถังแก๊สก่อนนึ่งก้อนเชื้อเห็ด เก็บไว้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำในขั้นตอนต่อไป

4. บรรจุก้อนเชื้อเห็ดลงในห้องหนึ่งฆ่าเชื้อบริเวณชั้นบนสุดของหม้อไอน้ำ ซึ่งสามารถบรรจุก้อนเชื้อเห็ดได้ประมาณ 30 ก้อน แต่หากต้องการเพิ่มผลผลิตก็สามารถต่อท่อไอน้ำไปยังถัง 200 ลิตร ซึ่งทำให้สามารถบรรจุก้อนเพิ่มได้อีกประมาณ 90 ก้อน รวมเป็น 120 ก้อน จับเวลาในการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจนไม่เหลือน้ำหรือไม่มีไอน้ำออกจากหม้อไอน้ำ ซึ่งน้ำหนักถังแก๊สหลังจากนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเชื้อเห็ด คำนวณอัตราการผลิตไอน้ำ อัตราการใช้แก๊ส และประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

5. พักก้อนเชื้อเห็ดที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อไว้เป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้ก้อนเชื้อเห็ดคายความร้อน แล้วนำมาแช่เชื้อเมล็ดข้าวฟ่าง ในระหว่างที่แช่เชื้อต้องระมัดระวังเรื่องความสะอาดโดยฉีดแอลกอฮอล์ที่มือ และใช้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์เผาฆ่าเชื้อที่แทงเชื้อและที่ปากขวดบรรจุเชื้อเมล็ดข้าวฟ่างทุกครั้งที่มีการแช่เชื้อ มิฉะนั้นจะทำให้เชื้อโรคจากมือแพร่ลงในก้อนเชื้อเห็ด ซึ่งจะทำให้ก้อนเชื้อเห็ดเน่าเสียได้ หลังจากนั้นให้นำไปบ่มไว้ในบริเวณที่ไม่มีแสงประมาณ 7-10 วัน จนสังเกตเห็นเส้นใยสีขาวขึ้นภายในก้อนเชื้อเห็ดแล้ว จึงนำไปเปิดดอกในโรงเรือนที่จัดเตรียมไว้ โดยแขวนก้อนเชื้อเห็ดบนแป้นที่รอยกับเชือกทั้งนี้เพื่อป้องกันสัตว์กัดแทะ

6. รดน้ำก่อนเชื้อเห็ดด้วยระบบกระจายน้ำแบบฝอย ควบคุมเวลาให้น้ำอัตโนมัติครั้งละ 3 นาที แต่ละครั้งห่างกัน 15 นาที เป็นเวลา 7 วัน เก็บข้อมูลก่อนเชื้อเห็ดเสียที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวด เปรียบเทียบสมรรถนะของหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวดกับเตาหนึ่งแบบลูกทุ่ง

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

เมื่อตรวจสอบรอยรั่วของหม้อไอน้ำแล้ว พบรอยรั่วซึมบริเวณท่อขดวงกลม จึงนำกาวยีฟ็อกซีมาอุดรอยรั่ว แล้วเริ่มให้ความร้อนกับหม้อไอน้ำประมาณ 5 นาที จึงทดลองเปิดวาล์ว ในช่วงแรกสังเกตเห็นไอน้ำสีขาว (ไอน้ำอิ่มตัว) พุ่งออกจากท่อไอน้ำ ดังรูปที่ 7 แสดงว่าเปิดวาล์วมากเกินไป จึงค่อย ๆ หรีวาล์วลงเพื่อให้ไอน้ำจากห้องกำเนิดไอน้ำไหลออกไปยังขดท่อวงกลมด้วยปริมาณเล็กน้อยเพื่อให้แก๊สเผาไอน้ำในขดท่อจนกลายเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวดได้เร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 7 ผลการตรวจสอบสถานะของไอน้ำที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ

เมื่อให้ความร้อนที่ขดท่อวงกลมจนมองไม่เห็นไอน้ำสีขาวแล้ว จึงทดลองนำเทอร์โมคัปเปิ้ลมาวัดอุณหภูมิบริเวณปากท่อจะได้ไอน้ำที่อุณหภูมิเกินกว่า 100 องศาเซลเซียส (147.3 องศาเซลเซียส) ที่ความดันเกจเท่ากับศูนย์บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งไอน้ำในสถานะนี้คือ ไอน้ำร้อนยิ่งยวด ทดลองวัดอุณหภูมิของไอน้ำในห้องนึ่งฆ่าเชื้อก่อนเชื้อเห็ดจะได้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 150.1 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 7 เมื่อตรวจสอบอุณหภูมิแก๊สไอเสียด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล พบว่า แก๊สไอเสียก่อนเข้าห้องอุ่นน้ำป้อนมีอุณหภูมิ 298.3 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงเพียงพอที่จะนำมานำก่อนป้อนเข้าหม้อไอน้ำ และเมื่อนำแก๊สไอเสียมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในห้องอุ่นน้ำป้อนแล้ว น้ำในห้องอุ่นน้ำป้อนจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 34.7 องศาเซลเซียส (น้ำก่อนเข้าห้องอุ่นน้ำป้อนมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส) ส่วนอุณหภูมิของแก๊สไอเสียลดลงเหลือ 158.8 องศาเซลเซียส ดังแสดง

