

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากเอกสารตำราประกอบซึ่งจะช่วยให้การศึกษามีความเป็นไปด้วยดีและมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ทั้งบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้แยกเป็นสองส่วนดังนี้

1. เป็นทฤษฎีเกี่ยวกับการผลิตแก๊สจากชีวมวล (Biomass Gasification)
2. เป็นทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล หมายถึง วัสดุอินทรีย์ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ หรือกล่าวได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงเก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์นำมาใช้ในการทำอาหารและให้ความร้อน ชีวมวลสามารถพบได้รอบๆ ตัวเรา เช่น ต้นไม้ หญ้า และพืชทะเลต่างๆ นอกจากนี้ยังรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ชีวมวลเกิดขึ้นจากพืชหรือสิ่งมีชีวิตที่เติบโตผ่านการสังเคราะห์แสงโดยที่พืชสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเกิดเป็นคาร์โบไฮเดรต (น้ำตาล) เคมีที่ก่อเกิดจะกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์และทำให้เกิดบลิออคโครงสร้างของชีวมวล

ประเภทของชีวมวล

ชีวมวลซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงเพื่อการแปรเป็นพลังงานสามารถจัดแบ่งได้ 5 ประเภทตามลักษณะของแหล่งที่มาได้ ดังนี้

1. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Agricultural wastes) เช่น แกลบ ฟางข้าว ชังข้าวโพด กากมันสำปะหลัง เปลือกถั่วลิสง เปลือกมะพร้าว เมล็ดฝ้าย เมล็ดนุ่น เป็นต้น
2. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรม (Industrial waste) เช่น ชานอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลตามกากสับปรระรดจากโรงงานสับปรระรดกระป๋อง น้ำเสียที่ได้จากโรงงานทำแป้งมันและแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น
3. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากสิ่งเหลือใช้จากคนและสัตว์ (Domestic waste) เช่น เชื้อเพลิงที่ได้จากขยะเทศบาลและมูลสัตว์ เป็นต้น
4. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากน้ำ (Aquatic biomass) ซึ่งจัดเป็นประเภทเชื้อเพลิงที่มีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูง ได้แก่ สาหร่าย และผักตบชวา เป็นต้น
5. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากส่วนเหลือของไม้ (Forest residues) เช่น เศษไม้ เปลือกไม้ กิ่งไม้ และขี้เลื่อย เป็นต้น

การนำชีวมวลมาใช้เพื่อเป็นพลังงาน

การนำชีวมวลมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในรูปของพลังงานนั้นมีหลายวิธีซึ่งสามารถที่จะจัดแบ่งเป็นหมวดหมู่ ตามลักษณะวิธีที่ใช้ในการแปรสภาพชีวมวลเป็นพลังงานได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ การแปรสภาพทางชีววิทยา การแปรสภาพโดยการสกัด และการแปรสภาพทางเคมีความร้อนซึ่งอธิบายได้โดยสังเขปดังนี้

การแปรสภาพทางชีววิทยา (Biological conversion) แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการดังนี้

1. กระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion)

หลักการของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ การใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ภายใต้เงื่อนไขแอนแอโรบิก (แบบไร้ออกซิเจน) เพื่อให้เกิดแก๊สชีวภาพ (Biogas) ซึ่งปกติจะประกอบด้วยแก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-60% แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 40-50% แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และแก๊สอื่นๆ อีกประมาณ 0-1% โดยปริมาตรซึ่งแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการแบบแอนแอโรบิกนี้จะให้ความร้อนประมาณ $19-22 \text{ MJ/m}^3$

2. กระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอล (Ethanol fermentation)

กระบวนการพื้นฐานของการผลิตเอทานอล โดยวิธีการหมักนั้นประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการเปลี่ยนแปลงให้เป็นน้ำตาลโดยใช้ความร้อนด้วยวิธี สเตอริไรเซชัน (Sterilization) จากนั้นในขั้นตอนที่สองจะเป็นการหมัก โดยใช้ยีสต์ทำการเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นเอทานอล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเอทานอล จะสกัดได้จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก สำหรับขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการจะเป็นการหมักผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนที่สองเพื่อให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ (Alcohol) ซึ่งจะผลิตได้ประมาณ 8-12% โดยปริมาตร วัตถุดิบที่ใช้กระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอล คือ จำพวกพืชที่มีองค์ประกอบของแป้ง และน้ำตาล เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลีและมันสำปะหลัง

การแปรสภาพโดยการสกัด (Extraction conversion)

การแปรสภาพโดยการสกัด เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลประเภทพืชน้ำมัน เพื่อสกัดเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเดินเครื่องยนต์หรือการเผาไหม้ มี 2 วิธีคือ การสกัดโดยแรงอัดทางกล (Pressing Extraction) และการสกัดโดยสารละลาย (Solvent Extraction)

การแปรสภาพทางเคมีความร้อน (Thermo chemical Conversion)

โดยทั่วไปที่ใช้การแปรสภาพทางเคมีความร้อนมีดังนี้

1. การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในที่ที่มีอากาศเพื่อให้เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ไสสารอินทรีย์ของชีวมวลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การใช้ไม้ฟืนเพื่อให้ได้พลังงานความร้อน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ผลิตไอน้ำหรือกระแสไฟฟ้าแต่การสูญเสียความร้อนเนื่องจากเตาที่ใช้ทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้นี้ต่ำ

2. กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

เป็นกระบวนการย่อยสลายชีวมวลโดยใช้ความร้อนในที่ที่มีอากาศจำนวนจำกัด (Destructive Distillation) อุณหภูมิที่ใช้ในการ Pyrolysis จะต่ำกว่าที่ใช้ใน Gasification ผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน ปริมาณความชื้นและส่วนประกอบของชีวมวล โดยทั่วไปผลผลิตหลักที่ได้คือถ่าน (Charcoal) ผลผลิตรองที่ได้คือมี Pyrolysis oil เมทานอล กรดน้ำส้ม และผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ ซึ่งก๊าซที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการอบชีวมวลที่จะใช้ในกระบวนการหรือใช้เผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้งาน โดยปกติการเผาถ่านที่ทำกันอยู่ในประเทศก็คือ กระบวนการ Pyrolysis นั้นเอง

3. กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

กระบวนการ Gasification เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่อยู่ในชีวมวลที่สำคัญอย่างหนึ่งทางความร้อน แก๊สที่ได้จากเตาผลิตแก๊สหรือ Gasifier เรียกว่า Producer Gas ซึ่งมีแก๊สที่เผาไหม้หลักที่สำคัญ คือ CO H_2 และ CH_4 พลังงานจาก Producer Gas สามารถนำไปใช้ในการเผาไหม้ในกระบวนการให้ความร้อนโดยตรง (Direct combustion) หรือสามารถใช้โดยทางอ้อม (Indirect combustion) โดยนำไปขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายในได้อีกด้วย

ลักษณะและชนิดของเตาผลิตแก๊ส

Gasification เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในเตากำเนิดแก๊ส หรือ Gasifier การเกิดกระบวนการ Gasification นั้นเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบ Heterogeneous และ Homogeneous คือเป็นปฏิกิริยาระหว่างสสารที่มี 2 สภาวะมาทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน หรืออาจจะอยู่ในสภาวะเดียวกัน โดยทั่วไปในการเกิดกระบวนการ Gasification นั้นจะใช้ Oxygen ที่มีอยู่ในอากาศ (ในปริมาณที่จำกัด) ไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดความร้อนและก๊าซ CO_2 เพื่อนำไปทำปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ ต่อไป การเรียกชื่อเตากำเนิดแก๊ส สามารถแบ่งได้ดังนี้คือ

1. Air-Blown Gasification

ใช้อากาศธรรมดาเป็นตัวทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในชั้นการเผาไหม้ก่อน หลังจากนั้น ความร้อนและ CO₂ ที่เกิดขึ้นจากชั้นเผาไหม้จะถูกใช้เพื่อผลิต Producer Gas โดยกระบวนการ Gasification แก๊สที่ได้ทั้งหมดจะเป็น Low-BTU-Gas โดยมี N₂ ที่อยู่ในอากาศเป็นส่วนประกอบหลัก โดยจะมีอยู่ราว 60-70%

2. Oxidative Gasification

เป็นการใช้ก๊าซ O₂ แทนอากาศ ซึ่งจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Producer Gas สูงขึ้นเพราะไม่มี N₂ ปะปนมา การควบคุมกระบวนการเผาไหม้จะสามารถทำได้ ดีกว่าในทางปฏิบัตินั้นต้องคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญเพราะราคาของ O₂ บริสุทธิ์แพง เมื่อเทียบกับอากาศธรรมดาและควรใช้เมื่อวัตถุดิบเป็นถ่านหินเท่านั้น

3. Steam Gasification

จะใช้ไอน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณ Producer Gas โดยเฉพาะ H₂ แต่อุณหภูมิในเตาต้องสูงพอหรือไม่ควรต่ำกว่า 800 °C จึงจะสามารถทำให้ปฏิกิริยาเคมีดำเนินไปได้อย่างดี

