

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยด้านพลังงานทดแทนกำลังเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจอย่างมากในขณะนี้ อันเนื่องมาจากสภาวะการขาดแคลนพลังงานทำให้ราคาพลังงานในทุกรูปแบบปรับตัวสูงขึ้น ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการผลิตพลังงานจากชีวมวล ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ ก็คือ เตาแก๊สซิฟิเคชัน การใช้ชีวมวลผลิตพลังงาน และการนำพลังงานที่ได้จากชีวมวลมาใช้ มีดังต่อไปนี้

1. พลังงานชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเกษตร เช่น แกลบ ได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้ กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ชังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก กาบและกะลามะพร้าว ได้จากการนำมะพร้าวมาลอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิและน้ำมันมะพร้าว ส่าเหล้า ได้จากการผลิตแอลกอฮอล์ เป็นต้น

พลังงานชีวมวล (Bio-energy) หมายถึง พลังงานที่ได้จากชีวมวลชนิดต่างๆ โดยกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ

1. การเผาไหม้โดยตรง (combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผา จะได้รับความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวล ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับเคลื่อนไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้

2. การผลิตแก๊ส (gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่าแก๊สชีวภาพ (biogas) มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถนำไปใช้กับกังหันแก๊ส (gas turbine)

3. การหมัก (fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัว เกิดแก๊สชีวภาพ (biogas) ที่มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

4. การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช มีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

- 4.1 กระบวนการทางชีวภาพ ทำการย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน

4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี โดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการ Transesterification เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

4.3 กระบวนการใช้ความร้อนสูง เช่น กระบวนการไพโรไลซิส เมื่อวัสดุทางการเกษตรได้รับความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจน จะเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปของเหลวและแก๊สผสมกัน

2. รูปแบบการใช้พลังงานชีวมวล

วิธีการกำจัดเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่ถูกกล่าวถึงอยู่บ่อยครั้ง ได้แก่ การเผา ซึ่งเป็นกระบวนการที่ลดปริมาณขยะให้เหลือน้อยที่สุด แต่ก็มีผลข้างเคียงบ้าง คือ มลพิษทางอากาศและน้ำ และเชื้อเพลิงที่ต้องนำไปฝังกลบพร้อมกับก๊าซร้อนที่นำไปเป็นพลังงานผลิตไฟฟ้าได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแท้ที่จริงแล้ว เศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรนั้นหาใช่ของเหลือทิ้งที่ไร้ค่าโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในภาวะที่ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้นเรื่อย ๆ และเชื้อเพลิงฟอสซิลที่หาได้ยากขึ้นในอนาคต การแปลงวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรให้เป็นพลังงานจึงได้รับความสนใจมากขึ้น รูปแบบของการแปลงให้เป็นเชื้อเพลิงสามารถทำได้ 4 รูปแบบหลัก ดังนี้

1. การใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งโดยตรง หมายถึงการนำชีวมวลมาเผาในเตาเผาโดยตรง ความร้อนที่เกิดขึ้นนำมาผลิตไอน้ำ เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2. การใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งโดยผ่านการแปรสภาพหรือที่นิยมเรียกกันว่า RDF (Refuse Derived Fuel) เพราะองค์ประกอบของขยะนั้นมีหลากหลาย หากนำขยะไปแปรสภาพให้มีคุณสมบัติเหมาะสมก่อนการใช้อีกจะทำให้ได้ประโยชน์มากขึ้น ขั้นตอนและรูปแบบเพื่อเปลี่ยนสภาพจากขยะมาเป็นเชื้อเพลิงนั้นก็มีอยู่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับสภาพของขยะ และสภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ โดยทั่วไปจะประกอบด้วย การคัดแยกการลดขนาด การลดความชื้น เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ปัญหาประการหนึ่งของการคัดแยกขยะก็คือ ความชื้นที่ค้างอยู่ในขยะ จึงจำเป็นต้องมีการลดความชื้นซึ่งอาจใช้ความร้อนหรือก๊าซร้อนมาสัมผัสกับขยะโดยตรง หรืออาจใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางให้ความร้อนแก่ขยะซึ่งวิธีนี้ไอน้ำจะไม่สัมผัสกับขยะทำให้สามารถนำน้ำที่ควบแน่นกลับไปใช้ใหม่ได้

อีกรูปแบบหนึ่ง คือ ใช้วิธีการทางชีวภาพโดยการใช้ความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหมักขยะ วิธีนี้เหมือนกับการนำขยะอินทรีย์มาหมักโดยใช้ออกซิเจนเพื่อให้ย่อยสลายได้สารที่นำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน แต่ไม่ได้ปล่อยให้กระบวนการเกิดขึ้นจนสิ้นสุด ในระหว่างกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุนั้นจะเกิดความร้อนขึ้น และอาศัยความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ช่วยในการระเหยน้ำออกจากขยะ

เชื้อเพลิงขยะที่ได้จากการแปรสภาพนั้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เลย หรืออาจนำมาอัดเป็นแท่งหรือเป็นก้อนก่อนก็ได้เพื่อประโยชน์ในการขนส่งและการเก็บ รวมถึงค่าพลังงานที่ได้ก็จะมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับในปริมาณที่เท่ากัน ปัจจุบันในประเทศที่พัฒนาแล้ว วิธีการดังกล่าวได้รับความนิยม