ในรูปที่ 8 ซึ่งอุณหภูมินี้ไม่ส่งผลต่อการเกิดการกักร้อนของปล่องไอเสีย เนื่องจากอุณหภูมิก้นตัวของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลวอยู่ที่ 54.4 องศาเซลเซียส [9]



รูปที่ 8 ผลการตรวจสอบอุณหภูมิแก๊สไอเสียก่อนเข้าและหลังออกห้องอุ่นน้ำป้อน

เนื่องจากก้อนเชื้อเห็ด ดังแสดงในรูปที่ 9 อาจมีเชื้อโรคปนเปื้อนมากับอาหารเห็ดที่ผสมกับขี้เลื่อยภายในถุง ดังนั้นจึงต่อท่อไอน้ำไปยังถัง 200 ลิตร แล้วให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาประมาณ 30 นาที เปิดฝาทิ้งออกจะเห็นว่ามีไอน้ำสีขาวเกาะอยู่ภายในก้อนเชื้อเห็ด



รูปที่ 9 ถัง 200 ลิตรที่ใช้หนึ่งก้อนเชื้อเห็ด

หลังจากนั้นพักก้อนเชื้อเห็ดไว้เป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้ก้อนเชื้อเห็ดคายความร้อนจากไอน้ำให้หมด จากนั้นจึงนำก้อนเชื้อเห็ดที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้วมาเขี่ยเชื้อเมล็ดข้าวฟ่าง ในระหว่างที่เขี่ยเชื้อต้องระมัดระวังเรื่องความสะอาดโดยฉีดแอลกอฮอล์ที่มือ และใช้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์ในการเผาฆ่าเชื้อโรคที่แท่งเขี่ยเชื้อและที่ปากขวดเชื้อเมล็ดข้าวฟ่าง มิฉะนั้นจะมีเชื้อโรคจากมือปนเปื้อนเข้าไปในก้อนเชื้อเห็ดและจะทำให้ก้อนเชื้อเห็ดเป็นก้อนเสีย เมื่อเขี่ยเชื้อเมล็ดข้าวฟ่างเสร็จแล้วให้ปิดฝาที่ปากถุงดังแสดงในรูปที่ 10 (ซ้าย) จากนั้นจึงนำก้อนเชื้อเห็ดไปบ่มในบริเวณ

ที่ไม่มีแสงประมาณ 7-10 วัน จนสังเกตเห็นเส้นใยสีขาวขึ้นภายในก้อนเชื้อเห็ดแล้ว จึงนำไปเปิดดอกเห็ดในโรงเรือนที่จัดเตรียมไว้ โดยแขวนก้อนเชื้อเห็ดบนเชือกเพื่อป้องกันสัตว์กัดแทะ ดังแสดงในรูปที่ 10 (ขวา) รดน้ำก้อนเชื้อเห็ดด้วยระบบกระจายน้ำแบบฝอยในโรงเรือนที่เตรียมไว้ โดยตั้งเวลาให้น้ำแบบอัตโนมัติครั้งละ 5 นาที แต่ละครั้งห่างกัน 15 นาที ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 10 การเชื้อเชื้อเมล็ดข้าวฟ่างและการนำก้อนเชื้อเห็ดไปเปิดดอกในโรงเรือนที่เตรียมไว้



รูปที่ 11 โรงเรือนที่เตรียมไว้รดน้ำก้อนเชื้อเห็ด

หลังจากรดน้ำเป็นระยะเวลาประมาณ 4 วัน ก้อนเชื้อเห็ดจะเริ่มให้ผลผลิตออกมาเป็นดอกเห็ด ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผลผลิตหลังจากกรรน้ำผ่านไประยะ 4 วัน

จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่า ก่อนเชื้อเห็ดทุกก้อนมีเส้นใยสีขาวขึ้นเต็มก้อน โดยไม่มีเชื้อราดำหรือราเขียวปนเปื้อน และสามารถออกดอกเห็ดได้ทุกก้อน ดังนั้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า การนึ่งก้อนเชื้อเห็ดด้วยหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ออกแบบไม่ทำให้เกิดก้อนเสียเลย