4. Hydrogasification

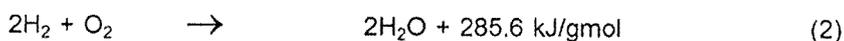
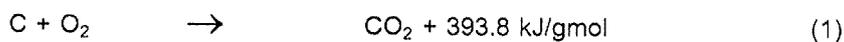
เป็น Gasification ที่ใช้ Hydrogen ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงไม่มีการใช้ O₂ หรือ อากาศ โดยปกติจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 750 °C และต้องใช้ความดันเข้าช่วย ซึ่ง ความดันในเตาปฏิกรณ์บางชนิดอาจจะสูงมากถึง 20 Mpa แก๊สที่ได้เป็น CH₄ ส่วนใหญ่ CH₄ ที่ได้ ส่วนมากจะถูกใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic Fuel) ต่อไป [1]

ปฏิกิริยาที่สำคัญที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นของ Gasifier

ในเตาผลิตแก๊สทั่วไปสามารถถูกแบ่งออกเป็นชั้นที่สำคัญๆ ได้ 4 ชั้นโดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปฏิกิริยาและผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น ในความเป็นจริงแต่ละชั้นอาจจะเหลื่อมล้ำ (Overlap) อยู่ก็ได้

1. ชั้นเผาไหม้ (Hearth Zone or Combustion Zone)

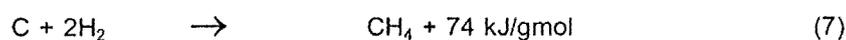
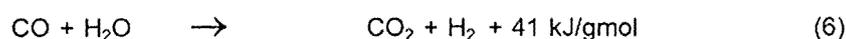
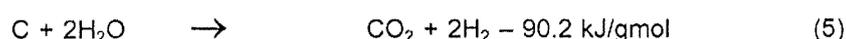
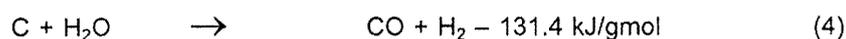
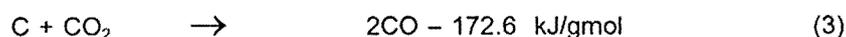
ในบริเวณนี้คาร์บอนจะเผาไหม้กับออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศในปริมาณจำกัด (Partial Combustion) ด้วยปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



ปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน อุณหภูมิในชั้นนี้อยู่ระหว่าง 900-1,200 °C ความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นนี้ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนในชั้นรีดักชันและชั้นกลั่นสลายผลผลิตหลักที่ได้จากการทำปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้คือ ความร้อน แก๊สถ่าน

2. ชั้นรีดักชัน (Reduction Zone or Gasification Zone)

ก๊าซ CO₂ และไอน้ำที่ได้จากการเผาไหม้ในชั้นเผาไหม้จะไหลเข้าสู่ชั้นรีดักชัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในชั้นนี้เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนก๊าซ CO₂ และไอน้ำ ให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่เผาไหม้โดยก๊าซ CO₂ จะไหลผ่านคาร์บอนที่ร้อนและเกิด CO ดังสมการที่ (3) อุณหภูมิที่เหมาะสมในชั้นนี้อยู่ประมาณมากกว่า 500 °C ถึง 1,000 °C

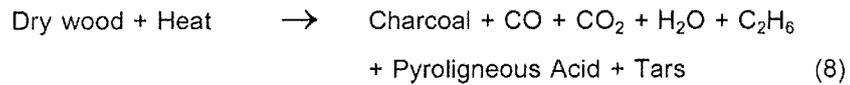


ปฏิกิริยาในสมการที่ (3) เรียกว่า Boudouard Reduction Reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) ในกรณีที่ต้องการเพิ่มปริมาณของ CO สามารถทำได้โดยฉีดไอน้ำร้อนเข้าไปซึ่งไอน้ำจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนดังสมการที่ (4) ได้แก๊ส CO และ H₂ เพิ่มขึ้นซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Watergas Reaction ซึ่งก็เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนและจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 °C

สำหรับปฏิกิริยาที่ (5) จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 500-600 °C ปฏิกิริยานี้ทำให้ส่วนผสมของไฮโดรเจนใน Producer gas มีมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ค่าพลังงานความร้อนของแก๊สสูงขึ้นแต่ถ้ามีไอน้ำมากเกินไป ไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนนอกไซด์ ได้คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ตามปฏิกิริยาที่ (6) เรียกปฏิกิริยานี้ว่า Water Shift Reaction ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สที่ได้อลดลง ปริมาณของไฮโดรเจนจะสูงสุดเมื่ออุณหภูมิของโซนรีดักชันอยู่ประมาณ 700 °C เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ปริมาณไฮโดรเจนจะลดลงเรื่อยๆ แต่ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์จะเพิ่มขึ้น อนึ่งภายใต้ความดันสูง H₂ อาจจะไปรวมตัวกับคาร์บอนและผลิต CH₄ ออกมาได้ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Methane Reaction ดังสมการที่ (7) โดยจะเกิดขึ้นได้ดีที่ความดันสูงๆ และอุณหภูมิไม่สูงมากนัก

3. ชั้นกลั่นสลาย (Distillation Zone)

ในชั้นนี้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากชั้นเผาไหม้ เพื่อสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิง ทำให้ได้สารระเหย (Volatile Matter) ต่างๆ ออกมา ซึ่งประกอบไปด้วยเมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิบแก๊สที่เผาไหม้ได้และไม่ได้ อุณหภูมิในชั้นนี้จะประมาณ 135-600 °C ของแข็งที่เหลืออยู่หลังกระบวนการนี้คือคาร์บอนในรูปแบบถ่าน (Fixed Carbon) ดังสมการที่ (8)



4. ชั้นลดความชื้น (Drying Zone)

ในชั้นนี้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยต่างๆ ความร้อนที่ได้รับมาจากชั้น Pyrolysis จะระเหยความชื้นที่มีอยู่ในชีวมวลให้ออกมาในรูปของไอน้ำ อุณหภูมิในชั้นนี้จะอยู่ที่ประมาณ 100-135 °C

ชนิดของเตาผลิตแก๊สชีวมวล

แบ่งออกได้ตามชนิดของการไหลของ Producer Gas และการจัดเรียงตัวของชั้นต่างๆ ภายในเตาผลิตแก๊ส คือ

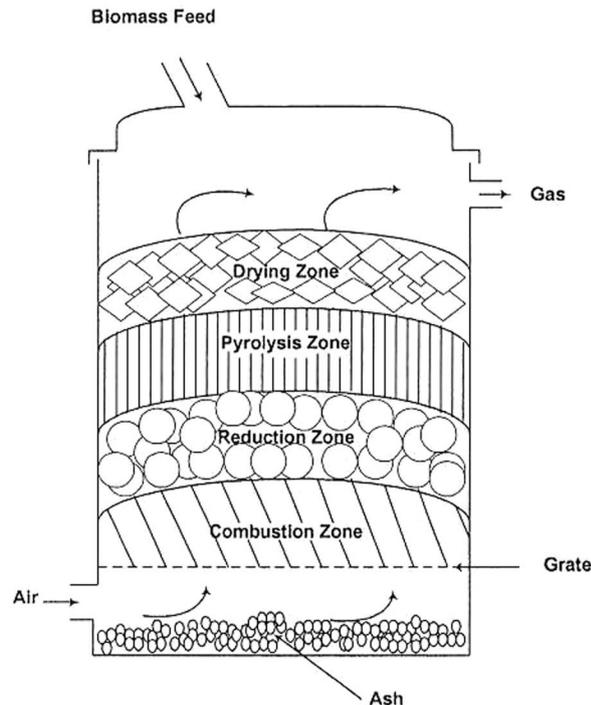
1. เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft or Counter-current Gasifier)

เตาผลิตแก๊สแบบนี้เป็นแบบง่ายที่สุด อากาศจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างผ่านตะแกรงไหลขึ้นด้านบนขณะที่เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่ส่วนบนของเตาเคลื่อนลงด้านล่างในลักษณะสวนทางกัน จึงเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า Counter Current Gasifier ดังรูปที่ 2 ชั้นล่างสุดจะเป็นชั้นเผาไหม้ (Combustion Zone) ถัดขึ้นไปจะเป็นชั้นรีดักชัน (Reduction Zone) ชั้นกลั่นสลาย (Pyrolysis Zone) และชั้นลดความชื้น (Drying Zone) ตามลำดับ บริเวณเหนือตะแกรงขึ้นไป จะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้น บริเวณนี้เรียกว่า ชั้นเผาไหม้ (Combustion Zone) อากาศเมื่อเข้าไปใน Combustion Zone จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ CO₂ และไอน้ำ และก๊าซที่ผ่านออกมาจาก Combustion Zone จะมีอุณหภูมิสูงและจะเข้าไปยังชั้น Reduction Zone ซึ่งมีคาร์บอนที่ร้อนอยู่มาก ณ บริเวณนี้ CO₂ และไอน้ำ จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดก๊าซเชื้อเพลิง (Producer Gas) คือ CO, H₂, CH₄ หลังจากนั้นก๊าซที่ได้จะไหลสู่ชั้นบริเวณไพโรไลซิส (Pyrolysis Zone) อุณหภูมิของก๊าซจะลดต่ำลงและสลายสารระเหยออกมาจากชีวมวล จากนั้นก๊าซที่ได้จะไหลเข้าสู่ชั้นอบแห้ง

(drying Zone) ก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงจะไประเหยน้ำในชีวมวลเหล่านั้น ทำให้ก๊าซที่ออกมาจากเตามีอุณหภูมิต่ำลง