มากขึ้นเป็นลำดับ เพราะเชื้อเพลิงที่ได้สามารถซื้อขายกันได้ทั้งในเชิงพาณิชย์ และขนถ่ายได้สะดวกโดยไม่ส่งกลิ่น และเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้ในหม้อน้ำ และเตาเผาต่าง ๆ โดยเฉพาะเตาเผาปูนซีเมนต์

3. การเปลี่ยนขยะให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊ส การเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สโดยทั่วไป เรียกว่า กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยก๊าซที่ได้มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทน รวมทั้งก๊าซอื่น ๆ สามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยอาจจะใช้ในรูปแบบของความร้อน ในอุตสาหกรรมเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซหรือน้ำมันเตาในหม้อไอน้ำ หรือใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยนำก๊าซที่ได้ไปใช้ในเครื่องยนต์ทดแทนน้ำมันดีเซล สิ่งที่ต้องพึงระวังในการใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ก็คือ คุณภาพของเชื้อเพลิงก๊าซที่ได้ทั้งในด้านองค์ประกอบของก๊าซและความสะอาดของก๊าซที่ได้ โดยเฉพาะองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ สิ่งที่เราเรียกว่า “ทาร์” หรือ “น้ำมันดิน” ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาใหญ่อันหนึ่งในการใช้เชื้อเพลิงก๊าซ รวมถึงปริมาณอนุภาคขนาดเล็กที่ปะปนอยู่ในก๊าซที่เกิดขึ้น และอาจรวมถึงองค์ประกอบที่เป็นมลพิษต่าง ๆ เช่น โลหะหนัก ที่อาจจะปะปนอยู่ในขยะ จึงกล่าวได้ว่าการเตรียมสภาพของขยะที่ดีก่อนนำมาใช้กับเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันนั้นจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น การควบคุมองค์ประกอบของขยะให้มีความสม่ำเสมอ ควบคุมความชื้นที่มีอยู่ในขยะให้ไม่สูงมากนัก มีการจัดการองค์ประกอบที่จะก่อให้เกิดสารมลพิษออกไป สิ่งเหล่านี้จะทำให้เชื้อเพลิงก๊าซที่ได้ออกมามีคุณภาพสูงขึ้น และสม่ำเสมอ ทำให้ระบบทำความสะอาดก๊าซสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากแก๊สซิฟิเคชันแล้วอีกวิธีการหนึ่งที่จะเปลี่ยนขยะให้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซคือ กระบวนการหมักอินทรีย์สารแบบไร้ออกซิเจนโดยก๊าซที่ได้เรียกว่า ก๊าซชีวภาพ ขยะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการนี้จำเป็นต้องมีการคัดแยก หรือมีการจัดการโดยให้มีแต่องค์ประกอบที่สามารถย่อยสลายได้ หรือที่เรียกว่าอินทรีย์สาร

4. การเปลี่ยนขยะให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก วิธีแรกใช้กระบวนการไพโรไลซิส โดยที่ขยะจะได้รับความร้อนโดยไม่มีอากาศหรือออกซิเจน เพื่อให้ขยะสลายตัว ซึ่งจะได้องค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ ของเหลว ของแข็ง และก๊าซ ในตอนแรกองค์ประกอบที่เป็นของเหลวจะอยู่ในสถานะก๊าซ เพราะกระบวนการไพโรไลซิสเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 500-700 องศาเซลเซียส เมื่อเราลดอุณหภูมิลง ของเหลวส่วนหนึ่งที่อยู่ในสถานะก๊าซจะควบแน่นกลายเป็นของเหลว ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ที่มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงแต่ยังไม่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้ทันที เพราะของเหลวที่ได้นี้เปรียบเสมือนน้ำมันดิบ ต้องไปผ่านกระบวนการเพิ่มเติมเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงเหลวที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ที่จะทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง

3. การผลิตโปรตีนเคส

การผลิตโปรตีนเคสได้จากชีวมวลเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีของสารสองสถานะคือของแข็งกับแก๊ส และสารสถานะเดียวกันคือแก๊สกับแก๊ส ซึ่งมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบและเป็นสารทำปฏิกิริยา

เริ่มต้น การผลิตแก๊สสำหรับเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์หรือกระบวนการทางความร้อนแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

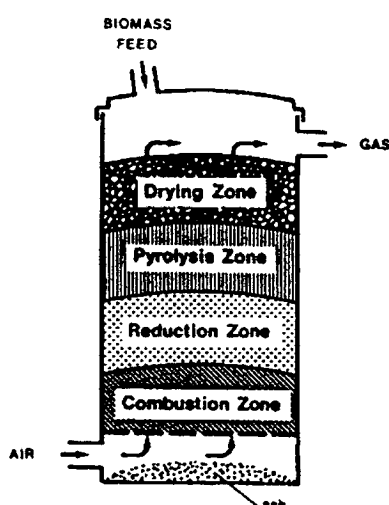
3.1 Fixed bed gasifier

เชื้อเพลิงภายในเตาผลิตแก๊สซิฟิเคชันมีตัวรองรับ เช่น ตะแกรงจึงเปรียบเสมือนอยู่กับที่ตลอดเวลาเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของแก๊สหรืออากาศสามารถแบ่งตามทิศทางการไหลของอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับทิศทางการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงได้ 3 ชนิด คือ

