



การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เพื่อการแปรรูป ผลิตผลทางการเกษตรร่วมกับระบบแก๊สซิไฟเออร์

วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร, บงกช ประสิทธิ์*, สุขฤดี นาถกรณกุล และพิสิษฐ์ มณีโชติ

Development of the Solar Tunnel Dryer for Agricultural Products Combined with Biomass Gasifier

Wattanapong Rakwichian, Bongkot Prasit*, Sukruedee Nathakaranakule
and Prisit Maneechot

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Muang District, Phitsanulok, 65000, Thailand.

*Corresponding author : micky_sert@hotmail.com (B. Prasit)

Received 16 February 2004; accepted 26 August 2004

บทคัดย่อ

การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีมานานแล้ว แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจากไม่มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่เกษตรกร นอกจากนี้งานวิจัยส่วนมากเน้นผลิตเครื่องอบแห้งเพื่ออุตสาหกรรมขนาดกลาง ซึ่งต้องใช้ต้นทุนในการก่อสร้างค่อนข้างสูงทำให้ไม่สามารถเข้าถึงเกษตรกรส่วนใหญ่ซึ่งมีรายได้น้อย อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เป็นเครื่องอบแห้งที่มีการก่อสร้างไม่ยุ่งยากซับซ้อน และใช้ต้นทุนต่ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีสมรรถนะทางความร้อนสูงร่วมกับระบบพลังงานความร้อนเสริมจากแก๊สซิไฟเออร์ (gasifier system) เป็นการทดสอบกลางแจ้ง ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของระบบเพื่อนำไปสร้างตัวต้นแบบ ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย 54.6% และการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีค่าเฉลี่ย 55.9 °C ซึ่งเหมาะสมสำหรับอบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ ประสิทธิภาพของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีค่าเท่ากับ 42.8% และจากการเผาเตาแก๊สซิไฟเออร์ร่วมกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งที่สามารถผลิตได้ 57.96 °C จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์สามารถใช้ร่วมกับระบบแก๊สซิไฟเออร์ซึ่งใช้เป็นพลังงานความร้อนเสริมช่วยในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรระหว่างในช่วงวันที่ไม่มีแสงแดด

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ แก๊สซิไฟเออร์

Abstract

Solar dryers have been used in Thailand for many years but have not been widely introduced to farmers. In addition, most research work has been done on an industrial scale with high capital cost, which obstructs most farmers who have low capital income. However, the solar tunnel dryer has low capital cost with less complicated construction. The objective of this study was to develop the high thermal efficiency solar tunnel dryer combined with a biomass gasifier system, of which outdoor testings were investigated at the School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University. Preliminary data were collected in order to construct the prototype. The results showed that the average solar collector efficiency was 54.6% and the average inside distribution temperature was 55.9 °C, which was suitable for drying agricultural products. The efficiency of the solar tunnel dryer system was 42.8%. By using a biomass gasifier combined with the drying system, the average temperature in a drying chamber was 57.9 °C. In conclusion, the biomass gasifier can be combined with the solar tunnel drying system as an auxiliary heat source for drying an agricultural product when there is no sunshine.

Keywords : Solar Tunnel Dryer, Gasifier

บทนำ

ประชากรของประเทศไทยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลผลิตส่วนใหญ่เป็น ข้าว ผัก และผลไม้ แต่ประสบปัญหาเมื่อผลผลิตที่ออกมาจำหน่ายไม่หมด ผักและผลไม้ที่เหลือจะเน่าเสียและมีราคาต่ำ ดังนั้นการแปรรูปผักและผลไม้ที่เหลือเพื่อเก็บไว้จำหน่ายหรือเก็บไว้บริโภคระยะยาวในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่น จึงมีความจำเป็น การอบแห้งผักและผลไม้เป็นการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่น่าสนใจ ส่วนใหญ่ในการอบแห้ง จะใช้พลังงานจากฟืน ไฟฟ้าและน้ำมัน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่เปลี่ยนรูปจากแสงอาทิตย์มาเป็น พลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งแทนไฟฟ้าและน้ำมัน ซึ่งเป็นพลังงานที่มีราคาสูง ทั้งยังปล่อยมลพิษ ให้กับสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยมีศักยภาพในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากประเทศไทยมีแสงอาทิตย์ เกือบตลอดทั้งปี โดยมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 17 MJ/day m^2 ซึ่งมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมา ใช้งานในรูปของความร้อนในกระบวนการอบแห้ง ซึ่งเป็นที่นิยมทำกันโดยทั่วไปทั้งในระดับชาวบ้านและระดับ อุตสาหกรรม เพราะการตากแห้งนี้ง่าย สะดวก และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย แต่การตากแห้งของชาวบ้าน เป็นแบบธรรมชาติ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ถูกสุขลักษณะ เปื้อนฝุ่นละออง มีแมลงรบกวนหรืออาจวางไข่ไว้ ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายภายหลังได้ และยังมีปัญหาอันเนื่องมาจากฝนตกซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากใน กระบวนการตากแห้งอีกด้วย

การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีมานานแล้ว แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากไม่มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่เกษตรกร และงานวิจัยส่วนมากเน้นผลิตเครื่องอบแห้งเพื่ออุตสาหกรรม ขนาดกลาง ซึ่งต้องใช้ต้นทุนในการก่อสร้างค่อนข้าง สูงทำให้ไม่สามารถเข้าถึงเกษตรกรส่วนใหญ่ซึ่งมีรายได้ต่ำ วิทยาลัยพลังงานทดแทนได้รับงบประมาณสนับสนุนจากทบวงมหาวิทยาลัย ประจำปี 2544 ในหัวข้อเรื่อง “โครงการการพัฒนา ส่งเสริม และเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เพื่อการแปรรูป ผลิตผลทางการเกษตร” ซึ่งในโครงการนี้ได้มีการพัฒนาและเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งดังกล่าวในรูปการสร้าง เครื่องอบแห้งให้กับกลุ่มผู้ใช้จำนวน 10 เครื่อง และจัดให้มีการฝึกอบรมเชิงวิชาการสำหรับผู้สนใจจำนวน 120 คน ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างดียิ่ง แต่เครื่องอบแห้งดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในการทำงานซึ่งในการอบผลิตภัณฑ์ แต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งถ้าผลิตภัณฑ์ใดต้องการอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน ก็สามารถใช้เป็นตัวแทนของการอบแห้งผลิตภัณฑ์นั้นได้ แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ชนิดใดต้องการอุณหภูมิที่สูง และแตกต่างกันมากจะทำให้เกิดปัญหาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งทำให้ไม่สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ ทุกชนิดตามความต้องการของผู้ใช้ เช่น การอบแห้งกล้วยจะใช้อุณหภูมิในระดับ $40-50^\circ\text{C}$ ซึ่งในการอบแห้ง ลำไยทั้งเปลือกต้องใช้อุณหภูมิสูง ประมาณ $80-90^\circ\text{C}$ เป็นต้นและระบบพลังงานความร้อนเสริม ในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ใช้ขดลวดไฟฟ้ามีผลทำให้เกิดความสิ้นเปลือง อีกทั้งไม่เป็นไปตาม แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งในปัจจุบันนี้จากการสำรวจพบว่า เกษตรกรที่ทำการอบแห้งอยู่นั้นมีวัสดุเหลือใช้ จากการอบแห้งเป็นจำนวนมาก เช่น เปลือกกล้วย ฟาง เถ้ามันสำปะหลัง เป็นต้น สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงใน ระบบพลังงานความร้อนเสริมในช่วงที่ไม่มีแสงแดดโดยใช้ระบบแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier System) ได้ ถ้ามีการศึกษาและพัฒนาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ให้มีความเหมาะสมสามารถ อบแห้งผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิดจะทำให้ผู้ใช้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการใช้งาน โดยเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เป็นเครื่องอบแห้งที่มีต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ การก่อสร้างไม่ยุ่งยากซับซ้อน และยังเป็นเครื่องอบแห้งที่ทำงานได้ดี หากได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมให้สามารถปรับอุณหภูมิอากาศอบแห้งได้ หลายระดับจะมีความเหมาะสมต่อการเผยแพร่ให้เกษตรกรหรือผู้ที่สนใจการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร นำไปใช้ในการอบแห้งเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิตนั้นและพัฒนาเป็นหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ต่อไป

ทฤษฎีแก๊สซิฟิเคชัน และการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากเอกสารตำราประกอบซึ่งจะช่วยให้การศึกษาวิจัยเป็นไปด้วยดี และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนี้

แก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเตากำเนิดแก๊ส หรือ แก๊สซิฟิเคชัน การเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน นั้นเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบ โฮโมจีนัส และ โฮโมจีนัส คือเป็นปฏิกิริยาระหว่างสารที่มี 2 สภาวะมาทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันหรืออาจจะอยู่ในสภาวะเดียวกัน โดยทั่วไปในการเกิดกระบวนการ แก๊สซิฟิเคชันนั้นจะใช้ออกซิเจน ที่มีอยู่ในอากาศ (ในปริมาณที่จำกัด) ไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดความร้อนและก๊าซ CO_2 เพื่อนำไปทำปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ ต่อไป การเรียกชื่อเตากำเนิดแก๊ส สามารถแบ่งได้ดังนี้คือ

1. Air-Blown Gasification

ใช้อากาศธรรมดาเป็นตัวทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในขั้นการเผาไหม้ก่อนหลังจากนั้นความร้อนและ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากขั้นเผาไหม้จะถูกใช้เพื่อผลิต Producer Gas โดยกระบวนการ แก๊สซิฟิเคชัน แก๊สที่ได้ทั้งหมดจะเป็น Low-BTU-Gas โดยมี N_2 ที่อยู่ในอากาศเป็นส่วนประกอบหลักโดยจะมีอยู่ราว 60-70%

2. Oxidative Gasification

เป็นการใช้ก๊าซ O_2 แทนอากาศ ซึ่งจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Producer Gas สูงขึ้น เพราะไม่มี N_2 ปะปนมา การควบคุมกระบวนการเผาไหม้จะสามารถทำได้ดีกว่า ในทางปฏิบัตินั้นต้องคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ เพราะราคาของ O_2 บริสุทธิ์แพงเมื่อเทียบกับอากาศธรรมดาและควรใช้เมื่อวัตถุดิบเป็นถ่านหินเท่านั้น

3. Steam Gasification

จะใช้น้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง ซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณ Producer Gas โดยเฉพาะ H_2 แต่อุณหภูมิในเตาต้องสูงพอหรือไม่ควรต่ำกว่า 800°C จึงจะสามารถทำให้ปฏิกิริยาเคมีดำเนินไปได้อย่างดี

4. Hydrogasification

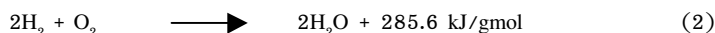
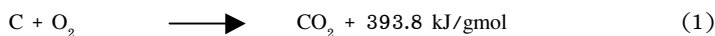
เป็น แก๊สซิฟิเคชัน ที่ใช้ไฮโดรเจน ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงไม่มีการใช้ O_2 หรือ อากาศ โดยปกติจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 750°C และต้องใช้ความดันเข้าช่วย ซึ่งความดันในเตาปฏิกรณ์บางชนิดอาจจะสูงมากถึง 20 เมกะปาสกาล แก๊สที่ได้เป็น CH_4 ส่วนใหญ่ CH_4 ที่ได้นั้นจะถูกใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic Fuel) ต่อไป