จุดเด่นของเตาแบบนี้คือ เตาไม่สลับซับซ้อน สามารถเพิ่มปริมาณ Producer Gas ได้โดยใช้ไอน้ำเข้าช่วย นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับชีวมวลที่มีความชื้นสูงได้อาจจะสูงได้ถึง 50 % อุณหภูมิเฉลี่ยของ Producer Gas ที่ออกมาจากเตาไม่สูงนัก แต่ปัญหาที่สำคัญคือ ก๊าซที่ได้จะมีน้ำมันดิน (Tar) อยู่มากและจะกลั่นตัวเมื่ออยู่ในบริเวณที่อุณหภูมิต่ำ

ก๊าซชีวมวลที่ได้เหมาะที่จะนำไปเผาไหม้โดยตรงในห้องเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนในกระบวนการใช้ความร้อน เพราะน้ำมันดินที่ติดไปกับก๊าซจะเกิดการเผาไหม้ให้ความร้อนออกมาได้เช่นกัน แต่ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพราะจะทำให้ระบบท่อต่าง ๆ เกิดการอุดตันเนื่องจากการกลั่นตัวของน้ำมันดินได้



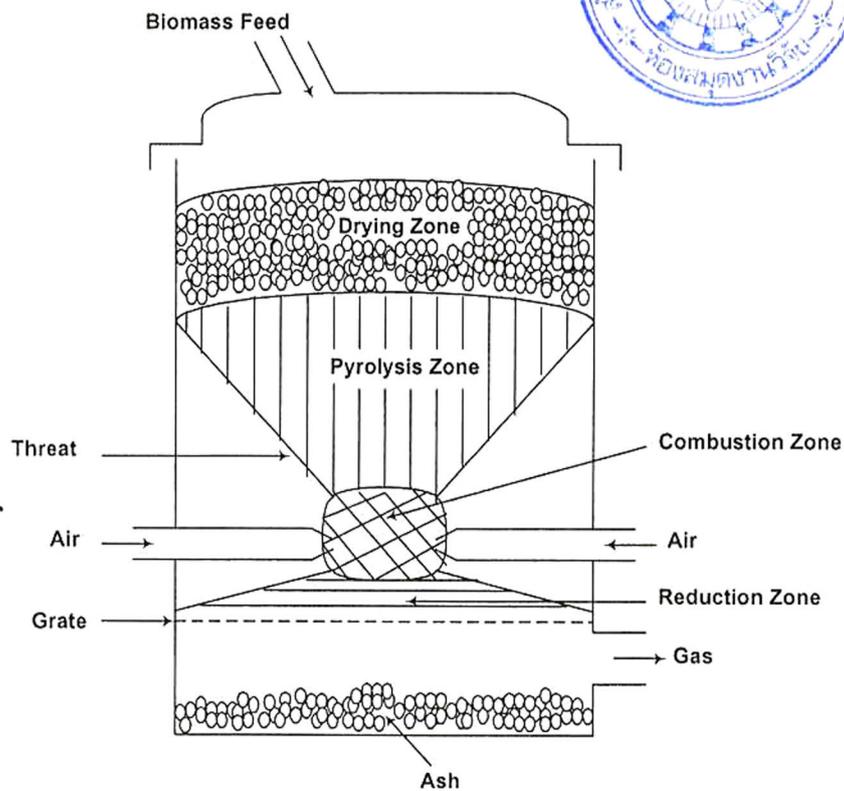
รูปที่ 2 Schematic Diagram of Updraft Gasifier

2. เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลลง (Downdraft or Co-current Gasifier)

เตาแบบนี้ออกแบบมาเพื่อขจัดน้ำมันดิน (Tar) ในเชื้อเพลิงอากาศจะไหลลงทาง

เกี่ยวกับการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงซึ่งไหลจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง จึงอาจจะเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า Co-Current Gasifier ดังรูปที่ 3 บริเวณหัวฉีดอากาศจะเป็นชั้นเผาไหม้ (Combustion Zone) จะถูกส่งให้ไหลสู่ชั้นเผาไหม้ (Combustion Zone) และไหลลงสู่ชั้นรีดักชัน (Reduction Zone) ด้านล่างสุด สารระเหยจากชั้นบริเวณไพโรไลซิส (Pyrolysis Zone) ที่อยู่เหนือชั้นเผาไหม้ก็จะถูกชั้นเผาไหม้ (Combustion Zone) ที่อุณหภูมิ 900-1200 °C สารระเหยต่าง ๆ จะถูกเผาไปทำให้ Producer Gas ที่ผลิตออกมาได้นั้นปราศจากสารระเหยจึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

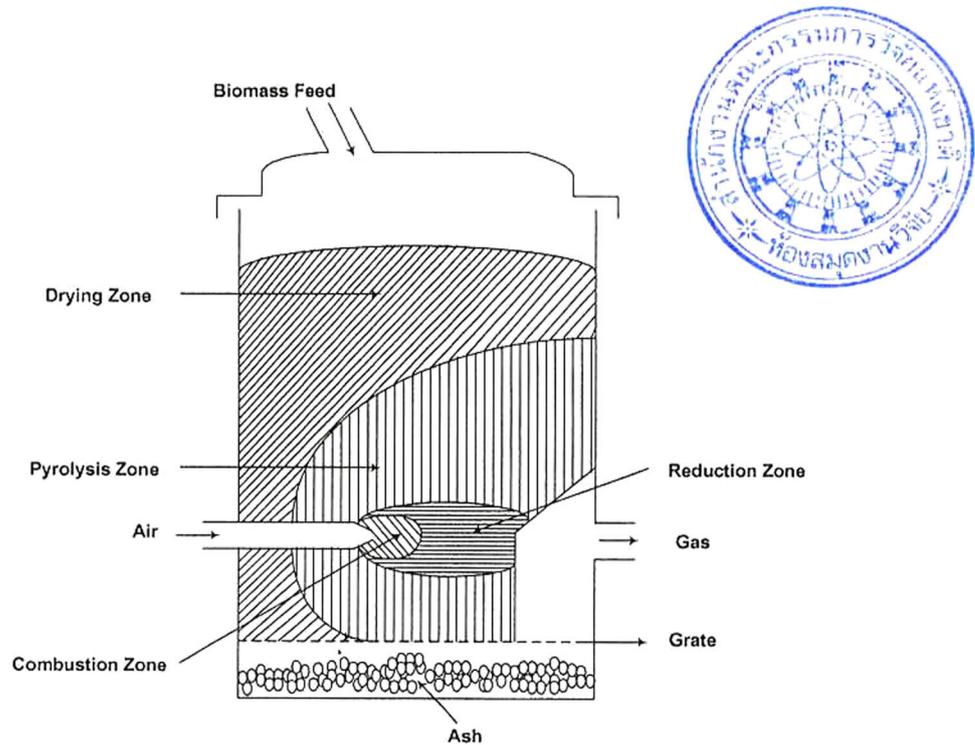
ข้อเสียของเตาชนิดนี้คือจะเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงในชั้นเผาไหม้ที่เป็นคอคอด มีอุณหภูมิสูงมากจึงต้องใช้วัสดุที่ทนความร้อนสูง ถ้าด้านอาจหลอมรวมกันเกาะตัวอยู่บริเวณคอคอดทำให้เกิดการอุดตัน และยุ่งยากในการควบคุม อุณหภูมิเฉลี่ยของ Producer Gas ที่ออกมาจากเตาจะค่อนข้างมีอุณหภูมิสูงมากคือ 450-550 °C ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่จึงมีความจำเป็น



รูปที่ 3 Schematic Diagram of Downdraft Gasifier

3. เตาก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลตามขวาง (Cross draft Gasifier)

ชีวมวลจะถูกป้อนจากทางด้านบนเช่นเดียวกันกับเตาทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้ว
ทิศทางการไหลอากาศจะตั้งฉากกับแนวแกนของเตาหรือเป็นระบบที่อากาศไหลในทิศทางขวางกับ
การไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงนั่นเอง อากาศจะถูกส่งตรงไปชั้นเผาไหม้ และต่อไปยังชั้นรีดักชันซึ่งทั้ง
2 ชั้นนี้จะเป็นชั้นเล็ก ๆ วางเรียงกันตามแนวนอนดังรูปที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยของ Producer Gas ที่
ออกมาจะไม่สูงมากเหมือนเตาแบบไหลลงข้อดีของเตาแบบนี้คือเป็นแบบที่เล็กและเบาสามารถผลิต
Producer Gas ได้เร็วกว่าเตาอีกสองแบบที่กล่าวมาแล้ว และอุณหภูมิในเตาจะไม่สูงนัก