- Updraft gasifier คือ เตาผลิตแก๊สซิฟิเคชันแบบอากาศไหลขึ้น โดยอากาศจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างไหลขึ้นด้านบนในขณะที่เชื้อเพลิงจะเคลื่อนที่ลงด้านล่างในลักษณะสวนทางกันจึงอาจเรียกอีกชื่อว่า counter current gasifier ดังภาพที่ 2 ชั้นของปฏิกิริยาจะแบ่งเรียงเป็นลำดับจากระดับอุณหภูมิสูงในชั้นเผาไหม้ไปสู่อุณหภูมิต่ำชั้นลดความชื้น

Updraft gasifier มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงเนื่องจากแก๊สร้อนที่เกิดจากชั้นเผาไหม้ไหลผ่านชั้นเชื้อเพลิง ความร้อนสัมผัสจะถูกถ่ายเทให้กับเชื้อเพลิงก่อนไหลลงสู่ชั้นไพโรไลซิสและชั้นรีดักชันต่อไป ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากชั้นไพโรไลซิสและชั้นลดความชื้นจะปะปนอยู่ในโปรดิวเซอร์แก๊สและเมื่อออกจากเตาผลิตแก๊สอุณหภูมิโปรดิวเซอร์แก๊สจะลดลง ทาร์และน้ำมันจะกลั่นตัวเป็นของเหลว ดังนั้นโปรดิวเซอร์แก๊สมีสิ่งปนเปื้อนสูง

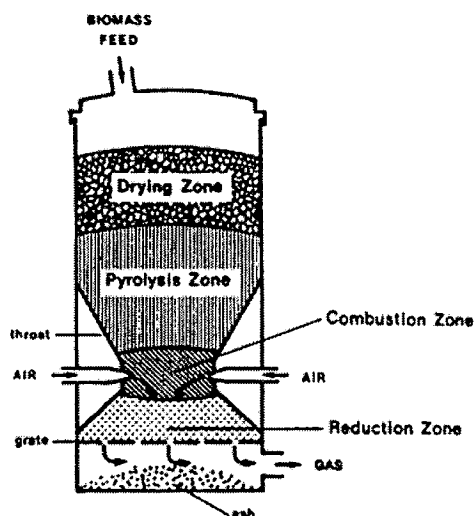
การผลิตแก๊สโดยเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลขึ้นอาจจะป้อนไอน้ำช่วยในการทำปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนและช่วยควบคุมอุณหภูมิชั้นเผาไหม้กรณีเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงไม่จำเป็นต้องป้อนไอน้ำ พารามิเตอร์สำคัญประกอบด้วยวิธีการป้อนอากาศ ตำแหน่งแก๊สไหลออก ชนิดและขนาดของตะแกรง การบดขยี้ชั้นเผาไหม้ ความหนาของชั้นเชื้อเพลิงและค่า Specific Gasification Rate (sgr)



ภาพที่ 2 เตาแก๊สซิฟิเคชันแบบอากาศไหลขึ้น

sgr หมายถึงอัตราส่วนปริมาณเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยาผลิตแก๊สในเวลา 1 ชั่วโมง (kg/hr) ต่อพื้นที่หน้าตัดของเตาแก๊ส (m^2) ขึ้นอยู่กับชนิดเชื้อเพลิง การออกแบบและการทำงานของแก๊สซิไฟเออร์ ค่า sgr ของ updraft gasifier อยู่ระหว่าง $100\text{--}300 \text{ kg/hr-m}^2$

- Downdraft gasifier คือเตาผลิตแก๊สที่อากาศไหลลง โดยอากาศไหลลงทิศทางเดียวกับการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงจึงอาจเรียกว่า Cocurrent gasifier เตาชนิดนี้มีจุดประสงค์ให้ผลิตภัณฑ์จากชั้นไพโรไลซิสไหลผ่านชั้นเผาไหม้ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นแก๊สก่อนที่จะไหลออกจากเตาผลิตแก๊ส ดังภาพที่ 3 โปรติวเซอร์แก๊สจึงมีทาร์ต่ำแต่มีอุณหภูมิสูง $300\text{--}500^\circ\text{C}$ จุดสำคัญเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง คือ ลักษณะชั้นเผาไหม้ รูปแบบของตะแกรง และวิธีการป้อนอากาศ

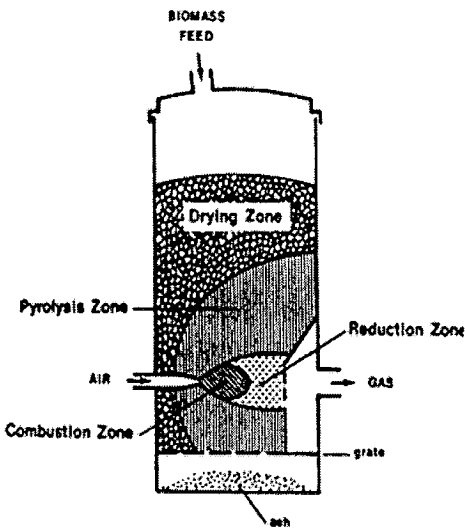


ภาพที่ 3 เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลลง

วิธีการป้อนอากาศและรูปร่างของชั้นเผาไหม้ที่เล็กลงโดยการลดพื้นที่หน้าตัดตำแหน่งป้อนอากาศเพื่อให้อุณหภูมิมีค่าสูงเพียงพอในการสลายทาร์ เชื้อเพลิงที่มีเถ้าสูงกว่าร้อยละ 6 และความชื้นสูงกว่าร้อยละ 20 ไม่เหมาะสมกับเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง เนื่องจากเถ้าอาจจะหลอมละลายติดกับคอคอดขัดขวางการไหลของเชื้อเพลิงและแก๊ส