ปฏิกิริยาที่สำคัญที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของ แก๊สซิฟิเคชัน

ในเตาผลิตแก๊สทั่วไปสามารถถูกแบ่งออกเป็นชั้นที่สำคัญๆ ได้ 4 ชั้นโดยขึ้นอยู่กับการดูดซับ ปฏิกิริยา และผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น ในความเป็นจริงแต่ละชั้นอาจจะเหลื่อมล้ำ (Overlap) อยู่ก็ได้

1. ชั้นเผาไหม้ (Combustion Zone)

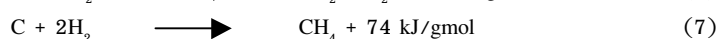
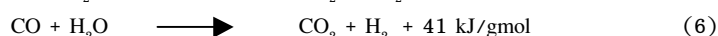
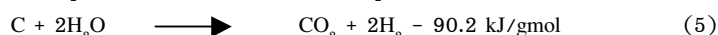
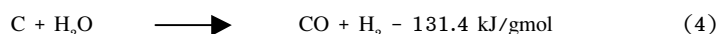
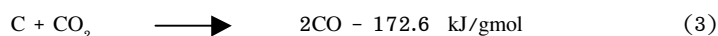
ในบริเวณนี้คาร์บอนจะเผาไหม้กับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศในปริมาณจำกัด (Partial Combustion) ด้วยปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



ปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน อุณหภูมิในชั้นนี้อยู่ระหว่าง $900-1,200^\circ\text{C}$ ความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นนี้ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนในชั้นรีดักชันและชั้นกลั่นสลาย ผลผลิตหลักที่ได้จากการทำปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้นี้คือ ความร้อน และเถ้าถ่าน

2. ชั้นรีดักชัน (Reduction Zone or Gasification Zone)

ก๊าซ CO_2 และไอน้ำที่ได้จากการเผาไหม้ในชั้นเผาไหม้จะไหลเข้าสู่ชั้นรีดักชัน ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในชั้นนี้เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนก๊าซ CO_2 และไอน้ำ ให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ โดยก๊าซ CO_2 จะไหลผ่านคาร์บอนที่ร้อนและเกิด CO ดังสมการที่ (3) อุณหภูมิที่เหมาะสมในชั้นนี้อยู่ประมาณมากกว่า 500 - 1,000 °C

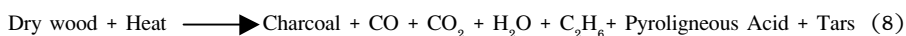


ปฏิกิริยาในสมการที่ (3) เรียกว่า Boudouard Reduction Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) ในกรณีที่ต้องการเพิ่มปริมาณของ CO สามารถทำได้โดยฉีดไอน้ำร้อนเข้าไป ซึ่งไอน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนดังสมการที่ (4) ได้แก๊ส CO และ H_2 เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Watergas Reaction ซึ่งก็เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนและจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 °C

สำหรับปฏิกิริยาที่ (5) จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 500-600 °C ปฏิกิริยานี้ทำให้ส่วนผสมของไฮโดรเจนใน Producer Gas มีมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ค่าพลังงานความร้อนของแก๊สสูงขึ้นแต่ถ้ามีไอน้ำมากเกินไป ไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ ได้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนตามปฏิกิริยาที่ (6) เรียกปฏิกิริยานี้ว่า Water Shift Reaction ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สที่ได้นั้นลดลง ปริมาณของไฮโดรเจนจะสูงสุดเมื่ออุณหภูมิของโซนรีดักชันอยู่ประมาณ 700 °C เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ปริมาณไฮโดรเจนจะลดลงเรื่อยๆ แต่ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จะเพิ่มขึ้น อนึ่งภายใต้ความดันสูง ไฮโดรเจนอาจจะไปรวมตัวกับคาร์บอนและผลิต CH_4 ออกมาได้ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Methane Reaction ดังสมการที่ (7) โดยจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความดันสูงๆ และอุณหภูมิไม่สูงมากนัก

3. ชั้นกลั่นสลาย (Distillation Zone)

ในชั้นนี้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากชั้นเผาไหม้ เพื่อสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงทำให้ได้สารระเหย (Volatile Matter) ต่างๆ ออกมา ซึ่งประกอบไปด้วยเมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิบ และแก๊สที่เผาไหม้ได้และไม่ได้ อุณหภูมิในชั้นนี้จะประมาณ 135-600 °C ของแข็งที่เหลืออยู่หลังกระบวนการนี้คือคาร์บอนในรูปถ่าน (Fixed Carbon) ดังสมการที่ (8)



4. ชั้นลดความชื้น (Drying Zone)

ในชั้นนี้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยต่างๆ ความร้อนที่ได้รับมาจากชั้น Pyrolysis จะระเหยความชื้นที่มีอยู่ในชีวมวลให้ออกมาในรูปของไอน้ำอุณหภูมิในชั้นนี้จะอยู่ที่ประมาณ 100-135 °C (วิภาวรรณ, 2544)

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (วัฒนพงษ์, 2540)

การอบแห้ง คือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย ในที่นี้จะกล่าวถึงการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเท่านั้น ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารส่วนมากจะไม่ใช้วัสดุที่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ แต่จะมีความชื้นจำนวนหนึ่งแฝงอยู่

(Hygroscopic Materials) เช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ต่างๆ ซึ่งต่างจากวัสดุบางอย่าง เช่น ทราย หรือน้ำ ซึ่งสามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ (Non-Hygroscopic Materials)

ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารและเมล็ดพืชมีความชื้นที่เกาะติดที่ผิวของวัสดุ (Unbound Moisture) ซึ่งสามารถไล่ความชื้นนี้ออกไปได้หมดโดยการให้ความร้อน ความชื้นอาจเกาะติดอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็กที่อยู่ภายในเนื้อวัสดุ (Bound Moisture) โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายในวัสดุนี้ได้หมด ปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basic) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุขึ้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$M_w = \frac{(w - d) \times 100}{w} \quad (9)$$

เมื่อ M_w = เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก, %
 w = น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุขึ้น, kg
 d = น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg

การแสดงความชื้นแบบนี้นิยมใช้ในการค้า

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basics) คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง ซึ่งหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$M_d = \frac{(w - d) \times 100}{d} \quad (10)$$

เมื่อ M_d = เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %

การแสดงความชื้นแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้ทางด้านการวิจัย เพราะสามารถคำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในขบวนการอบแห้งได้ง่ายขึ้น เนื่องจากน้ำหนักแห้งของวัสดุคงที่

สมดุลพลังงานสำหรับการอบแห้ง (Energy Balance)

ในกระบวนการอบแห้ง ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์เท่ากับความร้อนสัมผัสของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเมื่ออากาศไหลผ่านผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งเขียน สมการได้ว่า

$$M_w h_{ig} = m_a c_a (T_i - T_f) \quad (11)$$

เมื่อ M_w = มวลของน้ำระเหย, kg
 h_{ig} = ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำในวัสดุ, kJ/kg
 m_a = มวลของอากาศที่ใช้อบแห้ง, kg
 c_a = ความจุความร้อนของอากาศที่ความดันคงที่, kJ/kg °C
 T_i = อุณหภูมิของอากาศร้อนก่อนอบแห้งวัสดุ, °C
 T_f = อุณหภูมิของอากาศหลังอบแห้ง, °C

จากสมการหมายเลข 11 จะเห็นได้ว่า สามารถหาค่า m_a ได้ ทำให้สามารถหาค่าปริมาตรของอากาศที่ใช้อบ และถ้ารู้ว่าวัสดุจะแห้งภายในกี่วัน และในแต่ละวันใช้เวลามากี่ชั่วโมงจะสามารถหาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้อบได้

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งโดยทั่ว ๆ ไปสามารถหาได้ เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้งทั้งหมด และทราบค่าความร้อนของอากาศอบแห้งซึ่งมีค่าลดลง นั่นคือ

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อน} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่ระเหย} \times \text{ความร้อนแฝง}}{\text{ปริมาณความร้อนจากอากาศอบแห้ง}} \quad (12)$$

ในกรณีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งอากาศได้รับพลังงานความร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\eta = \frac{m h_{fg} \times 100}{G_T A} \quad (13)$$

เมื่อ

- η = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง, %
- m = น้ำหนักของน้ำที่ระเหย, kg
- h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, kJ/kg
- G_T = ค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนพื้นราบต่อตารางเมตรต่อวัน, W/m²
- A = พื้นที่ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง, m²

ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จาก

$$\eta_c = \frac{m C_p (t_{oc} - t_{ic}) \times 100}{G_T A_c} \quad (14)$$

เมื่อ

- η_c = ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์, %
- m = อัตราการไหลของอากาศ, kg/s
- G_T = ค่ารังสีแสงอาทิตย์, kW/m²
- A_c = พื้นที่ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์, m²
- t_{ic} = อุณหภูมิอากาศไหลเข้าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์, °C
- t_{oc} = อุณหภูมิอากาศไหลออกจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์, °C
- C_p = ความจุความร้อนของอากาศ, kJ/kg.°C

ประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถคำนวณได้จาก

$$\eta_{\text{eff}} = \frac{\Delta E_a \times 100}{\Delta E_s} \quad (15)$$

เมื่อ η_{eff} = ประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน, %
 ΔE_a = เป็นพลังงานความร้อนที่ได้จากตัวแลกเปลี่ยนความร้อน, MJ
 ΔE_s = เป็นพลังงานความร้อนจากไอน้ำที่จ่ายให้ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน, MJ

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อนำมาทำการออกแบบและดำเนินการวิจัย ดังนี้ พิเชษฐ์ (2528) ศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตแก๊สจากเตาชนิดไหลลง พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สมีผลให้เกิด CO และ H₂ เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาตร Reduction Zone โดยการเลื่อนระยะห่างระหว่าง Throat กับ Grate มีผลให้เกิด CO เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

มานพ (2528) ศึกษาการผลิต Producer Gas จากถ่านไม้โดยเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลง เพื่อศึกษานาถของ Combustion Zone และ Reduction Zone ที่มีผลต่อ Producer Gas พบว่า ระยะ Combustion Zone ลดลงมีผลให้ปริมาณ CO เพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่งแล้วจะลดลง ปริมาณ CO สูงสุด 22.4% ที่ระยะระหว่าง Chock Plate กับ Nozzel เท่ากับ 9.5 cm ส่วนความสูง Reduction Zone ที่เหมาะสมเท่ากับ 27.5 cm