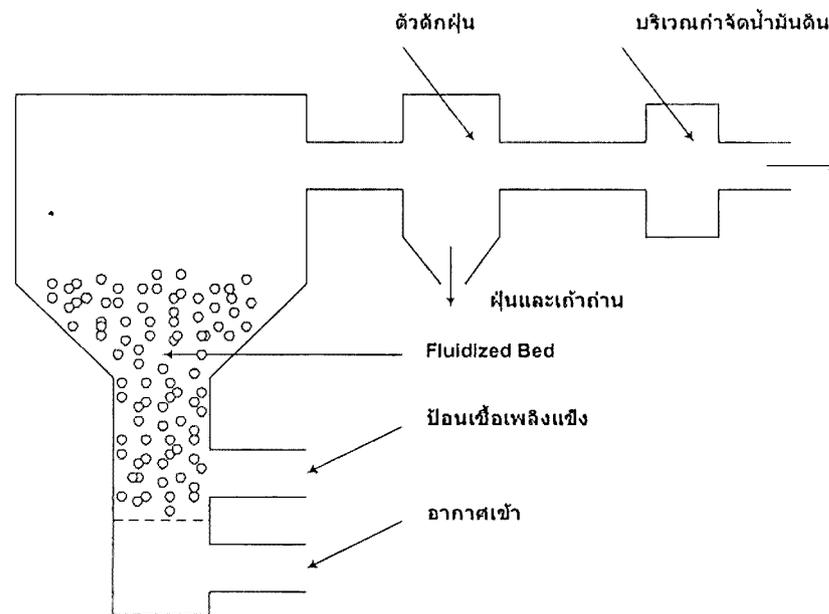
รูปที่ 4 Schematic Diagram of Cross draft Gasifier

4. เตาผลิตก๊าซแบบชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed Gasifier)



จากเตาทั้ง 3 แบบที่ได้กล่าวมานั้น การทำงานจะขึ้นอยู่กับคุณภาพทางเคมีและทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก ปัญหาที่พบบ่อย ๆ คือ เถ้าหลอม (slag) ที่เกิดขึ้นมากเกินไปทำให้เกิดปัญหาอุดตันในเตาผลิตก๊าซ เตาผลิตแบบ Fluidized bed นี้จึงได้ทำการพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการอุดตันของเถ้าหลอม (Slag) ในเตาผลิตก๊าซแบบนี้อากาศจะไหลผ่านชั้นของเชื้อเพลิงแข็ง เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศถึงค่าหนึ่งชั้นเชื้อเพลิงที่วางอยู่เริ่มลอยตัวขึ้นมีลักษณะของไหล ดังรูปที่ 5 ในตอนเริ่มติดเตานั้นเบตจะได้รับความร้อนภายนอกจนมีอุณหภูมิสูงจนถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าไปอย่างสม่ำเสมอ การเผาไหม้เกิดขึ้นทั่วบริเวณเตา โดยปกติภายในเบตจะใส่วัสดุเฉื่อย (Inert Material) เช่นทรายหรือวัสดุปฏิกิริยา (Reaction Material) เพื่อช่วยในการถ่ายเทความร้อนและช่วยทำความสะอาดก๊าซ

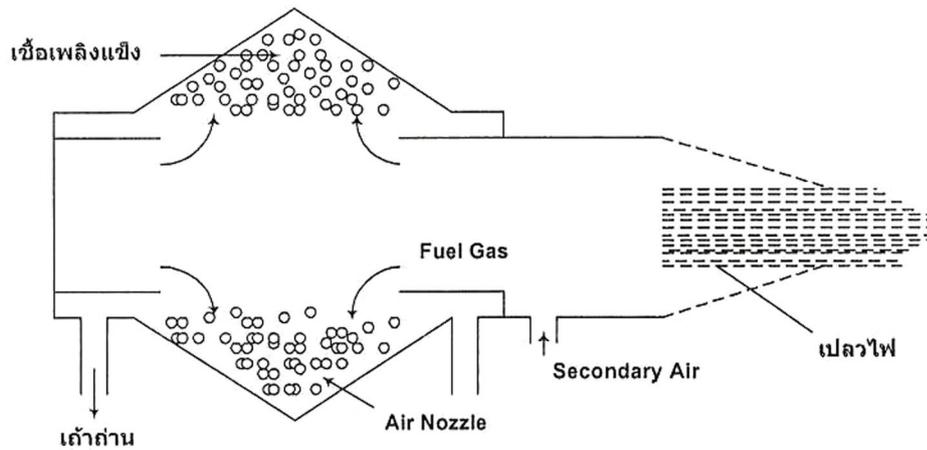
ข้อดีของเตาแบบนี้คือ ง่ายต่อการควบคุมอุณหภูมิในเตาผลิตก๊าซให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้า จึงสามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีเถ้ามากได้ ซึ่งถ้านำมาใช้กับเตาแบบอื่นจะก่อให้เกิดปัญหามาก ส่วนข้อเสียของเตาผลิตก๊าซแบบนี้ คือ ก๊าซที่ได้จะมีเถ้าและฝุ่นถ่านออกมาด้วย เนื่องจากความเร็วของอากาศภายในเบตสูง จึงต้องมีตัวดักฝุ่นเพื่อแยกเถ้าและฝุ่นออกก่อนนำไปใช้งาน



รูปที่ 5 Schematic Diagram of Fluidized Bed Gasifier

5. เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศหมุนวนเตา (Suspended Gasification)

ใช้หลักการหมุนวนของอากาศเพื่อที่จะให้ก๊าซ และของแข็งเกิดการสัมผัสกันอย่างทั่วถึง เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ในทุกส่วนดังรูปที่ 6 เชื้อเพลิงที่ใช้ปกติจะใช้ถ่านหินและเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กเช่น ไม้เลื่อย



รูปที่ 6 Schematic Diagram of Suspended Gasification [2]

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย ในที่นี้จะกล่าวถึงการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเท่านั้นซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารส่วนมากจะไม่ใช้วัสดุที่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ แต่จะมีความชื้นจำนวนหนึ่งแฝงอยู่ (Hygroscopic materials) เช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ต่างๆ ซึ่งต่างจากวัสดุบางอย่าง เช่น ทราย หรือน้ำ ซึ่งสามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ (Non-hygroscopic materials) [3]

ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารและเมล็ดพืชมีทั้งความชื้นที่เกาะติดที่ผิวของวัสดุ (Unbound moisture) ซึ่งสามารถไล่ความชื้นนี้ออกไปได้หมดโดยการให้ความร้อน ความชื้นอาจเกาะติดอยู่

ภายในผนังด้านในท่อเล็กที่อยู่ภายในเนื้อวัสดุ (Bound moisture) โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายใน
วัสดุนี้ได้หมด ปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ [3]

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อ
น้ำหนักวัสดุชื้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$m_w = \frac{(w + d) \times 100}{w} \quad (9)$$

เมื่อ m_w = เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก

w = น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น, kg

d = น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg

· การแสดงความชื้นแบบนี้นิยมใช้ในทางการค้า

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนัก
วัสดุแห้ง อาจหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

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

เมื่อ m_d = เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง

การแสดงความชื้นแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้ทางด้านงานวิจัย เพราะสามารถคำนวณค่าต่างๆที่
เกี่ยวข้องในกระบวนการอบแห้งได้ง่ายขึ้น เนื่องจากน้ำหนักแห้งของวัสดุคงที่

สมดุลพลังงานสำหรับการอบแห้ง (Energy Balance)

ในกระบวนการอบแห้ง เรามักสมมติกันว่าความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์
เท่ากับความร้อนสัมผัสของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเมื่อไหลผ่านผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งเขียน สมการได้ว่า

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

เมื่อ M_w = มวลของน้ำระเหย, kg/day

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, kJ/kg-H₂O

m_a = มวลของอากาศที่ใช้ออบแห้ง, kg/day

c_a = ความจุความร้อนของอากาศที่ความดันคงที่, $\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$

T_i = อุณหภูมิของอากาศร้อนก่อนอบแห้งวัสดุ, $^\circ\text{C}$

T_f = อุณหภูมิของอากาศหลังอบแห้ง, $^\circ\text{C}$

จากสมการ จะเห็นได้ว่าเป็นค่าที่สามารถหาค่า m_a ได้ ทำให้สามารถหาค่าปริมาตรของอากาศที่จะใช้อบ เมื่อกำหนดระยะเวลาในการอบแห้ง จะสามารถหาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้อบได้

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งโดยทั่วไปสามารถคำนวณหาได้ เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้งทั้งหมด และทราบค่าความร้อน (Enthalpy) ของอากาศอบแห้งซึ่งมีค่าลดลง นั่นคือ

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

ในกรณีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งอากาศได้รับพลังงานความร้อนจากตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้ง สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

เมื่อ η = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง เป็นเปอร์เซ็นต์

M_w = น้ำหนักของน้ำที่ระเหย, kg

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, $\text{kJ/kg-H}_2\text{O}$

G_T = ค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนพื้นราบ, kW/m^2

A = พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง, m^2

ประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จาก

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

เมื่อ η_c = ประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์, %

m = อัตราการไหลเชิงมวลอากาศ, kg/s

$$\begin{aligned}G_T &= \text{รังสีรวมที่ตกกระทบบนระนาบตัวรับรังสี, W/m}^2 \\A_c &= \text{พื้นที่ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์, m}^2 \\t_{ic} &= \text{อุณหภูมิอากาศไหลเข้าตัวรับรังสีดวงอาทิตย์, } ^\circ\text{C} \\t_{oc} &= \text{อุณหภูมิอากาศไหลออกจากตัวรับรังสีดวงอาทิตย์, } ^\circ\text{C} \\C_p &= \text{ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่, J/kg. } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีมานานแล้ว และในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ กล่าวคือผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่ถูกทำให้แห้งโดยวิธีการตากกลางแจ้ง เวลาที่ใช้สำหรับการตากแห้งขึ้นอยู่กับชนิดและความชื้นของผลผลิต ความหนาของชั้นตากแห้ง และสภาวะอากาศ แม้ว่าการตากกลางแจ้งจะได้ผลดี แต่ในบางครั้งเกษตรกรประสบปัญหาผลิตภัณฑเปื่อยขึ้นและไม่สามารถทำให้ทันเวลา ทำให้ผลผลิตเสียหาย เช่น มีเชื้อรา และสารพิษสูงเกินมาตรฐาน เป็นต้น ปัญหาผลิตภัณฑเปื่อยขึ้นมักเกิดขึ้นในช่วงฤดูฝน ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ โดยการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้เปล่า สะอาดปราศจากมลภาวะ แต่การที่จะเก็บเกี่ยวเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้นั้นต้องมีการลงทุนโดยสร้างเครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อาจแบ่งตามแบบการไหลของกระแสอากาศได้ 2 แบบ คือ

1. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับ (Force Convection Solar Dryer) เครื่องอบแห้งชนิดนี้ จะใช้พัดลมเป็นตัวขับอากาศให้ไหลภายในเครื่องอบแห้ง

2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ (Free Convection Solar Dryer) เครื่องอบแห้งชนิดนี้ อาศัยหลักการขยายตัวของอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ทำให้เกิดการหมุนเวียนเพื่อช่วยถ่ายเทความชื้นซึ่งเหมาะสมกับการอบแห้งขนาดเล็กที่ต้องการลงทุนต่ำ

เมื่อพิจารณาตามลักษณะการรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ของผลผลิตที่นำมาอบแห้งประกอบกับลักษณะการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่างๆ ที่มีการสร้างขึ้นมา จึงสามารถแบ่งประเภทเครื่องอบแห้งได้ดังนี้

1. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Mode Solar Dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะใช้วัสดุใส่ทำเป็นหลังคา รังสีดวงอาทิตย์จะทะลุผ่านหลังคาไปยังวัสดุอบแห้งโดยตรง การระเหยน้ำออกจากตัววัสดุเกิดขึ้นเพราะความร้อน

2. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (Indirect Mode Solar Dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะประกอบไปด้วย ตัวทำอากาศร้อนด้วยรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Air Heater) พัดลม (Fan) หรือ โบลว์เวอร์ (Blower) และห้องอบแห้ง (Drying Chamber) รังสีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนโดยตัวทำอากาศร้อนแล้วจึงส่งไปยังวัสดุโดยมีอากาศเป็นตัวกลาง

3. แบบปรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม (Hybrid Solar Dryer) เครื่องอบแห้งประเภทนี้เกิดจากการพัฒนา 2 แบบแรกรวมกัน วัสดุจะได้รับความร้อนสองส่วนคือ

- ได้รับความร้อนจากการสัมผัสแสงอาทิตย์โดยตรง
- ได้รับความร้อนที่มาจากตัวทำอากาศร้อน

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ด้านการผลิต Producer Gas และการอบแห้ง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิต Producer Gas โดยเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงที่ผ่านมามีวัตถุประสงค์หลายประการ เช่น การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการผลิต Producer Gas การทดลองผลิตแก๊สเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อเป็นต้นกำลังหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเครื่องสูบน้ำ การศึกษาข้อมูลทางเทคนิคและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิต Producer Gas เพื่อใช้แทนน้ำมันในเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซิน การศึกษาความสัมพันธ์ของมิติต่างๆ เพื่อการออกแบบเตาผลิตแก๊สที่เหมาะสม ผลงานวิจัยเหล่านี้กล่าวโดยสังเขป ดังนี้

พิเชษฐ์ ชุมทรัพย์ [4] ศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตแก๊สจากเตาชนิดไหลลง เช่น ขนาดของไม้ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Reduction Zone การไหลของแก๊ส การทดลองใช้ไม้ขนาดต่างกัน การแปรค่าอัตราการไหลของแก๊ส 3-43 m³/h พบว่า การเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สมีผลให้เกิด CO และ H₂ เพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณ Reduction Zone โดยการเลื่อนระยะห่างระหว่าง Throat กับ Grate มีผลให้เกิด CO เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนแต่ไม่มีผลต่อสัดส่วนการเกิด H₂ และ CH₄ เช่น ระยะระหว่าง Throat กับ Grate 5, 10 และ 20 cm มีผลให้เกิด CO 18.9%, 19.5% และ 23.5% ตามลำดับ การป้อนน้ำในการทำปฏิกิริยามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบแก๊สเล็กน้อย โดยสัดส่วนของ CO ลดลงเนื่องจากปฏิกิริยา Water Shift Reaction ส่วนการเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้มีผลต่อการเกิดแก๊สต่างๆ น้อยมาก

มานพ ปิยะศิลป์ [5] ศึกษาการผลิต Producer Gas จากถ่านไม้โดยเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลง เพื่อศึกษาขนาดของ Combustion Zone และ Reduction Zone ที่มีผลต่อ Producer Gas โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 สภาวะ คือ ขณะอัตราการไหลของแก๊สคงที่ และอัตราการไหลของแก๊สเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้ขนาดของ Chock Plate 10 cm จากผลการทดลอง เมื่ออัตราการไหลของแก๊สคงที่ 10 m³/hr ปรับขนาด Combustion Zone โดยเลื่อนตำแหน่ง Chock Plate เข้าใกล้ Nozzel 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 ที่เหมาะสม เท่ากับ 27.5 cm ส่วนการทดลองเมื่ออัตราการไหลของ

แก๊สเปลี่ยนแปลงโดยใช้เครื่องยนต์ 7.5 kW ที่ความเร็วรอบ 1350, 1550 และ 1750 RPM เป็นเครื่องควบคุมการไหลของ Producer Gas พบว่าเมื่ออัตราการไหล สูง Producer Gas เพิ่มขึ้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น และปริมาณ CO จะเพิ่มขึ้นตามจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะลดลงเนื่องจากปริมาณ O_2 ที่เข้าทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น จะมีผลให้พื้นที่การเผาไหม้ขยายเพิ่มขึ้น ขณะที่ Reduction Zone จะมีขนาดลดลงและมีผลให้อุณหภูมิลดลง การเกิดแก๊ส CO จึงลดลงด้วยผลการทดลองที่อัตราการไหลของ Producer Gas 15.70-20.70 Nm^3/hr อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.8-4.2 kg/hr ค่าความร้อนสูง Producer Gas เฉลี่ย 3.72-4.04 MJ/ Nm^3

บวรพรรณ คติการ [6] ออกแบบสร้างเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงโดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อศึกษาความเหมาะสมการทำความสะอาด Producer Gas โดยใช้วัสดุกรอง 5 ชนิด ประกอบด้วย ไนลอน แกลบ ไฟเบอร์กลาส ฝ้ายดิบ และสำลี โดยพิจารณาประสิทธิภาพในการกักเก็บฝุ่น การสูญเสียความดันระหว่างตัวกรองชนิดต่างๆรวมทั้งการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สที่ผลิตได้ การทดลองกำหนดความเร็วอากาศ เฉลี่ย 0.65 m/s และ 2.5 m/s โดยป้อนอากาศเข้า Combustion Zone ตรงกลางจากด้านบนจุดเดียว จากการทดลองพบว่า แกลบเป็นวัสดุกรองที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บฝุ่นสูงที่สุด เฉลี่ย 98% การสูญเสียความดันต่ำสุด 0.5-1.5 cm. H_2O ส่วนในลอนมี ประสิทธิภาพต่ำสุด จากการวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊ส พบว่า ปริมาณ CO แปรค่าตามความเร็วของอากาศ Producer Gas ประกอบด้วย CO 12.3-22.6%, CO_2 7.6-12.5%, H_2O 0.12-0.29%

วิทยา จงเจริญ และบุญเลี้ยง ชัมศรีสกุล [7] ทำการผลิต Producer Gas เพื่อที่จะใช้ ในการเดินเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยเผาไหม้ถ่านไม้ในเตาที่มีอากาศจำกัด ได้ Producer Gas ที่มีปริมาณ CO ประมาณร้อยละ 20-30 จากนั้นให้ Producer Gas ไหลผ่านเครื่องทำความสะอาดแก๊สเครื่องหล่อเย็นแล้วผสมกับอากาศป้อนเข้าไปในเครื่องยนต์ ขนาด 1300 ซีซี 4 จังหวะ 4 สูบ พบว่าเมื่อเครื่องยนต์ทำงานโดยอาศัยพลังงานจาก Producer Gas อย่างเดียวและที่ความเร็วรอบ 1330 rpm ในสภาวะที่ไม่มีภาระในการทำงาน จะใช้ถ่านไม้ 1.5 kg แทนน้ำมัน 1 ลิตร ได้

ธนากร สุกุลพานิช และปิยะวงษ์ ทิตธิวงษ์ [8] ได้ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตแก๊สชีวมวลจากกะลามะพร้าว ศึกษากระบวนการผลิตแก๊สชีวมวลจากกะลามะพร้าว โดยใช้เครื่องผลิตแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier) ซึ่งได้ถูกออกแบบมาใช้กับไม้พิน โดยจะศึกษาถึงผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณถ่าน และแก๊สที่ผลิตได้ คือ อัตราการไหลอากาศซึ่งอยู่ในช่วง 7.7-30.6 cm^3/hr ขนาดกะลามะพร้าว 1.25-5 cm เวลาที่ใช้ในการผลิตแก๊ส 3-6 hr จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการผลิตแก๊ส 4 hr จะได้ปริมาณจากการวิเคราะห์แก๊สพบว่าไม่มีส่วนประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้เลย สาเหตุเนื่องจากปริมาณอากาศป้อนเข้าเครื่องผลิตแก๊สมากเกินไป และการไม่ยอมเคลื่อนตัวลงของกะลามะพร้าวส่วนล่างของเตา อย่างไรก็ตามถ่านที่ได้มีคุณภาพดี