หลังจากนึ่งฆ่าเชื้อจนไม่เหลือไอน้ำในห้องกำเนิดไอน้ำแล้วจึงนำถังแก๊สไปซังน้ำหนัก เมื่อหักลบกับน้ำหนักถังแก๊สก่อนการนึ่ง พบว่าใช้แก๊สไป 0.7 กิโลกรัมหรือ 1.3 ลิตร (แก๊ส LPG 1 กิโลกรัมเท่ากับ 1.85 ลิตร) ทำให้น้ำ 5 ลิตร เปลี่ยนสถานะไปเป็นไอน้ำทั้งหมดภายในเวลา 30 นาที ดังนั้น ถ้าต้องการทำให้น้ำ 10 ลิตร กลายเป็นไอน้ำหมดในเวลา 1 ชั่วโมง ต้องใช้แก๊ส 2.6 ลิตร [10] แก๊ส LPG มีค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำเท่ากับ 23,670 กิโลจูลต่อลิตร ความร้อนของไอน้ำที่ 150 องศาเซลเซียส เท่ากับ 2,776.4 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ความร้อนน้ำป้อนที่ 34.7 องศาเซลเซียส ประมาณ 167.6 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ดังนั้นประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} &= \frac{\text{อัตราการผลิตไอน้ำ} \times (\text{ความร้อนไอน้ำ} - \text{ความร้อนน้ำป้อน})}{\text{อัตราการใช้เชื้อเพลิง} \times \text{ค่าความร้อนเชื้อเพลิง}} \quad (1) \\ \text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ} &= \frac{10 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times (2,776.4 - 167.6) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{2.6 \frac{\text{L}}{\text{hr}} \times 23,670 \frac{\text{kJ}}{\text{L}}} \times 100\% \\ &= 42.20\% \end{aligned}$$

เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเตาหนึ่งลูกทุ่งกับหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวด ผลการเปรียบเทียบสามารถแสดงได้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเตาหนึ่งลูกทุ่งกับหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวด

รายการ	เตาหนึ่งลูกทุ่ง	หม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวด
1. อุณหภูมิไอน้ำ	90-100 องศาเซลเซียส [5]	150 องศาเซลเซียส
2. ระยะเวลาในการนึ่ง (นึ่ง 120 ก่อน)	3 ชั่วโมง [5]	½ ชั่วโมง
3. ปริมาณเชื้อเพลิง (นึ่ง 120 ก่อน)	ไม้ฟืน 50 กิโลกรัม [4]	LPG 0.7 กิโลกรัม
4. ราคาเชื้อเพลิงต่อกิโลกรัม	1 บาทต่อกิโลกรัม ¹	25 บาทต่อกิโลกรัม ²
5. ความต่อเนื่องในการให้ความร้อน	ไม่ต่อเนื่อง	ต่อเนื่อง
6. ราคาอุปกรณ์	700 บาท [5]	8,500 บาท
7. ประสิทธิภาพ	20.30% [11]	42.20%
8. เปอร์เซนต์ก่อนเสีย	> 5% [6]	0%

หมายเหตุ ¹ราคาไม้ฟืนขนาด 3-8 นิ้ว ยาว 100-130 เซนติเมตร 1,000 บาท/ตัน และ ²ราคาแก๊สหุงต้ม 1 ถึง 15 กิโลกรัม ราคา 375 บาท (ราคาจากร้านค้าปลีก-ส่งในกรุงเทพฯ)

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าสมรรถนะของหม้อไอน้ำความร้อนยิ่งยวดดีกว่าหม้อหนึ่งลูกทุ่งเกือบทุกรายการ ยกเว้นราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วยและราคาอุปกรณ์ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าราคาเชื้อเพลิงต่อกิโลกรัมของหม้อหนึ่งลูกทุ่งจะต่ำกว่ามาก แต่ปริมาณการใช้ไม้ฟืนสูงถึง 50 กิโลกรัม และเมื่อคิดต้นทุนต่อการนึ่ง 120 ก่อน หม้อไอน้ำความร้อนยิ่งยวดมีต้นทุนเชื้อเพลิงเพียง 17.50 บาท ขณะที่หม้อหนึ่งลูกทุ่งมีต้นทุนไม้ฟืน 50 บาท