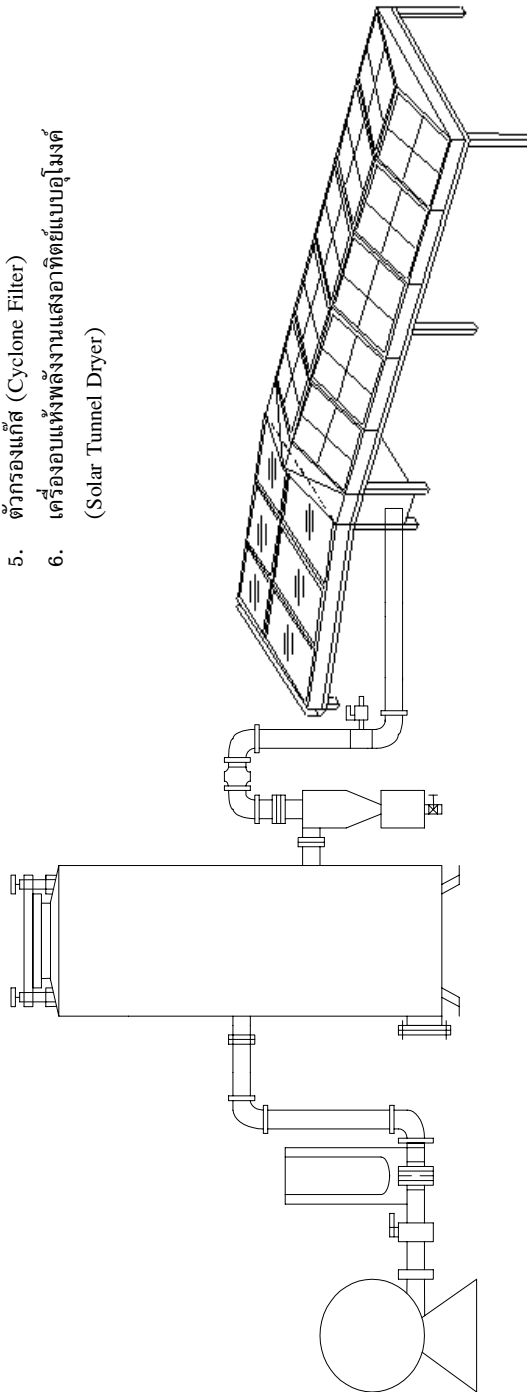
บรรพพรรณ (2529) ออกแบบสร้างเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงโดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อศึกษาความเหมาะสมการทำความสะอาด Producer Gas โดยใช้วัสดุกรอง 5 ชนิด ประกอบด้วย ไนลอน แกลบ ไฟเบอร์กลาส ฝ้ายดิบ และสำลี จากการทดลองพบว่า แกลบเป็นวัสดุกรองที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บฝุ่นสูงที่สุดเฉลี่ย 98% การสูญเสียความดันต่ำสุด 0.5-1.5 cm. H₂O ส่วนไนลอนมีประสิทธิภาพต่ำสุด

Arthayukti และคณะ (1984) ศึกษาการผลิต Producer Gas จากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงแบบทอตรงโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง การทดลองพบว่า ที่อัตราการไหลของอากาศต่ำๆ Producer Gas จะมี Tar ปะปนอยู่สูงและมีปัญหาการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิง

Ida และคณะ (1986) ทดสอบเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น โดยใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง พบว่าความเข้มข้นของ CO สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ และจากการทดลองครั้งนี้พบว่าเมื่อใช้ขนาดกะลาเล็กกว่า 1.25 cm อัตราการไหลของอากาศเข้า 3.7 cm³/hr เปอร์เซ็นต์ CO ในแก๊สชีวมวลผลิตได้สูงสุด 33.8% ที่เวลา 80 นาที

วัฒนพงษ์ และคณะ (2544) ได้พัฒนา ส่งเสริม และเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เพื่อแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ทดสอบพบว่า อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสูงได้ถึงเฉลี่ย 50 °C สามารถใช้ในการอบแห้งได้หลายผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีแหล่งพลังงานความร้อนเสริมมีความเหมาะสมในการส่งเสริมให้กับเกษตรกรเนื่องจากเกษตรกรสามารถเข้าใจในการใช้งานและดูแลรักษา จนถึงซ่อมแซมระบบได้เพราะระบบถูกออกแบบให้ง่ายต่อการใช้งาน และใช้วัสดุที่เกษตรกรคุ้นเคยและหาได้ง่ายในท้องถิ่น

1. พัดลม (Blower)
2. วาล์วผีเสื้อ (Butterfly Valve)
3. มาโนมิเตอร์ (Manometer)
4. ดาวน์ดราฟท์แก๊สไฟเออร์ (Downdraft Gasifier)
5. ตัวกรองแก๊ส (Cyclone Filter)
6. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar Tunnel Dryer)



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ร่วมกับระบบแก๊สไฟเออร์ (ระบบแก๊สไฟเออร์พัฒนาต้นแบบมาจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

ลักษณะการทำงานโดยสรุป

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ (1) ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (2) อุโมงค์อบแห้ง (3) แหล่งพลังงานความร้อนเสริม เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เป็นเครื่องอบแห้งที่มีแผงรับรังสีแสงอาทิตย์แยกออกมาจากตัวเครื่องเอียงทำมุม 17 องศา กับแนวระดับ ผลัดกันที่วางไว้ในอุโมงค์อบแห้งสามารถรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ 2 ทางคือ ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงเนื่องจากหลังคาของอุโมงค์อบแห้งเป็นพลาสติกใส และได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ โดยใช้พัดลมในการกำหนดอัตราการไหลของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้ง และในตอนที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ ฝนตกตลอดทั้งวัน จะมีแหล่งพลังงานความร้อนเสริมช่วยจากเตาเผาแก๊สซิฟิเออร์ (Downdraft Gasifier) ส่งความร้อนผ่านระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ภายในเครื่องอบแห้งทำให้ระบบสามารถอบแห้งได้ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน

วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบเป็นการทดสอบกลางแจ้ง ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของระบบเพื่อนำไปสร้างตัวต้นแบบต่อไปในระยะที่ 2 ของโครงการ

ในการทดสอบแบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ขั้นตอน

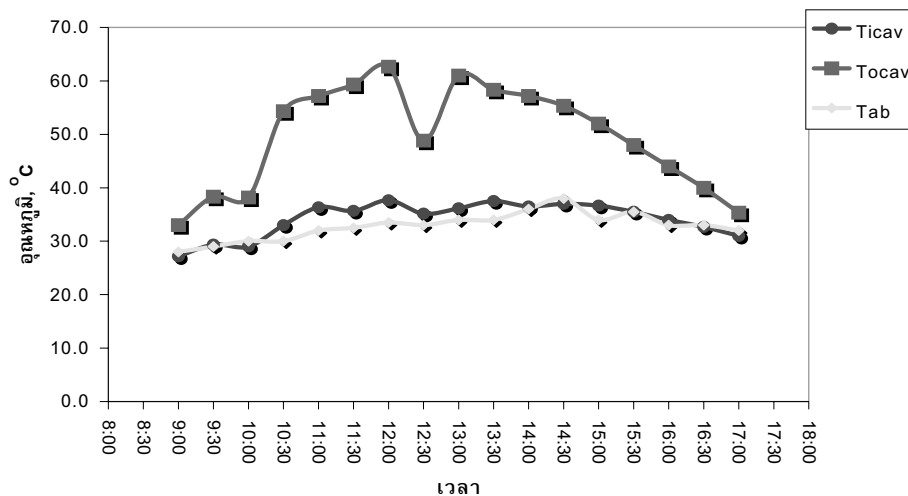
1. การทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar Tunnel Dryer) (โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์) เพื่อหาประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ และการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2. ทำการปิดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ เพื่อดูการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
3. ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ (กล้วยน้ำว้า) จำนวน 150 - 200 กิโลกรัม คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยไม่มีระบบเตาเผา Gasifier
4. ทำการทดสอบเตาเผา Gasifier ด้วยวัสดุเชื้อเพลิง (ซังข้าวโพด)



รูปที่ 2 กิจกรรมการดำเนินการทดสอบระบบ

ผลการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ (Solar Tunnel Dryer) (โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์) เพื่อหาประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ และการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

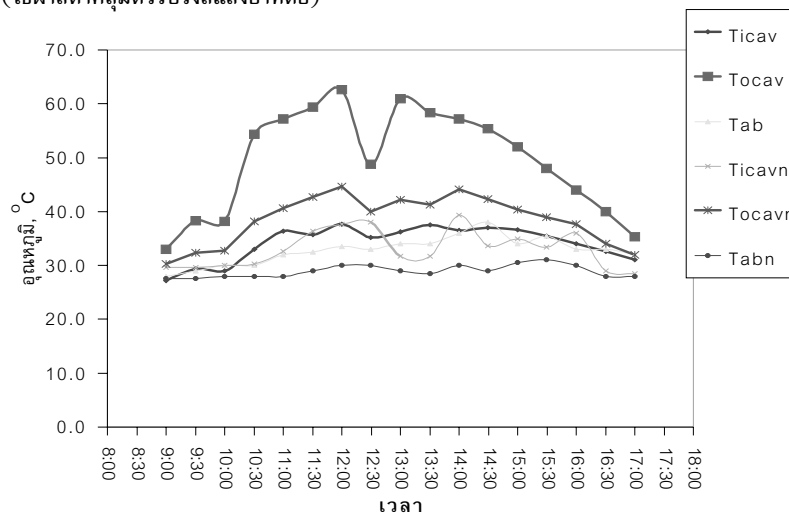


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

จากกราฟอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{ocav}) 61.0 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{icav}) 36.2 °C แตกต่างกันโดยเฉลี่ย 24.8 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{icav}) 34.1 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{ocav}) 49.6 °C แตกต่างกันโดยเฉลี่ย 15.5 °C อุณหภูมิอากาศ แวดล้อมโดยเฉลี่ย (T_{ab}) 32.8 °C

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์อุณหภูมิภายในตู้แห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับล่าง (T_{dlav}) 70.6 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับกลาง (T_{dmav}) 69.0 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับบน (T_{duav}) 67.5 °C ซึ่งอุณหภูมิในระดับต่างๆ ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่มีความแตกต่างกันมาก อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับล่าง (T_{dlav}) 55.6 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับกลาง (T_{dmav}) 56.3 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับบน (T_{duav}) 55.9 °C อุณหภูมิอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (T_{ab}) 32.8 °C และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ พบว่า ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด (G) 896.0 W/m² โดยเฉลี่ยทั้งวันมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ 618.4 W/m² ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด 64.5% และประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ย 54.6%

ขั้นตอนที่ 2 ทำการปิดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ เพื่อดูการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ใช้ผ้าสีดำคลุมตัวรับรังสีแสงอาทิตย์)

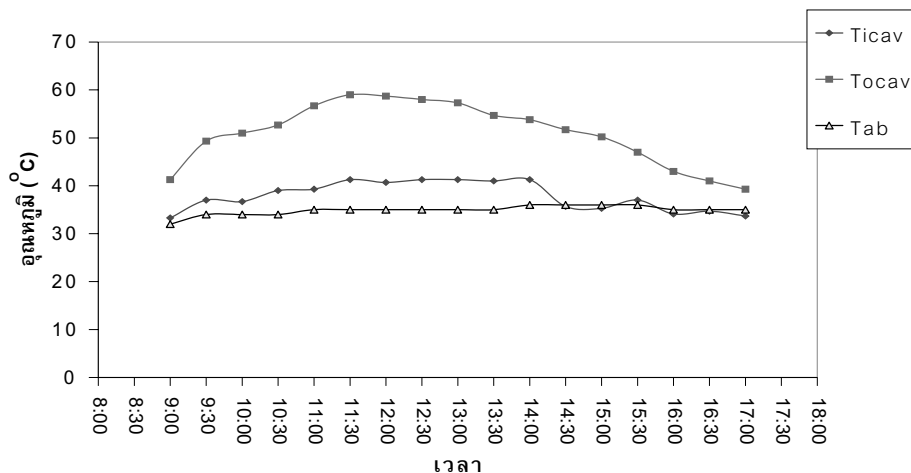


รูปที่ 4 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ทางออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบปิด (ใช้ผ้าสีดำคลุม และ แบบเปิด (ไม่มีผ้าสีดำคลุม)