วิรัช อรุณลักษณ์ดำรง [9] ศึกษาเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น เพื่อการเผาไหม้โดยตรงใช้เตาผลิตแก๊สสูง 175 cm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 65 cm ภายในเตาก่อด้วยอิฐทนไฟหนา 10 cm

โดยรอบตลอดทั้งเตา โดยใช้ไม้โก่งกางเป็นเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดยาวและปริมาณอัตราการไหลของอากาศสูง จะทำให้อุณหภูมิภายในเตาผลิตก๊าซที่ระเหยความสูงต่างๆ มีค่าสูงกว่าและเกิดกระบวนการต่างๆ ภายในเตาผลิตแก๊สเป็นบริเวณกว้างกว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดสั้น เชื้อเพลิงขนาดสั้นจะให้เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) สูงกว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดยาว การเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของเชื้อเพลิง จุดที่เหมาะสมในด้านขนาดของเชื้อเพลิงและปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมของเตาผลิตแก๊สอยู่ในช่วงขนาดความยาวของเชื้อเพลิง 2-3 cm ปริมาณการไหลของอากาศ 0.44-0.51 kg/min ในช่วงนี้ให้ผลผลิต แก๊ส CO ไม่ต่ำกว่า ร้อนละ 28.7

นิรมล ชูลิเลศวิทยากรณ์ และคณะ [10] ศึกษาการหาสภาวะที่ผลิตแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ที่ดีที่สุดของเครื่องผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขึ้น โดยวิธีการค้นหาแบบ simplex โดยใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงในการหาสภาวะที่ดีที่สุด โดยใช้ผลการทดลองในแต่ละครั้งเป็นแนวทางในการกำหนดสภาวะการทดลองต่อไป พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือ ไม้ยาว 4 cm อากาศไหลด้วยอัตราไหลเชิงมวล 0.18 kg/min และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 4.49 x 10⁻³ kg/min จะได้แก๊สชีวมวลประกอบด้วย CO 21.35%

โสจร คีรีเลิศ [11] ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานจากแก๊สชีวมวลอบแห้งกระเทียมหนัก 30 กิโลกรัม โดยจากความชื้นเริ่มต้น 67% มาตรฐานเปียก จนกระทั่งได้ความชื้นของกระเทียมแห้งที่ 60% มาตรฐานเปียก แบ่งการอบแห้งเป็น 2 แบบ โดยกรณีแบบที่ 1 ทำการอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแก๊สชีวมวลเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 55.6 °C ใช้เวลาในการ อบแห้ง 14 ชั่วโมง และกรณีที่ 2 ทำการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล อุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 45.4 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 15 ชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศที่ใช้อบแห้งคือ 0.17 kg/s ทั้ง 2 กรณี กรณีแบบที่ 2 ซึ่งใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ร่วมด้วยสามารถประหยัดพลังงานได้เท่ากับ 49%

ชนากานต์ อาษาสุจริต [12] อบแห้งพริกโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สชีวมวล พบว่าสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกชี้ฟ้าแดง คืออัตราการไหลของอากาศ 0.082 kg/s อุณหภูมิในห้องอบแห้ง 63.23 °C โดยใช้พริก 17.18 kg สามารถลดความชื้นจาก 86.02% มาตรฐานเปียก ลงเหลือ 15.12% มาตรฐานเปียก โดยใช้เวลาในการอบแห้งอย่างต่อเนื่องทั้งหมด 19 ชั่วโมง

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน [13] ได้ศึกษาเตาเผาชีวมวลประสิทธิภาพสูง ที่นำเข้ามาจากประเทศจีน รุ่น RSL 1-8 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพความร้อนของเตาผลิตแก๊ส และความเป็นไปได้ในการนำความร้อนจากเตาผลิตแก๊สนี้ไปใช้กับอุตสาหกรรมขนบของไทย โดยทำการทดสอบด้วยการใช้เชื้อเพลิงแข็ง 4 ชนิด คือ ไม้พิน ชังข้าวโพด แกลบอัดแห้ง และซีลี้อยัดแห้ง ผลการทดสอบพบว่าไม้พินและชังข้าวโพด ให้คุณภาพแก๊สจากเตาเผา ซึ่งมีประสิทธิภาพความร้อนในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงประมาณ 70-80 % และความร้อนที่ได้ออกมาประมาณ 100,439 kcal/hr ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะนำความร้อนจากเตาผลิต

แก๊สขึ้นมาปรับปรุง และนำไปใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมชนบทของประเทศไทยที่เกี่ยวกับการใช้
ลมร้อน อาทิเช่น การอบเมล็ดพันธุ์พืช การอบยาง เป็นต้น

วัฒน์พงษ์ และคณะ [14] การพัฒนา ส่งเสริม และเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงาน
แสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เพื่อแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ
อุโมงค์ในงานวิจัยนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ที่จะแก้ปัญหาของเกษตรกรในการแปรรูปผลิต
ทางการเกษตร โดยมีการปรับจากระบบเดิมที่มีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์รวมและวางขนานกับพื้นดิน
เป็นระบบที่มีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แยกและวางทำมุม 17 องศา กับพื้นดิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
ของระบบให้สูงขึ้น ซึ่งจากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสูงได้ถึงเฉลี่ย 50 °C
สามารถใช้ในการอบแห้งได้หลายผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีแหล่งพลังงานความร้อนเสริม และมีการปรับ
ค่าความเร็วลมได้หลายระดับเพื่อความเหมาะสมโดยการเลือกเปิดพัดลม 1, 2 หรือ 3 ตัว
พร้อมกันก็ได้ จากการส่งเสริมให้แก่กลุ่มเกษตรกร พบว่าระบบมีความเหมาะสมในการส่งเสริมให้กับ
เกษตรกร เนื่องจากเกษตรกรสามารถเข้าใจในการใช้งานและดูแลรักษาจนถึงซ่อมแซมระบบได้
เพราะระบบถูกออกแบบให้ง่ายต่อการใช้งาน และใช้วัสดุที่เกษตรกรคุ้นเคยและหาได้ง่ายในท้องถิ่น

Sorbo, N.W., et al [15] ศึกษาการผลิต Producer Gas จากวัสดุผสมระหว่าง Sludge
กับ Solid Waste โดยเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลง Sludge ผสมกับวัสดุเหลือทิ้งจำพวกเศษกระดาษ
หนังสือพิมพ์มีสัดส่วน 10-25% แล้วอัดแท่ง องค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย Volatile Matter
74-83%, Fixed Carbon 8-13.5%, Ash 1.1-4.1%, Moisture 6.8-10% และ High Heating Value
18.49-19.04 MJ/kg การทดลองแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ กำหนดให้อัตราการไหลอากาศคงที่
0.41 Nm³/min ใช้เชื้อเพลิงแห้งที่มีเศษกระดาษผสมกับ Sludge ต่ำ การสิ้นเปลืองจะสูงกว่า
เชื้อเพลิงที่มี Sludge 20%, 25% ผลิต Producer Gas ที่มีค่าความร้อนสูงเฉลี่ย 5.1 MJ/Nm³
ประกอบด้วย CO 20.9-21.5%, H₂ 13.7-14.5%, CH₄ 2.3-2.5% ส่วนการทดลองที่อัตราการไหล
อากาศเปลี่ยนแปลง 0.45-0.86 m³/min พบว่า ความสิ้นเปลืองแปรตามอัตราการไหลอากาศใน
ขณะที่องค์ประกอบของ Producer Gas ค่อนข้างคงที่ คือ CO 20-23%, H₂ 15-17% ค่าความร้อน
สูงเฉลี่ย 5.1-5.4 MJ/Nm³

Coovattanachai, N. [16] ศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการออกแบบเตาผลิตแก๊สชนิดไหล
ลงโดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง มิติต่างๆออกแบบตามลักษณะ Imbert Wood Gasifier และ Swedish
Gasifier โดยทดลองแปรค่ามิติส่วนต่างๆ เพื่อหาผลกระทบต่อการเกิด Producer Gas เช่น ระยะ
ระหว่าง Nozzel กับ Throat ขนาดและจำนวนแถวของ Nozzel ความสูงของ Reduction Zone และ
ความกว้าง Combustion Zone สรุปได้ว่าสำหรับ Small Gasifier ขนาดไม่เกิน 50 kW ระยะระหว่าง
Nozzel กับ Throat ควรมีความเท่ากันเส้นผ่านศูนย์กลางของ Throat ขนาด Nozzel 5-13.5 mm
มีความเหมาะสมสำหรับความเร็วอากาศเข้าเตา 20-35 m/s ความสูงของ Reduction Zone มีผลต่อ
คุณภาพ Producer Gas ค่าความสูงที่เหมาะสมอย่างน้อยควรเป็นสามเท่าของ Throat ขนาด
Combustion Zone มีผลต่อคุณภาพและค่าความร้อนของแก๊ส ถ้าขนาดใหญ่เกินไปมีผลให้อุณหภูมิ