- Crossdraft gasifier คือ เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลขวาง เป็นระบบที่อากาศไหลในทิศทางขวางกับการไหลเลื่อนของเชื้อเพลิงดังภาพที่ 4 ลักษณะชั้นปฏิกิริยาโดยเฉพาะชั้นเผาไหม้ และชั้นรีดักชัน จะอยู่ใกล้ชิดกันมาก ดังนั้นจะสามารถผลิตแก๊สได้อย่างรวดเร็วและแปรผันได้ง่ายปกติบริเวณการเผาไหม้จะอยู่กึ่งกลางของเตาผลิตแก๊ส แต่ขอบเขตของการเผาไหม้อาจขยายกว้างขึ้นเมื่อความเร็วอากาศสูงขึ้น

จุดสำคัญของเตาผลิตแก๊สซิฟิเออร์แบบไหลขวาง คือ ความเร็วของอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยา และขอบเขตของชั้นเผาไหม้ ซึ่งปกติความเร็วอากาศจะมีค่าสูงและเกิดอุณหภูมิการเผาไหม้โปรติวเซอร์แก๊สที่ออกจากเตาผลิตแก๊สมีอุณหภูมิสูงและสิ่งปนเปื้อนสูง ปกติชั้นรีดักชัน มีขนาดเล็กจึงทำให้เวลาสั้นในการเปลี่ยนรูปคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นโปรติวเซอร์แก๊สจะมีค่าความร้อนต่ำแต่เมื่อป้อนอากาศที่ความเร็วสูงมากจะมีผลต่อองค์ประกอบโปรติวเซอร์แก๊ส โดยอัตราการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์สูงขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเข้าใกล้สภาวะสมดุล

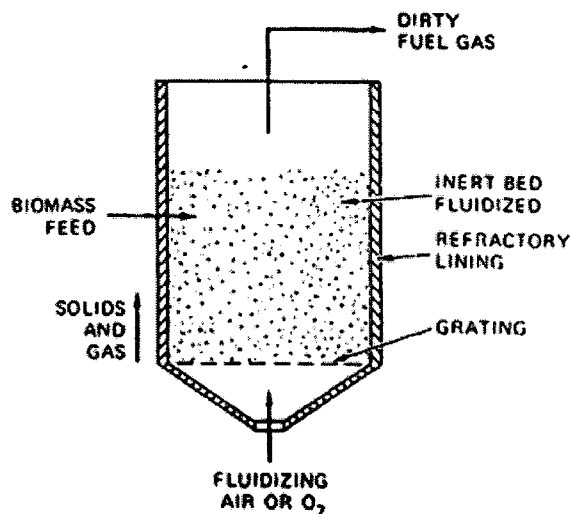


ภาพที่ 4 เตาแก๊สซิฟิเออร์แบบอากาศไหลขวาง

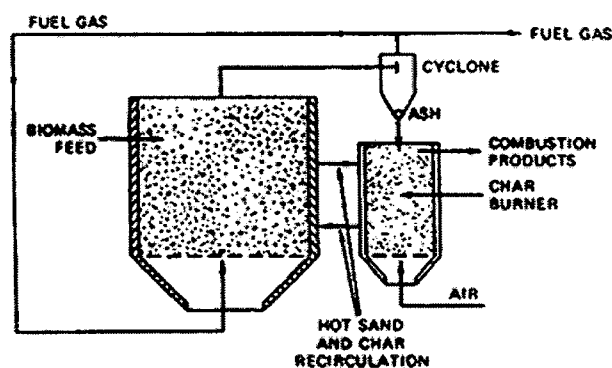
3.2 Fluidized bed gasifier

คือ เตาผลิตแก๊สซิฟิเออร์แบบพ่นฝอยที่มีรูปแบบมีความเหมาะสมกับเชื้อเพลิงบางชนิด เช่น เชื้อเพลิงมีขนาดเล็กโดยธรรมชาติ มีความหนาแน่นต่ำ ปริมาณของเถ้าสูงและอุณหภูมิการหลอมเหลวของเถ้าต่ำในระบบแบบพ่นฝอย การสัมผัสระหว่างอากาศสารตัวกลาง (bed) กับเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นสามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 800-900^oC ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้าได้

เตาผลิตแก๊สซิฟิเออร์แบบพ่นฝอยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรงและการเผาไหม้ในหีองเผาไหม้สำรอง ดังภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ ในสภาวะการทำงานแบบคงตัว (steady state) อุณหภูมิของสารตัวกลาง เช่น ทราย ถ่านหรือวัสดุเฉื่อยอื่นๆ จะมีการกระจายสม่ำเสมออย่างทั่วถึงการเผาไหม้และการผลิตแก๊สจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับที่สภาวะการเกิด fluidized bed ของสารตัวกลางแต่เนื่องจากเตาผลิตแก๊สซิฟิเออร์แบบพ่นฝอย ต้องการอากาศที่ความเร็วสูง ดังนั้นเกิดการสูญเสียเชื้อเพลิงไปกับอากาศบางส่วนและโปรติวเซอร์แก๊สจะมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ



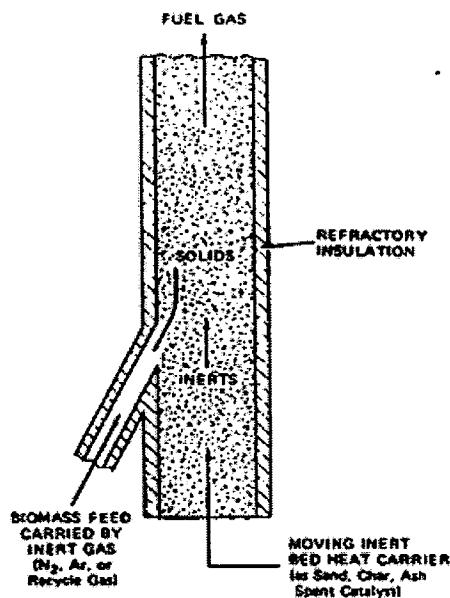
ภาพที่ 5 เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอยโดยตรง



ภาพที่ 6 เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอยในห้องเผาไหม้

3.3 เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบหมุนวน (entrained bed gasifier or moving bed gasifier)

เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงการทำงานในการถ่ายเทความร้อนคล้ายกับเตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบพ่นฝอย โดยปกติควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง $482-593^{\circ}\text{C}$ เตาผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบหมุนวนมีประสิทธิภาพสูงในการทำปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับแก๊สโดยมีลักษณะเชื้อเพลิงที่เหมาะสม เช่น ผงถ่านหินและชีวมวลที่มีขนาดเล็กๆ การทำปฏิกิริยาระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเกิดขึ้นในช่องปฏิกิริยาแบบหมุนวน แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 เตาผลิตแก๊สแบบหมุนวน

4. ไซโคลน (Cyclone)

เครื่องเก็บฝุ่นเชิงกล (Mechanical Collectors) เป็นเครื่องมือที่แยกฝุ่นหรืออนุภาคออกจากแก๊ส หรืออากาศ โดยใช้แรงถ่วง หรือแรงเฉื่อยกระทำบนอนุภาคหรือทั้ง 2 อย่าง ตัวอย่างเครื่องเก็บฝุ่นประเภทนี้ได้แก่ ถังตกอนุภาค (gravity settling chambers) และไซโคลน (cyclone collectors) ไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับแยกอนุภาคออกจากอากาศ โดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสอากาศหมุนวน (vortex) จึงสามารถแยกอนุภาคออกจากอากาศได้ การเกิดกระแสวนทำได้โดยการให้อากาศไหลเข้าสู่ไซโคลนในแนวสัมผัส หรือแนวแกนโดยผ่าน vanes^{1.2} กลไกในการจับอนุภาค (Collection Mechanisms) กลไกที่ใช้เก็บอนุภาคในไซโคลนมี 2 อย่าง คือ

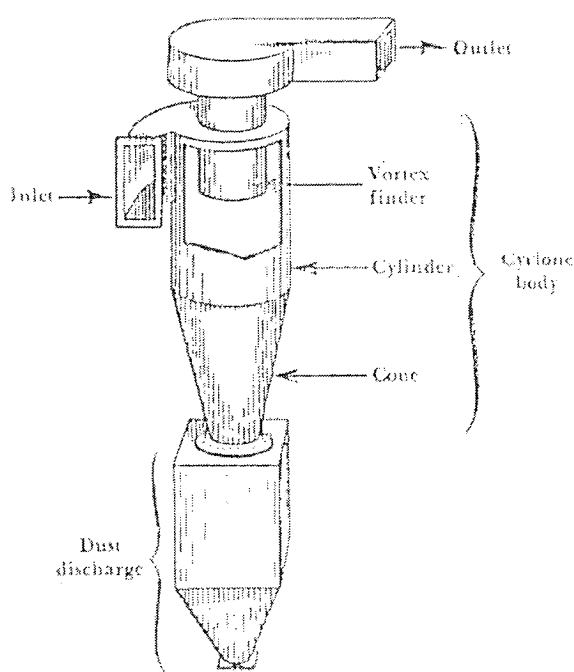
ก. แรงหนีศูนย์กลางหรือแรงเหวี่ยง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสอากาศมีการหมุน ทำให้อนุภาคถูกเหวี่ยงไปยังผนังของไซโคลน

ข. แรงถ่วง เมื่ออนุภาคเคลื่อนถึงผนังของไซโคลนแล้ว อนุภาคที่หนักจะได้รับแรงถ่วงทำให้อนุภาคตกลงไปที่ถังพักข้างล่าง

4.1 หลักการทำงานของไซโคลน

ไซโคลนประกอบด้วยส่วนรูปทรงกระบอก และมีปลายเป็นรูปโคน (ภาพที่ 8) อากาศเคลื่อนเข้าสู่ไซโคลนในแนวสัมผัสที่ใกล้ส่วนบนของเครื่องมือด้วยความเร็วประมาณ 30 เมตรต่อวินาที เมื่ออากาศผ่านเข้ามาในไซโคลนจะเกิดกระแสวน (เรียกว่า main vortex) ขึ้น ซึ่งทำให้เกิดแรงหนี