จากกราฟรูปที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยทางออกสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{ocav}) 61.0 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{icav}) 36.2 °C แตกต่างกันโดยเฉลี่ย 24.8 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{icav}) 34.1 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{ocav}) 49.6 °C แตกต่างกันโดยเฉลี่ย 15.5 °C อุณหภูมิอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (T_{ab}) 32.8 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางออกสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{ocavn}) 43.3 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{icavn}) 39.3 °C แตกต่างกันโดยเฉลี่ย 4.0 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{icavn}) 33.1 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{ocavn}) 36.2 °C แตกต่างกันโดยเฉลี่ย 3.1 °C อุณหภูมิอากาศแวดล้อม โดยเฉลี่ย (T_{abn}) 28.9 °C อุณหภูมิ

ที่ทางออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบปิด (ใช้ผ้าสีดำคลุม) และแบบเปิด (ไม่มีผ้าสีดำคลุม) แตกต่างกัน โดยเฉลี่ย 13.4 °C อุณหภูมิเฉลี่ยทางออกสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ทั้งสองแบบแตกต่างกัน 17.7 °C เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบปิดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (ใช้ผ้าสีดำคลุม) และแบบเปิดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (ไม่มีผ้าสีดำคลุม) พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{dlav}) (ระดับล่าง) 70.6 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{dmav}) (ระดับกลาง) 69.0 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{duav}) (ระดับบน) 67.5 °C ซึ่งอุณหภูมิในระดับต่างๆ ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่มีความแตกต่างกันมาก อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{dlav}) (ระดับล่าง) 55.6 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{dmav}) (ระดับกลาง) 56.3 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{duav}) (ระดับบน) 55.9 °C อุณหภูมิอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย 32.8 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{dlavn}) (ระดับล่าง) 58.8 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{dmavn}) (ระดับกลาง) 57.3 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{duavn}) (ระดับบน) 57.7 °C ซึ่งอุณหภูมิในระดับต่างๆ ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่มีความแตกต่างกันมาก อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{dlavn}) (ระดับล่าง) 43.0 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{dmavn}) (ระดับกลาง) 43.7 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{duavn}) (ระดับบน) 43.5 °C อุณหภูมิอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย 32.8 °C อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบปิดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (ใช้ผ้าสีดำคลุม) และแบบเปิดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (ไม่มีผ้าสีดำคลุม) มีอุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยเฉลี่ย 14.5 °C

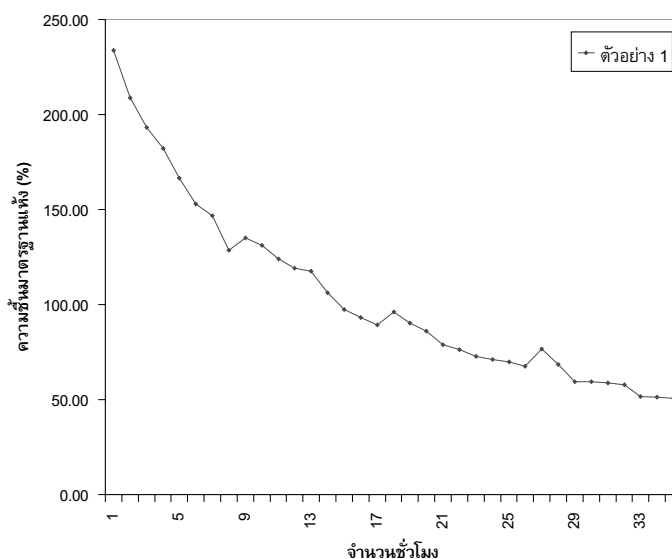
ขั้นตอนที่ 3 ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ (กล้วยน้ำว้า) จำนวน 150 - 200 กิโลกรัม คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยไม่มีระบบเตาเผา Gasifier และใช้ผ้าสีดำคลุมตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ เป็นการทดสอบภาคสนามกลางแจ้งเหมือนการอบแห้งผลิตภัณฑ์จริง โดยทำการอบแห้งจนได้ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่สวยและสามารถนำออกจำหน่ายได้จริง โดยใช้เวลาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ 4-5 วัน ทำการเก็บผลิตภัณฑ์อบแห้งทุกเย็น เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์แบบไม่ต่อเนื่อง



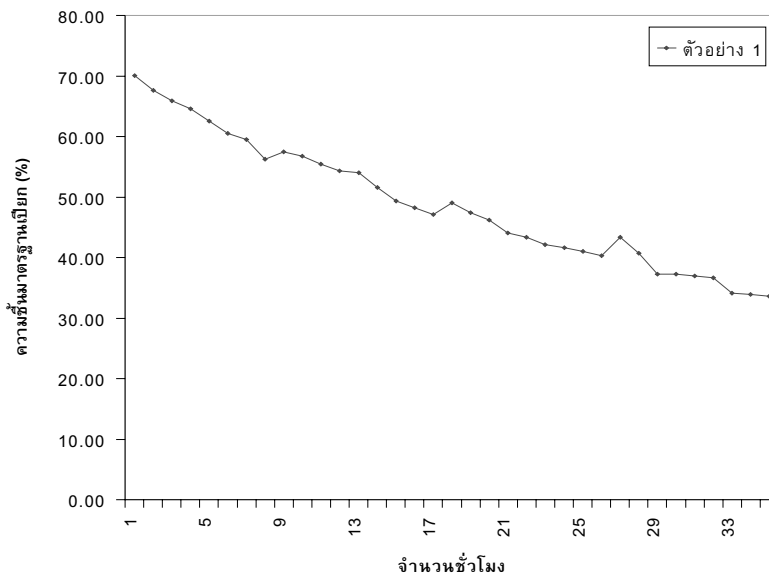
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (วันที่ 20 ตุลาคม 2546)

จากกราฟอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{ocav}) 59.0°C อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{icav}) 41.3°C แตกต่างกันโดยเฉลี่ย 17.7°C อุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{icav}) 37.8°C อุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_{ocav}) 50.9°C แตกต่างกันโดยเฉลี่ย 13.1°C อุณหภูมิอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (T_{ab}) 34.9°C

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์อุณหภูมิภายในตู้แห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับล่าง (T_{dlav}) 62.7°C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับกลาง (T_{dmav}) 65.0°C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับบน (T_{duav}) 64.7°C ซึ่งอุณหภูมิในระดับต่างๆ ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่มีความแตกต่างกันมาก อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับล่าง (T_{dlav}) 54.3°C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับกลาง (T_{dmav}) 56.1°C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับบน (T_{duav}) 56.6°C อุณหภูมิอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย (T_{ab}) 34.9°C



รูปที่ 6 ความชื้นมาตรฐานแห้งของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่



รูปที่ 7 ความชื้นมาตรฐานเปียกของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ 1

ประสิทธิภาพของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

$$\eta_d = \frac{m_w h_{fg}}{Q_{use}} \times 100\%$$

เมื่อ η_d ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง, %
 m_w มวลของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์, kg
 h_{fg} ความร้อนแฝงการกลายเป็นไอน้ำ 2,500 kJ/kg
 Q_{use} พลังงานที่นำมาใช้ในการอบแห้งทั้งหมด, kJ

ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบแห้งเป็นกล้วยน้ำว้า เวลาที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด 31 ชั่วโมง พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 66.23 MJ/m²

$$\begin{aligned} \eta_d &= \frac{(108.52 \text{ kg} - 42.70 \text{ kg}) \times 2.5 \text{ MJ/kg} \times 100\%}{66.23 \text{ MJ/m}^2 \times 5.8 \text{ m}^2} \\ &= 42.83 \% \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เท่ากับ 42.83 %

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดสอบเตาเผา Gasifier ด้วยวัสดุเชื้อเพลิง (ซังข้าวโพด) ร่วมกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการเก็บข้อมูลในตอนกลางวันโดยการจำลองปิดแผงรับรังสีแสงอาทิตย์และอุโมงค์อบแห้ง เพื่อทำการเก็บข้อมูลการกระจายของอุณหภูมิภายในอุโมงค์อบแห้งโดยทำการใช้วัสดุเชื้อเพลิงซังข้าวโพดจำนวน 50 กิโลกรัม

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์อุณหภูมิภายในตู้แห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ระดับล่าง) 72.0 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ระดับกลาง) 75.0 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ระดับบน) 75.0 °C ซึ่งอุณหภูมิในระดับต่างๆ ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่มีความแตกต่างกันมาก อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ระดับล่าง) 57.8 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ระดับกลาง) 57.9 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ระดับบน) 58.2 °C อุณหภูมิอากาศแวดล้อมโดยเฉลี่ย 34.9 °C (ใช้ความเร็วลม 7-8 m/sec ในการจุดให้เชื้อเพลิงติดไฟ และ 0.7-1.0 m/sec หลังจากไฟในเตาติดดีแล้ว)

สรุปผลการวิจัย

ในโครงการเป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ร่วมกับระบบแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier System) ต้นแบบ โดยในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ 42.83% ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ย 54.6% สามารถนำไปใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงได้ เป็นเทคโนโลยีสะอาด ใช้พลังงานสะอาด เมื่อใช้แล้วไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมผลิตผลที่ได้สะอาดถูกสุขอนามัยและสามารถนำไปสู่การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนเกษตรกร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมในการสนับสนุนวิจัย และขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้การสนับสนุนด้านการวิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- บวรพรรณ คติการ. (2529). *ตัวกรองที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.
- พิเชษฐ์ ขุมทรัพย์. (2528). *ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากเตาผลิตก๊าซจากไม้แบบอากาศไหลลง*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มานพ ปิยะศิลป์. (2528). *การทำเชื้อเพลิงแก๊สจากถ่านไม้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร. (2540). *รายงานการวิจัยการศึกษาและวิจัยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในอุตสาหกรรมอบแห้งผัก*. พิษณุโลก: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร, ศิริหนู จินดารักษ์, พิธิษฐ์ มณีโชติ, ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์ และ อัญชลี เทียนกู (2544). *รายงานการวิจัยโครงการ การพัฒนา ส่งเสริม และเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เพื่อแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร*. พิษณุโลก: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วิภาวรรณ แสงสง่า. (2544). *การเปรียบเทียบการผลิตเซรามิกส์โดยใช้พลังงานความร้อนจากเตาก๊าซซิไฟเออร์แบบ Updraft และ Downdraft*. วิทยานิพนธ์ วท.ม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.
- Arthayukti, W., Nguanprasert, O., & Hongsirinirachorn, S. (1984). *air gasification of corn cobs in a tubular open top batch gasifier*. Bangkok : Ministry of Science Technology and Energy.
- Ida, B. A. (1986). Gasification of small charcoal particles in baffled concentric tube reactor. *Journal of Asean conference on Energy from Biomass*, 25, 96-100.