ลดลงและคุณภาพแก๊สลดลง ขนาดที่เหมาะสมควรเป็นสี่เท่าของ Throat การทดลองสามารถผลิต
สูง Producer Gas มีค่าความร้อนสูงเฉลี่ย 5.60-6.37 MJ/Nm³ ประกอบด้วย CO 17.6-29.92%, H₂
12.4-15.3%, CH₄ 1.10-2.08% อุณหภูมิ Combustion Zone เฉลี่ย 1,320 °C

Arthayukti, W., et al [17] ศึกษาการผลิต Producer Gas จากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงแบบ
ท่อตรงโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง อากาศไหลเข้าด้านบนของท่อเหล็ก ขนาด 15 cm ยาว 150 cm
ซังข้าวโพดมีองค์ประกอบ Fixed Carbon 20.46% Volatile Matter 70.3%, Ash 2.48%, Sulfur
0.07%, High Heating Value 4,137.97 Cal./g. การทดลองพบว่า ที่อัตราการไหลของอากาศต่างๆ
Producer Gas จะมี Tar ปะปนอยู่สูงและมีปัญหาการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิง แต่องค์ประกอบของ
แก๊สเพียงพอสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์ ที่อัตราการไหลของอากาศ 17.5 Nm³/hr ผลิต Producer
Gas มีค่าความร้อนสูง เฉลี่ย 1,008 Kcal/Nm³ ประกอบด้วย CO 12.7%, H₂ 11.1% และ CH₄ 3.0%

Ida Bagus Agra และคณะ [18] ทดสอบเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้น โดยใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง
พบว่าความเข้มข้นของ CO สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ และจากการทดลองครั้งนี้พบว่าเมื่อใช้
ขนาดกะลาเล็กกว่า 1.25 cm อัตราการไหลของอากาศเข้า 3.7 cm³/hr เปอร์เซนต์ CO ใน
แก๊สชีวมวลผลิตได้สูงสุด 33.8% ที่เวลา 80 นาที

Parikh, P.P., et al [19] ศึกษาการผลิต Producer Gas จากไม้โดยเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลง
เพื่อหาแนวทางผลิตแก๊สที่มี Tar ปะปนต่ำที่สุด การออกแบบใช้หลักการของ Swedish Concept แต่
ป้อนอากาศแบบเอียงเพื่อให้อากาศเข้าสู่โซนเผาไหม้เกิดการหมุนวนช่วยลด Cold Spot พบว่าการ
ไหลของอากาศ การบริโภคเชื้อเพลิงและอุณหภูมิ Producer Gas มีค่าแปรตามอัตราการไหลของ
แก๊ส และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 2.5-11.5 Kg/hr ที่อัตราการไหลของแก๊ส 19-35
Nm³/hr ปริมาณ Tar ประมาณ 68-82 mg/Nm³ Tar จะลดลงเมื่ออัตราการไหลของแก๊สเพิ่มขึ้นแต่
ปริมาณ Particle ประมาณ 50-200 mg/Nm³ จะแปรผกผันกับอัตราการไหลของแก๊ส เนื่องจากการ
ออกแบบให้อากาศมีการหมุนวนจะเพิ่มความเร็วของแก๊สและเป็นสาเหตุให้ Particle เพิ่มขึ้นค่า
ความร้อนสูง Producer Gas เฉลี่ย 3.8-4.2 MJ/Nm³

Bilbao, R., Lana, J., Garcia, P., and Arauzo, J. [20] ศึกษาการผลิต Producer Gas จาก
เตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงโดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ อัตราการ
ไหลของอากาศ และ Residence Time เตาผลิตแก๊สมีขนาด 50 kg/hr แบ่งการทดลองเป็น 2 การ
ทดลอง คือ อัตราการไหลอากาศคงที่ และอัตราการไหลอากาศเปลี่ยนแปลง ผลการทดลองเมื่อ
อัตราการไหลของอากาศคงที่ 50 Nm³/hr และควบคุมการสิ้นของตะแกรง 15-50% Residence
Time แปรผกผันกับการสิ้นของตะแกรงมีค่าระหว่าง 50-90 min กรณี Residence Time เพิ่มขึ้นมี
ผลให้ปริมาณการเกิดแก๊ส (Gas yield) เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่ออัตราการไหลและค่าความร้อนของ
Producer Gas ผลการทดลองเมื่ออัตราการไหลอากาศเปลี่ยนแปลง 40-70 Nm³/hr และควบคุมการ
สิ้นของตะแกรงคงที่ 29% พบว่า เมื่ออัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้นมีผลให้ Gas Yield เพิ่มขึ้น แต่
Residence Time และค่าความร้อนของ Producer Gas ลดลง Gas Yield เฉลี่ย 2.205 Nm³/kg

Wood ค่าความร้อนสูง Producer Gas เฉลี่ย 4.14 MJ/Nm^3 ที่อัตราการไหล $50 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ อัตรา
ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 36 kg/hr สามารถผลิตแก๊สเฉลี่ย $74.5 \text{ Nm}^3/\text{hr}$

Hoi W.K., et al [21] ได้ศึกษาระบบผลิต Producer Gas จากไม้ยางพาราโดยเตาผลิต
แก๊สชนิดไหลลง ขนาด 35 kW โดยออกแบบตามรูปแบบของ Swedish Academy of Engineering
Sciences ใช้เชื้อเพลิงไม้ยางพาราขนาด $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$ ความชื้น 7.9% และ HHV 18.44 MJ/kg อัตรา
การไหล Producer Gas เฉลี่ย $89.3 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ ได้ค่าความร้อนสูง Producer Gas ประมาณ 4.975 MJ/Nm^3
อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 33.5 kg/hr Producer Gas ประกอบด้วย CO 18.9% , H_2
 18.4% , CH_4 0.6% , CO_2 12.3% และ N_2 49.8% ทดลองใช้ Producer Gas ร่วมกับน้ำมันดีเซลในการ
ผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ 68.9%

การศึกษาการผลิต Producer Gas โดยเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงที่ผ่านมาจะเป็นการศึกษา
สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแก๊ส CO ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของ Producer Gas รวมทั้ง
เงื่อนไขต่างๆ ซึ่งเป็นตัวแปรในการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเตาผลิตแก๊ส และบางการทดลองมี
วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ Producer Gas ในกระบวนการเผาไหม้โดยตรงเพื่อผลิตพลังงาน
ความร้อนยังมีน้อยมาก และจากข้อมูลการใช้ LPG ในกระบวนการเผาเซรามิกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น
ดังนั้นจึงเป็นแนวความคิดในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ โดยมีเป้าหมายศึกษาการใช้ Producer Gas จาก
เตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงเป็นแหล่งผลิตพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก

Joapur and Rajvanshi [22] ได้พัฒนาการใช้ชีวมวลที่มีความหนาแน่นต่ำมาใช้ใน
กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยได้นำไปใช้งานกับโรงเหล็ก ซึ่งชีวมวลที่ใช้คือใบ
อ้อยและกากอ้อยโดยพลังงานที่ออกมา มีค่า $288-1080 \text{ MJ/hr}$ ค่าความร้อนของแก๊ส $3.56-4.82 \text{ MJ/m}^3$
และยังสามารถผลิตถ่านที่มีความชื้น 24% มาตรฐานเปียก เมื่อนำกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน
ไปใช้อบเซรามิกในโรงงาน พบว่า คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แตกต่างกับการใช้พลังงานจาก
น้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นการนำเอากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมาใช้ในโรงงาน จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในเรื่อง
ของค่าน้ำมันเชื้อเพลิงได้

วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร และคณะ [23] เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มี
ส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ (1) ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Collector) (2) อุโมงค์อบแห้ง
(Tunnel Dryer) (3) แหล่งพลังงานความร้อนเสริม (Gasifier System) ผลิตภัณฑ์ที่วางไว้ในอุโมงค์
อบแห้งสามารถรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ 2 ทาง คือ ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง
เนื่องจากหลังคาของอุโมงค์อบแห้งเป็นพลาสติกใส และได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ไหลผ่าน
แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้พัดลมในการกำหนดอัตราการไหลของอากาศร้อนภายในเครื่อง
อบแห้ง และในเวลาที่ไม่ใช่แสงอาทิตย์หรือแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ หรือมีฝนตกตลอดทั้งวันจะมี
แหล่งพลังงานความร้อนเสริมจากระบบเผาแก๊สซิฟิเคชัน (Gasifier System) ส่งความร้อนผ่าน
ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ภายในเครื่องอบแห้งทำให้ระบบสามารถอบแห้งได้
ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่อง

อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีค่า 42.8% ประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่าโดยเฉลี่ย 54.6% สามารถปรับอุณหภูมิอากาศอบแห้งได้หลายระดับมีความเหมาะสมต่อการเผยแพร่ให้เกษตรกรหรือผู้ที่สนใจนำไปใช้เพื่ออบแห้งสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิต

วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร และคณะ [24] การพัฒนา ส่งเสริม และเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ในงานวิจัยนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ที่จะแก้ปัญหาของเกษตรกรในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร โดยมีการปรับจากระบบเดิมที่มีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์รวมและวางขนานกับพื้นดิน เป็นระบบที่มีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แยกและวางทำมุม 17 องศา กับพื้นดิน เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น ซึ่งจากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสูงได้ถึงเฉลี่ย 50 °C สามารถใช้ในการอบแห้งได้หลายผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีแหล่งพลังงานความร้อนเสริม และมีการปรับค่าความเร็วลมได้หลายระดับเพื่อความเหมาะสมโดยการเลือกเปิดพัดลม 1,2 หรือ 3 ตัว พร้อมกันก็ได้ จากการส่งเสริมให้แก่กลุ่มเกษตรกร พบว่าระบบมีความเหมาะสมในการส่งเสริมให้กับเกษตรกร เนื่องจากเกษตรกรสามารถเข้าใจในการใช้งานและดูแลรักษาจนถึงซ่อมแซมระบบได้เพราะระบบถูกออกแบบให้ง่ายต่อการใช้งาน และใช้วัสดุที่เกษตรกรคุ้นเคยและหาได้ง่ายในท้องถิ่น

สังวาลย์ เฟ็งพัต และคณะ [25] การพัฒนาเครื่องอบแห้งกล้วยแบบต่อเนื่องด้วยระบบไหลเวียนอากาศ ได้พัฒนาเครื่องอบกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีขั้นตอนการอบที่ต้องใช้แรงงานค่อนข้างมาก โดยเฉพาะการเก็บกล้วยในตอนเย็นและจัดเรียงกล้วยเพื่ออบต่อในตอนเช้า และยังเพิ่มโอกาสให้กล้วยได้สัมผัสสิ่งปนเปื้อนค่อนข้างมาก จึงได้ออกแบบระบบตู้อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถอบกล้วยได้อย่างต่อเนื่อง ลดการสัมผัสสิ่งปนเปื้อน ได้ออกแบบให้สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศในระบบตู้อบได้ โดยมีระบบควบคุมการไหลเวียนกลับของลม ระบบเตาพลังงานเสริมและระบบสลับทิศทางลม ขนาดของระบบตู้อบสามารถนำไปใช้ในระดับ อุตสาหกรรมขนาดเล็กได้ ผลการทดสอบระบบพบว่าการทำงานของระบบควบคุมได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่ประสิทธิภาพใช้งานค่อนข้างต่ำคือมีค่าประมาณ 10% อันเนื่องมาจากการสูญเสียในระบบท่อลม โดยเฉพาะในระบบควบคุมการสลับทิศทางลม นอกจากนี้ยังพบว่าค่าประสิทธิภาพของการใช้พลังงานลดลงตามเวลาของการอบแห้ง หลังจากทดสอบได้ปรับระบบท่อลมใหม่โดยตัดระบบสลับทิศทางลมออกและปรับกระบวนการอบโดยการเติมกล้วยใหม่เข้าไปในตู้ทุก 2 – 3 วัน พบว่าค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 23 % ปริมาณผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งมากขึ้นในช่วงเวลาที่เท่ากัน และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีกว่าผลที่ได้จากการอบด้วยระบบเดิม

สังวาลย์ เฟ็งพัต และวัฒนพงษ์ รัชวีเชียร [26] การอบแห้งผลิตภัณฑ์เนื้อและปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือน เพื่อพัฒนาคุณภาพและมาตรฐาน

การอบผลิตภัณฑ์เนื้อและปลาด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตู้อบแห้งเป็นแบบผสม สามารถใช้
กับพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานเสริมจากแก๊ส LPG ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มีขนาด 7.5 m^2 ตู้อบมี
ขนาด 1.5 m^3 อบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละ 100 kg . เมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศ 0.1 kg/s
ประสิทธิภาพตัวรับรังสีมีค่า 3.91% และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง 50% ใช้
เวลาในการอบผลิตภัณฑ์ 20 ชั่วโมง โดยเนื้อและปลามีความชื้นก่อนอบ 77% และ 64% ตามลำดับ
ความชื้นหลังจากอบมีค่าใกล้เคียงกันคือ 17% และ 16% ตามลำดับ โดยอัตราการแห้งของเนื้อจะมี
ค่ามากกว่าปลา

วารุณี วาตะบุตร [27] ทำการทดสอบกล่องอบแห้งซึ่งมีลักษณะตัวกล่องทำด้วยไม้ยาง
ทาสีดำ ด้านบนปิดด้วยกระจกใสเอียงทำมุมประมาณเท่ากับเส้นรุ้ง ด้านล่างเจาะเป็นช่องเพื่อให้
อากาศเย็นจากภายนอกเข้า เมื่ออากาศรับเอาความชื้นจากวัสดุแล้ว จะไหลออกทางช่องระบาย
อากาศซึ่งอยู่ส่วนบนของด้านหลังกล่อง จากการทดลองอบแห้งผ้าสำลีชุบน้ำ พบว่ากล่องอบแห้งที่มี
มุมเอียงของกระจก 14 องศา และช่องระบายอากาศออกขนาด 11% ของพื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ให้
ประสิทธิภาพของการอบแห้งสูงสุด โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยมีค่า 48% และอัตราการอบแห้งมีค่าเฉลี่ย
 3.2 kg/m^2 ต่อวันที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย 16.7 MJ/m^2 ต่อวัน อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้
ภายในกล่องเท่ากับ $53 \text{ }^\circ\text{C}$

สุวัฒน์ ไทชนะ [28] ออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบการไหลของ
อากาศเป็นแบบธรรมชาติ ซึ่งเหมาะสมสำหรับอบแห้งวัสดุที่มีลักษณะเป็นชิ้น ตัวเครื่องอบแห้ง
ประกอบด้วยตู้อบแห้งและตัวรับรังสี ด้านหน้า ด้านข้างและด้านบนของตู้อบแห้งปิดด้วยกระจกใส
เพื่อให้รังสีดวงอาทิตย์ส่งผ่านเข้าไปภายในได้ วัสดุที่ต้องการอบแห้งวางอยู่บนชั้นต่างๆ ซึ่งลมร้อน
สามารถไหลผ่านได้ ตัวรับรังสีทำด้วยโครงเหล็กและไม่อัดทาสีดำด้าน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวดูดรังสี
ด้านบนปิดด้วยกระจกใส หลักการทำงานก็คล้ายกับเครื่องอบแห้งของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
ภายหลังได้มีการดัดแปลงตัวรับรังสีใหม่เพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดยเพิ่มแผ่นเหล็กทาสีดำด้านบน
และด้านล่างของตัวดูดรังสี [31] จากการทดลองอบแห้งผ้าสำลีชุบน้ำพบว่าประสิทธิภาพในการ
อบแห้ง (หมายถึงอัตราส่วนของความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อรังสีดวงอาทิตย์รวมบนพื้นราบ)
ของเครื่องอบแห้งที่มีตู้อบแห้งและตัวรับรังสีมีค่า 26% ประสิทธิภาพของตู้อบแบบหลังมีค่าสูงสุด
เมื่ออัตราส่วนของพื้นที่ช่องอากาศออกต่อพื้นที่ดูดรังสีดวงอาทิตย์ในแนวราบเท่ากับ 0.8%

Soponronnarit et al. [29] ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยแสงอาทิตย์ซึ่ง
ประกอบด้วยตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ 31.7 m^2 พัดลมขนาด 1.0 kW เต้าเผาและอุปกรณ์
แลกเปลี่ยนความร้อน และตู้อบแห้งซึ่งมีขนาด $2.4 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 1.7 \text{ m}$ สามารถจุได้สูงสุดประมาณ
 1 ตัน หลังคาของตู้อบปิดด้วยกระจกใสมีพื้นที่รับรังสี 12 m^2 จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของ
ระบบอบแห้งแปรผันโดยตรงกับความชื้นของกล้วยและอัตราส่วนของมวลแห้งของกล้วยต่อพื้นที่รับ
รังสี ประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าประมาณ 30% ที่ความชื้นกล้วยประมาณ 220% มาตรฐานแห้ง และ
อัตราส่วน 3.7 kg มวลแห้งของกล้วยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับรังสี

Soponronnarit and Tiansuwan [30] ทำการสร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยแสงอาทิตย์ ตัวรับรังสีติดตั้งจากหลังคาของโรงเรือนโดยใช้เหล็กชุบสังกะสีผูกฟูก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหลังคา ทำหน้าที่เป็นตัวดูดรังสีดวงอาทิตย์ การออกแบบนี้ไม่ใช้แผ่นปิดใสด้านบนด้านล่างของตัวดูดรังสีติดตั้งโฟมหนา 25 mm บนไม้ไผ่อัด ทำให้เกิดช่องว่างของอากาศระหว่างตัวดูดรังสีและโฟมที่มีระยะห่างโดยเฉลี่ยเท่ากับ 20 mm อากาศจะถูกดูดโดยพัดลมผ่านช่องว่างดังกล่าวและถูกทำให้ร้อนขึ้น อากาศร้อนที่ออกจากตัวรับรังสีจะถูกเป่าเข้าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นเมล็ดพืชอยู่กับที่ในแนวตั้ง พื้นที่ตัวรับรังสีประมาณ 18 ตารางเมตร จากผลการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกประมาณ 900 kg ในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์โดยใช้อากาศร้อนจากตัวรับรังสี แสดงให้เห็นว่าสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกจาก 22% เหลือ 16% มาตรฐานแห้งภายใน 1 วัน พัดลมที่ใช้เป็นแบบเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งหน้าและขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าขนาด 1.5 kW