ศูนย์กลางเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไซโคลนกระแสนี้จะเคลื่อนลงจนถึงจุดหนึ่งที่อยู่เกือบปลายโคนอากาศจะหมุนกลับเป็นกระแสนที่เล็กกว่าเดิม (เรียกว่า core vortex) และเคลื่อนที่ขึ้นไปตามตัวไซโคลน จนออกไปทางท่อออกที่อยู่ส่วนบนของเครื่อง นั่นคือมีกระแสน 2 ชั้น (double vortex) เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันสำหรับอนุภาค ที่ถูกเหวี่ยงไปยังผนังของไซโคลนจะเคลื่อนที่ลงไปยังส่วนปลายของโคนไปยังถังพัก (Hopper) เนื่องจากแรงถ่วง ส่วนอากาศที่ไม่ใช้อนุภาคก็จะหมุนออกไปทางท่อออกที่อยู่ส่วนบนของไซโคลน



ภาพที่ 8 ส่วนประกอบของไซโคลน

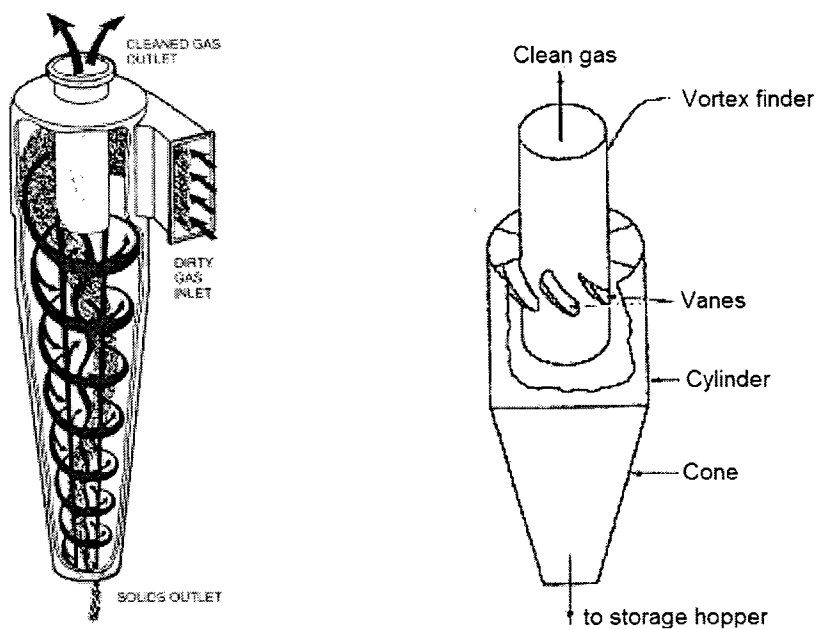
4.2 ชนิดของไซโคลน

ไซโคลนแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ตามวิธีการให้อากาศเข้าสู่เครื่อง เพื่อให้เกิดการหมุนวน คือ

- ก. ไซโคลนที่อากาศไหลเข้าตามแนวเส้นสัมผัส (Tangential entry cyclone)
- ข. ไซโคลนที่อากาศไหลเข้าตามแนวแกน (Axial entry) (ดูภาพที่ 8)

โดยทั่วไปอากาศไหลเข้าสู่ไซโคลนตามแนวสัมผัส เพื่อให้เกิดการหมุนวน ท่อเข้ามักเป็นรูปสี่เหลี่ยมมีผนังภายในค้อยๆ โค้ง และสัมผัสกับไซโคลนส่วนที่เป็นทรงกระบอกสำหรับไซโคลนชนิดที่มีทางเข้าตามแนวแกน อากาศและอนุภาคเข้าสู่ไซโคลนตามแนวแกนของเครื่องโดยผ่าน vanes (ภาพที่ 9) แบบนี้ใช้มากในมัลติไซโคลน ไม่ว่าจะเป็นไซโคลนชนิดใด จะมีการทำงานขึ้นกับความเฉื่อยของอนุภาคที่จะเคลื่อนในแนวเส้นตรงเมื่ออากาศเปลี่ยนทิศทาง ทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางดังกล่าวส่วนใหญ่ไซโคลนทำมาจากเหล็กคาร์บอน หรือใช้โลหะหรือเซรามิกก็ได้ ถ้าต้องการใช้ในงานที่มีอุณหภูมิ

สูง การกัดกร่อนและสึกกร่อน แต่ผิวภายในต้องเรียบ เนื่องจากไซโคลนเป็นเครื่องมือที่ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ ดังนั้นการเดินเครื่องจึงง่าย และไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนักนอกจากนี้ไซโคลนอาจแบ่งออกเป็น แบบที่ใช้กันทั่วไป (conventional cyclones) และแบบที่มีประสิทธิภาพสูง (high efficiency cyclone) ซึ่งมีขนาดเล็ก (body diameter) (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3 ฟุต หรือ 0.9 เมตร ส่วนไซโคลนทั่วไป มีขนาดตั้งแต่ 4 ถึง 12 ฟุต หรือ 1.2 ถึง 3.6 เมตร) ประสิทธิภาพของไซโคลน 3 ชนิด คือ ไซโคลนที่มีประสิทธิภาพสูง ไซโคลนที่ใช้กันทั่วไป และไซโคลนที่รับอัตราการไหลสูง (High volume cyclone)