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวดในการนึ่งก่อนเชื้อเห็ด โดยอาศัยหลักการต้มน้ำในปริมาณน้อยเพื่อทำให้เกิดไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยออกแบบให้ภายในห้องเผาไหม้มีชุดท่อวงกลมเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน และออกแบบให้ประหยัดเชื้อเพลิงโดยนำความร้อนทิ้งจากแก๊สไอเสียมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในห้องอุ่นน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ หม้อไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงเกินพอต่อการฆ่าเชื้อในก้อนเชื้อเห็ด ใช้เวลาหนึ่ง 30 นาที ที่จำนวน 120 ก้อน และเมื่อนำไปเปิดดอกเห็ดในโรงเรือนที่เตรียมไว้พบว่า ทุกก้อนสามารถออกดอกเห็ดได้ทั้งหมด โดยไม่มีก้อนเชื้อเห็ดเสียเกิดขึ้นเลย หรือเปอร์เซนต์ก่อนเชื้อเห็ดเสียเป็นศูนย์ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสูงกว่าเตาหนึ่งแบบลูกทุ่งหนึ่งมากกว่าเท่าตัว เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างหม้อหนึ่งทั้ง 2 แบบ พบว่าหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวดใช้แก๊สหุงต้มสามารถจัดหาได้สะดวกและมีความต่อเนื่องในการให้ความร้อนดีกว่าไม้ฟืน แต่ข้อเสียคือ ราคาอุปกรณ์และเชื้อเพลิงต่อหน่วยค่อนข้างแพง อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาพบว่าหม้อไอน้ำ

น้ำร้อนยิ่งยวดมีต้นทุนเชื้อเพลิงต่ำกว่าหม้อหนึ่งลูกทุ่งเมื่อหนึ่งในปริมาณมาก ๆ ดังนั้น หากประสงค์ที่จะนำหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวดมาใช้งาน ควรศึกษาต้นทุนและเปอร์เซ็นต์ก่อนเสียที่ประหยัดได้อย่างละเอียดก่อนตัดสินใจนำมาใช้งาน โดยเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนระหว่างหม้อหนึ่งลูกทุ่งกับหม้อไอน้ำร้อนยิ่งยวด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทวิศ ศรีสกุลเมฆี ที่ถ่ายทอดการเพาะเห็ดทุกขั้นตอนให้กับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรมและขอบคุณนักศึกษาที่ให้ความร่วมมือในงานวิจัย

References

- [1] Kues, U., Liu, Y. (2000). "Fruit body production in basidiomycetes". **Applied Microbiology and Biotechnology**. 54: 141-152.
- [2] Office of Technology Transfer Development (2011). "Mushroom farming as a career ... the better" **Agricultural article**. Department of Agricultural Extension. Article No. 30/2011. (In Thai)
- [3] Sopa Cansee, et al. (2011). "Knowledge Transfer of Energy-Saving Mushroom Propagation Bag Oven". **The technology clinic**. Ministry of Science and Technology. (In Thai)
- [4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2008). **Project Development of Production and Use Mushroom Propagation Bag Oven**. Bangkok: Ministry of Energy. (In Thai)
- [5] Mitri Pitayakul (2009). "The development of local agriculture mushroom" **Research Report**: Chonburi Province. (In Thai)
- [6] JR Farm. (2014). "Development of Mushroom Propagation Bag Sterilization" [Online] Accessed on 1 November 2015. Available: <http://www.jrfarm108.com/index.php?mo=3&art=41967081>. (In Thai)
- [7] Phusita Kesapan. (2011). "Autoclave" [Online] Accessed on 3 November 2015. Available: <http://www.sa.sciencetech.co.th/pdf/micro-6.pdf>. (In Thai)
- [8] Komkrich Kanlayangam, Ploomjai Saardchom and Tanit Sawadsewe. (2014). "Drying of Ground Fish Slices Using Superheated Steam Combined with Hot Air". **Rajamangala**

University of Technology Phra Nakhon Research Journal. Vol.8 (1) March 2014. (In Thai)

- [9] Thitiya Plianmanee and Mingsak Tangtrakul. (2012). "Water Temperature Control prior to Entering the Economizer to Prevent Acid from Flue Gas Condensation". **Journal of Energy Research.** Vol.9 (3) (September – December) (In Thai)
- [10] Wachara Mungvititkul. (2005). "**Processes and techniques to reduce energy costs for buildings and industrial facilities**". 2nd ed. Bangkok. Rumthai Press Co., Ltd. (In Thai)
- [11] Veerawat Srichar, Nuchida Suwapaet and Sopa Cansee. (2014). "Development Steam Boiler Using Fire-Wood For Sterilization of Mushroom Propagation Bag". **Journal of Science and Technology 10th Maha Sarakham Research Conferences.** (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



สาริต รุ่งฤดีสมบัติกิจ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์ 02-320-0777 โทรสาร 02-321-4444 E-Mail: Satit_Rung@hotmail.com ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม มีความสนใจงานด้านการจัดการคุณภาพ การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม



อุบลรัตน์ วาริชวัฒนะ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 โทรศัพท์ 02-320-0777 โทรสาร 02-321-4444 E-Mail: ubonrat.war@kbu.ac.th