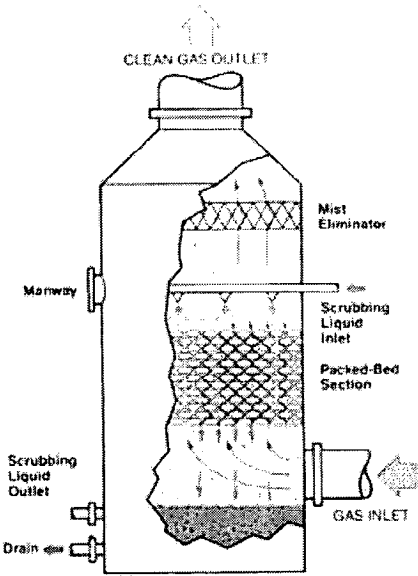


ภาพที่ 9 ชนิดของไซโคลน

5. เวทสครับเบอร์ (Wet Scrubbers)

เวทสครับเบอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้ในการแยกอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กออกจากกระแสอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการชักนำอากาศที่มีฝุ่นละอองเจือปนอยู่ให้เคลื่อนที่เข้าสู่อุปกรณ์แล้วไปสัมผัสกับละอองของเหลวที่อยู่ในรูปของละอองน้ำ ม่านน้ำ หรือผ่านชั้นวัสดุ (Packed beds) ซึ่งมีน้ำเคลือบอยู่ที่ผิว เวทสครับเบอร์ชนิดที่ใช้การสเปรย์ละอองน้ำ (Spray droplet) นับเป็นวิธีการที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการควบคุมมลพิษทางอากาศ เนื่องจากสามารถกำจัดได้ทั้งมลพิษที่เป็นก๊าซ ไอระเหย และอนุภาคออกจากกระแสอากาศไปพร้อมๆ กัน รวมถึงสามารถใช้ปรับสภาวะที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความชื้นของอากาศได้ วิธีการดักจับอนุภาคโดยใช้ระบบเปียก (Wet collection) จะมีข้อได้เปรียบมากกว่าการดักจับโดยใช้ระบบแห้ง (Dry collection) ตัวอย่าง เช่น สามารถลดความเสี่ยงจากการระเบิดของฝุ่น และสามารถนำมาใช้กับอากาศที่มีอุณหภูมิสูงรวมถึงอนุภาคหรือของเหลวที่มี

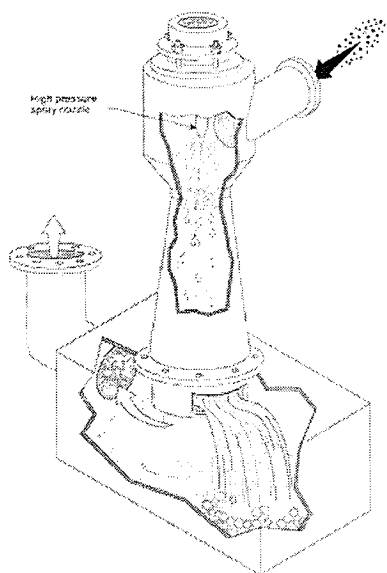
ลักษณะเหนียว (Sticky) ในขณะที่เดียวกันข้อด้อยที่เกิดจากการใช้เวทสครับเบอร์ ได้แก่ ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดหรือบำบัดมลพิษจากน้ำที่ผ่านการใช้งานภายในเวทสครับเบอร์ ตัวอย่างของกระบวนการหรืออุตสาหกรรมที่มีการนำเวทสครับเบอร์ไปใช้งาน ได้แก่ บอยเลอร์ (Boilers) เตาเผาปูน (lime kilns) โรงหลอม (Foundry cupolas) เตาเผาขยะหรือกากของเสีย (Municipal sludge incinerators) และอุปกรณ์ควบคุมกลิ่น (Odor control devices)



ภาพที่ 10 โครงสร้างของเวทสครับเบอร์แบบหอสเปรย์น้ำ (Spray tower wet scrubber)

5.1 การใช้งานเวทสครับเบอร์

เวทสครับเบอร์สามารถนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลาย โดยชนิดของเวทสครับเบอร์ที่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ หอสเปรย์น้ำ (Spray tower) และเวนทูรีสครับเบอร์ (Venturi scrubber) โดยปัจจัยเบื้องต้นที่มีความสำคัญในการออกแบบเวทสครับเบอร์ ประกอบด้วยค่าความดันลด (Pressure drop) ค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอากาศ (Liquid to gas flow rate; L/G, gal/1000 ft³ of gas) การกระจายขนาดของละอองน้ำ (Droplet-size distribution) โดยทั่วไปเวทสครับเบอร์ที่มีขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคมากกว่าเวทสครับเบอร์ที่มีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบที่ค่าความดันลดและค่า L/G เท่ากัน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มขึ้นของระยะทางที่หยดละอองน้ำเคลื่อนที่ได้ในตัวกลางที่เป็นอากาศภายในเวทสครับเบอร์



ภาพที่ 11 โครงสร้างของเวทสครับเบอร์แบบเวนทูรี (Venturi wet scrubber)

5.2 ประเภทของเวทสครับเบอร์

เวทสครับเบอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลากหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะใช้วิธีในการสร้างหยดละอองน้ำที่ใช้ในการจับอนุภาคฝุ่นวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีร่วมกัน ดังต่อไปนี้ คือ

- 1) การใช้หัวฉีดสเปรย์ (Spray nozzles)
- 2) การใช้คอขวดเวนทูรี (Venturi constriction)
- 3) การชนกระทบกับพื้นผิว (Impingement surface)
- 4) การสร้างกระแสวนไซโคลน (Cyclone opening)
- 5) การสเปรย์ที่ทางเข้าออริฟิส (Spray inducing orifices)
- 6) การขับเคลื่อนใบพัดเชิงกล (Mechanically driven rotors)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยา จงเจริญ และ บุญเลี้ยง ชัมศรีสกุล ทำการผลิตโปรตีนเชอร์แก๊สเพื่อที่จะใช้ในการเดินเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยเผาไหม้ถ่านไม้ในเตาที่มีอากาศจำกัดได้โปรตีนเชอร์แก๊สที่มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ประมาณร้อยละ 20-30 จากนั้นให้โปรตีนเชอร์แก๊สไหลผ่านเครื่องทำความสะอาดแก๊ส เครื่องหล่อเย็นแล้วผสมกับอากาศป้อนเข้าไปในเครื่องยนต์ขนาด 1300 ซีซี 4 จังหวะ 4 สูบ พบว่าเมื่อเครื่องยนต์ทำงานโดยอาศัยพลังงานจากโปรตีนเชอร์แก๊สอย่างเดียวและที่ความเร็วรอบ 1330 rpm ในสถานะที่ไม่มีภาระในการทำงานจะใช้ถ่านไม้ 1.5 กิโลกรัม ซึ่งสามารถแทนน้ำมันได้ 1 ลิตร

ศรินทร์ จินดารักษ์ [2] ได้นำเสนอการผลิตเชื้อเพลิงชีวจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นแนวทางหนึ่งในการกำจัดสิ่งเหลือใช้และเป็นการหาแหล่งพลังงานใหม่ ในการวิจัยนี้เป็นการพัฒนา

เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากชังข้าวโพด ที่ผลิตขึ้นที่โรงงานอัดแท่งถ่านชังข้าวโพด ตำบลหนองกระเฒ่า อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนชังข้าวโพดในการผลิต และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวอีกด้วย โดยการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฟางข้าวกับชังข้าวโพด ที่ใช้ กาวแป้งมันเป็นตัวเชื่อมประสาน มาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวภาพนั้น ในอัตราส่วน 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 พบว่า มีค่าความร้อนเฉลี่ยคือ 4,216, 4,444, 4,753, 4,953, 5,252 และ 5,802 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภท ถ่านอัดแท่งมีค่า ความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ 6:4 และ 5:5 แต่ในการวิจัยนี้ใช้อัตราส่วน 6:4 มาเป็นตัวอย่างในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เพราะต้องการใช้ฟางข้าวเป็นส่วนผสมหลัก คุณสมบัติทางด้านอื่นๆ คือ ปริมาณเถ้าเฉลี่ยร้อยละ 17.90 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 5.99 มาตรฐานเปียก และค่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน ของแท่งเชื้อเพลิงชีวภาพได้ร้อยละ 20.79

เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และคณะ[3] ได้ศึกษาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากกากมันสำปะหลังเปียกโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากมันสำปะหลังเปียกมาแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง (RDF) แล้วส่งเข้าเตาแก๊สซิไฟเออร์ผลิตเป็นแก๊สชีวมวลป้อนให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลังเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า ระบบที่ทำการออกแบบใช้กากมันเปียกความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ ผ่านระบบการอัดเม็ด และลดความชื้น ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลแข็ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ที่ความชื้น 15 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สมดุลมวลและพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพแข็งนี้ด้วย ปริมาณของเชื้อเพลิงชีวภาพแข็งที่ใช้ผลิตแก๊สชีวมวลเพื่อจ่ายให้กับเครื่องยนต์ต้นกำลัง คือ 180 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยระบบผลิตไฟฟ้าที่ทำการออกแบบมีขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ 100 กิโลวัตต์

เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และคณะ[4] ได้นำเสนอผลการทดสอบและวิเคราะห์ศักยภาพของเชื้อเพลิงกากมันสำปะหลังอัดแท่งในเชิงของการให้กำเนิดโปรตีนเซอร์แก๊สด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งแก๊สที่ได้จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบอากาศไหลลง ไชโคลน เวทสกริบเบอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทำการทดสอบเผาเชื้อเพลิงกากมันสำปะหลังอัดแท่งที่ความชื้นร้อยละ 20 30 และ 40 ตามลำดับ และทำการวัดองค์ประกอบของแก๊สต่างๆที่เกิดขึ้น พร้อมทดสอบคุณภาพของแก๊สด้วยการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าขนาด 2.2 กิโลวัตต์ จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงกากมันที่ความชื้นร้อยละ 20 สามารถผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สที่มีคุณภาพดีที่สุด แก๊สที่ได้ติดไฟง่าย และสามารถใช้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง