

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### พลังงาน

พลังงาน หมายถึง สิ่งที่ทำให้สิ่งต่างๆเกิดการเคลื่อนที่ เปลี่ยนแปลง เจริญเติบโตหรือทำให้เกิดเป็นงาน พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงได้ แต่ไม่สามารถถูกทำลายได้เพียงแค่ถูกเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ เช่น ไฟฟ้า น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และยังรวมไปถึงสิ่งอื่นๆที่ทำให้เกิดงานได้อีก เช่น ลม (เอามาหมุนกังหันวิดน้ำเข้านา หรือ เอามาปั่นไฟ) หรือแสงอาทิตย์ (เอามาต้มน้ำร้อน หรือเอามาผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยตรง) เป็นต้น

พลังงานแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

#### 1. พลังงานที่ใช้แล้วสูญสิ้น (Non - renewable Energy)

พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถฟื้นฟูขึ้นใหม่และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหากใช้อย่างไม่ถูกวิธี พลังงานจากซากดึกดำบรรพ์ (Fossil) ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติและพลังงานนิวเคลียร์ ภาพพลังงานสูญสิ้นได้แก่ พลังงานน้ำมัน, พลังงานก๊าซธรรมชาติ, พลังงานถ่านหิน และ พลังงานนิวเคลียร์



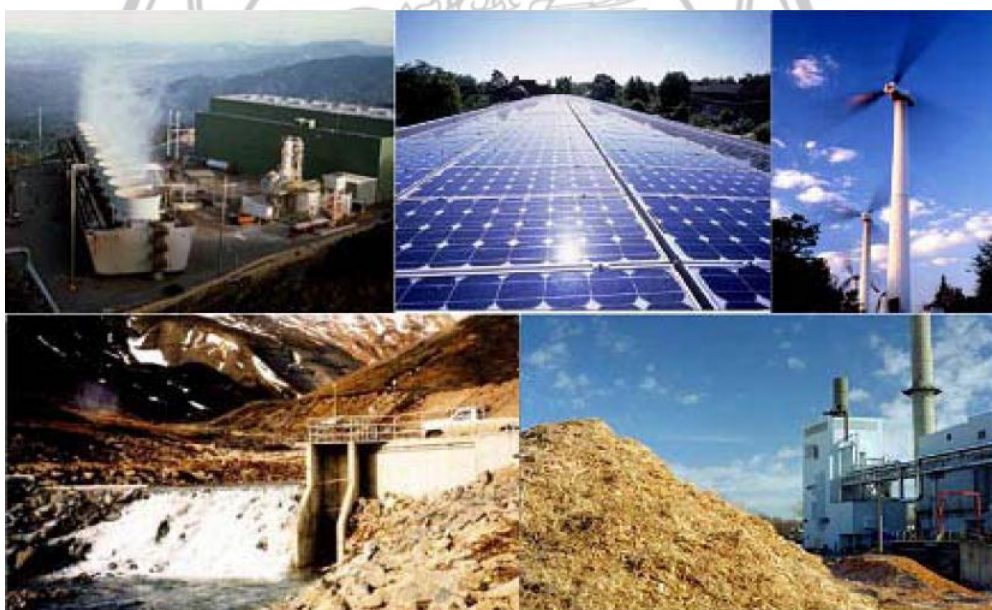
ภาพ 1 พลังงานสูญสิ้น (Nonrenewable Energy)

ที่มา: Energy Information Administration, 2001

## 2. พลังงานใช้ไม่หมด หรือ พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy)

พลังงานที่ไม่มีวันหมดไป เป็นพลังงานที่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ได้แก่ ไม้ กระจาด ขี้เถ้า กาก (ขี้เถ้า) ขี้เถ้า ชีวมวล (เช่น มูลสัตว์ และ กากชีวมวล) น้ำ (จากเขื่อนไหลมาหมุนกังหันปั่นไฟ) แสงอาทิตย์ (ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้) ลม (หมุนกังหันลมผลิตไฟฟ้า) และคลื่น (กระแทกให้กังหันหมุนปั่นไฟ) และที่ว่าเป็นใช้ไม่หมดก็เพราะสามารถหามาทดแทนได้ เช่น ปลูกป่าเอาไว้มาทำฟืน หรือปล่อยน้ำจากเขื่อนมาปั่นไฟ แล้วไหลลงทะเลกลายเป็นไอ และเป็นฝนตกลงมาสู่โลกอีก หรือ แสงอาทิตย์ที่ได้รับจากดวงอาทิตย์อย่างไม่มีวันหมดสิ้น

ภาพพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ได้แก่ พลังงานความร้อนใต้พิภพ, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานชีวมวล, พลังงานน้ำจากเขื่อน และ พลังงานลม ดังแสดงในภาพ 2 (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2543 อ้างอิงใน นายกฤษณ์ พิเศษศรี, 2546, หน้า 4-5)



ภาพ 2 พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy)

ที่มา: Energy Information Administration, 2001

### ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น ผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ เช่น แกลบ ฟาง กากขี้เถ้า ต้นขี้เถ้า กะลา ปาล์ม ทะลายปาล์ม กะลามะพร้าว เศษไม้ เศษหญ้า นอกจากนี้ยังรวมถึงมูลสัตว์ที่ใช้ใน

การเกษตร เช่น โคและสุกร และของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร เช่น เปลือกสับปะรด จากโรงงานสับปะรดกระป๋อง หรือน้ำเสียจากโรงงานเป็นต้น ชีวมวล สามารถเปลี่ยนรูปเป็น พลังงานได้ เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้น พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและเปลี่ยน พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ได้ออกมา เป็น แป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงก็จะได้ พลังงานออกมา (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มุขนิธิพลังงานเพื่อ สิ่งแวดล้อม, 2545 อ้างอิงใน นายกฤษพนธ์ เพียนศรี, 2546, หน้า 4-5)

### ประโยชน์ของพลังงานชีวมวล

ชีวมวล มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทย การนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียเงินตรา ต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงและสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่น นอกจากนี้การผลิตพลังงาน จากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม จะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือน กระจก เนื่องจากการปลูกทดแทนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการหมุนเวียนและไม่มีการ ปลดปล่อยเพิ่มเติม การพัฒนาโครงการเกี่ยวกับชีวมวลจะสามารถเสริมสร้างความเข้มแข็งและ การมีส่วนร่วมของชุมชนได้อีกด้วย

ดังนั้นหากมีการนำชีวมวลมาใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้าหรือใช้เป็นทดแทนในรูปแบบต่างๆ อย่างเต็มรูปแบบและมีประสิทธิภาพ จะเกิดประโยชน์เบื้องต้นที่เห็นได้ชัดเจน คือ

1. การเผาไหม้ถ่านหินและถ่านหินก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นในชั้น บรรยากาศ ซึ่งถือว่าเป็น ก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และ ก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นต้น ทำหน้าที่ห่อหุ้มโลกไว้ ถ้ามีมากเกินไป จะทำให้โลกไม่ สามารถสะท้อนความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์กลับออกไปได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้โลกร้อนขึ้น ) แต่ การเผาชีวมวลไม่ถือว่าก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น จะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้โดยพืช เพื่อการเจริญเติบโตครั้งต่อไป

2. หากไม่นำชีวมวลมาใช้ โดยปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ จะเกิดก๊าซมีเทน ซึ่ง ถือว่าเป็น ก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่ง และมีอันตรายกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า

3. ชีวมวลจะมีองค์ประกอบของกำมะถัน หรือซัลเฟอร์ ไม่เกินร้อยละ 0.2 ดังนั้นการนำ ชีวมวลมาเผาไหม้ จะไม่สร้างปัญหาเรื่องฝนกรด (น้ำมันเตามีปริมาณกำมะถันประมาณร้อยละ 2 ส่วนถ่านหินมีปริมาณกำมะถันประมาณ 0.3-3.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน)

4. ขี้เถ้าของชีวมวลมีสภาพเป็นต่าง ดังนั้นเหมาะสมที่นำไปปรับสภาพดินที่เป็นกรด เพื่อใช้ในการเพาะปลูก นอกจากนี้ขี้เถ้าของชีวมวลบางประเภทยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ถลุงเหล็ก หรือผสมในซีเมนต์
5. การนำชีวมวลมาใช้ นอกจากจะก่อให้เกิดรายได้แก่ผู้ผลิตชีวมวลเช่น เกษตรกร โรงสี ข้าว และเจ้าของสวนยางพารา เป็นต้น
6. เศรษฐกิจท้องถิ่นจะเจริญเติบโต เกษตรกรจะมีรายได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถขาย ได้ทั้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและเศษเหลือจากการเกษตรที่เคยทิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดรายได้กับชุมชนผ่าน ทางภาษีท้องถิ่น และยังเป็นการลดภาระในการกำจัดเช่นนำไปบำบัดน้ำเสีย ผังกลบ หรือเผาทิ้ง
7. มีการพัฒนาอุตสาหกรรมอื่นๆ ตามมา เนื่องจาก โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจาก เชื้อเพลิงชีวมวล สามารถช่วยพัฒนาอุตสาหกรรม ต่อเนื่องในท้องถิ่นได้
8. ช่วยสร้างงานในท้องถิ่นนั้น เพราะจะมีการจ้างงานเพื่อทำงานในโรงไฟฟ้า เกิดระบบ เศรษฐกิจรอบแหล่งผลิต เงินหมุนเวียนอยู่ในท้องถิ่น ประชาชนไม่ย้ายถิ่นฐานเพื่อหางานทำที่อื่น
9. เป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
10. ความมั่นคงในการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีโรงไฟฟ้าพลัง ชีวมวลขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วประเทศ ปัญหาไฟดับไฟดับในพื้นที่ห่างไกลจะลดลงหากมี โรงไฟฟ้าขนาดเล็กไปอยู่ใกล้ๆ (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2545)
11. ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ทำหน้าที่ห่อหุ้มโลกไว้ ถ้ามีมากเกินไป จะทำให้โลกไม่สามารถ สะท้อนความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์กลับออกไปได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้โลกร้อนขึ้น ) แต่การเผาชีวมวลไม่ถือว่ามีก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะถูก หมุนเวียนกลับไปใช้โดยพืช เพื่อการเจริญเติบโตครั้งต่อไป
12. หากไม่นำชีวมวลมาใช้ โดยปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ จะเกิดก๊าซมีเทน ซึ่ง ถือว่าเป็น ก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่ง และมีอันตรายกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า
13. ชีวมวลจะมีองค์ประกอบของกำมะถัน หรือซัลเฟอร์ ไม่เกินร้อยละ 0.2 ดังนั้นการนำ ชีวมวลมาเผาไหม้ จะไม่สร้างปัญหาเรื่องฝนกรด (น้ำมันเตามีปริมาณกำมะถันประมาณร้อยละ 2 ส่วนถ่านหินมีปริมาณกำมะถันประมาณ 0.3-3.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นกับประเภทของถ่านหิน)
14. ขี้เถ้าของชีวมวลมีสภาพเป็นต่าง ดังนั้นเหมาะสมที่นำไปปรับสภาพดินที่เป็นกรด เพื่อใช้ในการเพาะปลูก นอกจากนี้ขี้เถ้าของชีวมวลบางประเภทยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ถลุงเหล็ก หรือผสมในซีเมนต์

15. การนำชีวมวลมาใช้ นอกจากจะก่อให้เกิดรายได้แก่ผู้ผลิตชีวมวลเช่น เกษตรกร โรงสีข้าว และเจ้าของสวนยางพารา เป็นต้น

16. เศรษฐกิจท้องถิ่นจะเจริญเติบโต เกษตรกรจะมีรายได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถขายได้ทั้งผลิตผลทางการเกษตรและเศษเหลือจากการเกษตรที่เคยทิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดรายได้กับชุมชนผ่านทางภาษีท้องถิ่น และยังเป็นการลดภาระในการกำจัดเช่นนำไปบำบัดน้ำเสีย ผังกลบ หรือเผาทิ้ง เป็นต้น

17. มีการพัฒนาอุตสาหกรรมอื่นๆ ตามมา เนื่องจาก โครงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล สามารถช่วยพัฒนาอุตสาหกรรม ต่อเนื่องในท้องถิ่นได้

18. ช่วยสร้างงานในท้องถิ่นนั้น เพราะจะมีการจ้างงานเพื่อทำงานในโรงไฟฟ้า เกิดระบบเศรษฐกิจรอบแหล่งผลิต เงินหมุนเวียนอยู่ในท้องถิ่น ประชาชนไม่ย้ายถิ่นฐานเพื่อหางานทำที่อื่น

19. เป็นทางเลือกใหม่ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

20. ความมั่นคงในการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีโรงไฟฟ้าพลังชีวมวลขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วประเทศ ปัญหาไฟดับไฟดับในพื้นที่ห่างไกลจะลดลงหากมีโรงไฟฟ้าขนาดเล็กไปอยู่ใกล้ๆ (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2545 อ้างอิงใน นายกฤษพนธ์ เพ็ญศรี, 2546, หน้า 22-23)

### ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของถ่านไม้จากโกกาง มีดังนี้

1. จากการทดสอบของ Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok, Moisture 5-7 % , Volatile Matter 15-20 % , Fixed Carbon 70-80 % , Ash 5 % (max on dry basis) Sulfur 0.2 % (max on dry basis)

2. ค่าความร้อนของถ่านจากไม้โกกาง (Heating value) มีค่า 7,100 – 7500 แคลอรีต่อกรัม

**หมายเหตุ :** ปริมาณความชื้น (Moisture content) คือ การอบถ่านไม้ที่อุณหภูมิ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรืออบจนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างคงที่

ปริมาณสารระเหย (Volatile matter content) คือ ส่วนของเนื้อถ่านอบแห้งที่ระเหยได้ในครุชีเปิดปิดฝาที่อุณหภูมิ ในเตาเผาไฟฟ้า นาน 6 นาที สารระเหยได้นี้คือ สารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ

ปริมาณคาร์บอนเสถียร (Fixed carbon content) คือ ส่วนของสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในครุชีเบิล หลังจากหักสารระเหยได้และซี้เถ้าออกไปแล้ว คาร์บอนเสถียรนี้ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่

ปริมาณซี้เถ้า (Ash content) คือ ส่วนของสารอินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาปถ่านในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ

### คุณสมบัติด้านเคมีของชีวมวล

การทดสอบคุณสมบัติด้านเคมีหรือคุณภาพของชีวมวล เป็นการตรวจสอบว่าชีวมวลนั้นมีคุณสมบัติเป็นอย่างไร สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีหรือไม่ หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นตามคุณภาพของชีวมวลนั้นๆ การวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติตามข้อกำหนดของผู้ใช้ในด้านต่างๆ จะทำให้ทราบคุณสมบัติของชีวมวลนั้นๆ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, หน้า 12-21)

การทดสอบคุณสมบัติของชีวมวล มีการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ดังนี้

1. Proximate analysis ได้แก่การหาปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว
2. Ultimate analysis ได้แก่การหาปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน กำมะถันและเถ้า
3. วิเคราะห์หาค่าความร้อน (Calorific value)

การวิเคราะห์คุณสมบัติชีวมวล จะมีวิธีทดสอบตามมาตรฐาน เช่น ASTM (American Society for Testing and Material) มาตรฐาน ASTM นี้จะมีการปรับปรุงหรือเพิ่มวิธีการใหม่ๆ อยู่เสมอ โดยมีการจัดพิมพ์ใหม่ทุกปี ในมาตรฐานจะกำหนดเรื่องเครื่องมือ การเตรียมตัวอย่างสารเคมี วิธีการวิเคราะห์ทดสอบ และการคำนวณไว้อย่างละเอียด นอกจากนี้มาตรฐานยังมีการกำหนดเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของผลการวิเคราะห์ทดสอบ กรณีที่ทดสอบโดยห้องปฏิบัติการเดียวกันหรือต่างห้องปฏิบัติการไว้ด้วย

Proximate analysis ประกอบไปด้วย การหาปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ซึ่งมีวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ดังนี้

ความชื้น (ASTM D 3173) ASTM D3173-00 Standard Test Method for Moisture in The Analysis Sample of Coal and Coke.

เถ้า (ASTM D 3174) ASTM D 3174 Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal.

สารระเหยที่ได้ (ASTM D 3175) ASTM D3175 Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke.

คาร์บอนคงตัว (ASTM D 3172) ASTM D3172 Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke

**Ultimate analysis** เป็นการหาปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ไนโตรเจน ออกซิเจนและเถ้า โดยที่ปริมาณของออกซิเจนคำนวณได้จาก การนำค่า คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ไนโตรเจน และเถ้าลบออก

คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน (ASTM D 5373) ASTM D5373 Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal, ASTM D3179 Standard Test Methods for Nitrogen in the Analysis Sample of Coal and Coke

กำมะถัน (ASTM D 3177) ASTM D 3177 Standard Test Methods for Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke

ค่าความร้อนแบบกรอส (gross) (ASTM D 5865) ASTM D 3176 Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke , ASTM D5865 - 07a Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke

### **ผลการวิเคราะห์ชีวมวลแต่ละชนิด**

ตัวอย่างชีวมวล 5 ชนิด มีคุณสมบัติต่างๆ ที่ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งมีเครื่องมือและวิธีการทดสอบมาตรฐาน ซึ่งผลการวิเคราะห์ ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงคุณสมบัติของชีวมวลชนิดต่างๆ

| Proximate analysis              | ไม้ยูคาลิปตัส | ไม้ยางพารา | ไม้กระถินณรงค์ | ไม้กระถิน | ไม้เบญจพรรณ |
|---------------------------------|---------------|------------|----------------|-----------|-------------|
| Moisture, %                     | 5.6           | 6.4        | 6.4            | 5         | 5.9         |
| Ash, %                          | 0.98          | 2.4        | 0.65           | 1.6       | 1           |
| Volatile Matter, %              | 78.7          | 73.3       | 76.4           | 76.8      | 75.4        |
| Fixed Carbon, %                 | 14.7          | 17.9       | 16.6           | 16.6      | 17.7        |
| Ultimate analysis               | ไม้ยูคาลิปตัส | ไม้ยางพารา | ไม้กระถินณรงค์ | ไม้กระถิน | ไม้เบญจพรรณ |
| Carbon, %                       | 51.1          | 49.8       | 51.5           | 50.5      | 51.9        |
| Hydrogen, %                     | 6.6           | 6.3        | 7.1            | 6.5       | 6.5         |
| Nitrogen, %                     | 0.17          | 0.17       | 0.34           | 0.37      | 0.24        |
| Sulfur, %                       | 0.03          | 0.02       | 0.02           | 0.03      | 0.02        |
| Oxygen, %                       | 41.1          | 41.3       | 40.4           | 41        | 40.3        |
| Other characteristics           | ไม้ยูคาลิปตัส | ไม้ยางพารา | ไม้กระถินณรงค์ | ไม้กระถิน | ไม้เบญจพรรณ |
| Bulk Density, kg/m <sup>3</sup> | NA            | NA         | NA             | NA        | NA          |
| Gross Calorific Value, cal/g    | 4363          | 4198       | 4443           | 4334      | 4459        |

### กระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล

กระบวนการผลิตก๊าซชีววมวล เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี โดยเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีววมวลแข็งให้กลายเป็นก๊าซชีววมวล (Producer gas) ซึ่งปฏิกิริยาทางความร้อนแบบต่อเนื่อง ซึ่งในกระบวนการการดังกล่าวจะเริ่มต้นจากการเผาไหม้ ของเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ซึ่งสิ่งที่ได้คือความร้อนและผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งถ้าเป็นการเผาไหม้โดยทั่วไป ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ตัวนี้จะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ แต่เมื่อเกิดการเผาไหม้ในเตาปฏิกรณ์ (Reactor) ผลผลิตจากการเผาไหม้จะถูกบังคับให้ไหลผ่านชั้นของคาร์บอนร้อน และเกิดการรีดิวซ์กลายเป็นก๊าซชีววมวล หรือ ก๊าซผลิตภัณฑ์ ก๊าซชีววมวลนี้มีองค์ประกอบหลักคือ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) และก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) โดยจะประกอบไปด้วย ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ไพโรไลซิส (Pyrolysis) และการอบแห้ง (Drying) ขึ้น โดยจะแยกเป็นโซน หรือ ช่วงบริเวณ ของปฏิกิริยาต่างๆ ได้ดังนี้



### 1. โซนการเผาไหม้ (Combustion Zone)

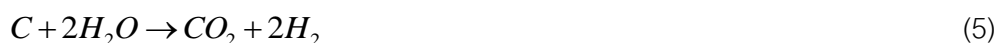
โซนการเผาไหม้ หรือโซนออกซิเดชัน (Oxidation zone) อากาศหรือก๊าซออกซิเจนจะถูกส่งผ่านโดยการเป่าหรือดูดเข้ามาในบริเวณนี้ และให้เกิดการสันดาปกับเชื้อเพลิงหรือเกิดการเผาไหม้ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2



โดยที่ปฏิกิริยา (2.1) และ (2.2) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นในโซนนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน ในโซนรีดักชัน และโซนการกลั่นสลายต่อไป อุณหภูมิในโซนการเผาไหม้จะอยู่ระหว่าง 1100-1500 °C ขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตก๊าซชีวมวล

### 2. โซนรีดักชัน (Reduction Zone) หรือโซนแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Zone)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่ได้จากโซนเผาไหม้ ก็จะไหลผ่านสู่โซนรีดักชันหรือโซนแก๊สซิฟิเคชัน ดังนั้นปฏิกิริยาหลักในโซนนี้จะเป็นปฏิกิริยาแบบปฏิกิริยาดูดความร้อน (Reduction reaction) อุณหภูมิโซนนี้จะอยู่ระหว่าง 500-900 °C โซนการเผาไหม้จะเปลี่ยน บางส่วนของก๊าซที่เผาไหม้ไม่ได้ (คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ) ให้เป็นก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ โดยที่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่เกิดขึ้นไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ จะได้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ดังสมการ (3) สมการ (7)



ปฏิกิริยา (3) เรียกว่า boudouard reaction และปฏิกิริยา (4) เรียกว่า water gas reaction เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 900 °C และก๊าซที่ได้จาก 2 ปฏิกิริยานี้ เป็นก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในก๊าซผสมที่ได้จากเตาผลิตก๊าซ (Producer Gas) ก๊าซหลักนี้ก็คือก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซึ่งในหลักการแล้วควรมีให้ มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

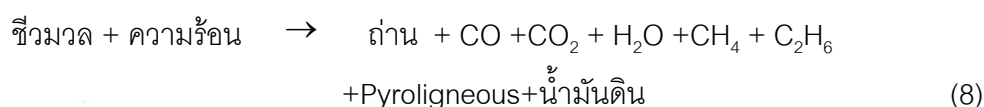
ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในก๊าซชีววมวลนี้ขึ้นอยู่กับว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถเปลี่ยนเป็น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้มากแค่ไหนในโซนรีดักชัน การเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วระหว่าง ก๊าซกับเชื้อเพลิงแข็ง และพื้นที่ผิวสัมผัสก๊าซ ดังนั้นขนาดของเชื้อเพลิงที่ใส่ในเตาผลิตก๊าซจึงมีผลต่อการเกิดก๊าซเชื้อเพลิง กล่าวคือถ้าขนาดของเชื้อเพลิงใหญ่เกินไปอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรจะมีค่าต่ำ เมื่อจะทำการจุดเตาจึงยากกว่า ปกติ และช่องว่างระหว่างชั้นของเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่เกินไปทำให้เกิดช่องว่างมาก ก๊าซออกซิเจนบางส่วนจะไหลผ่าน บริเวณช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงนี้โดยไม่สัมผัสกับเชื้อเพลิง เป็นผลให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดน้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพ ในการผลิตก๊าซต่ำ แต่ถ้าขนาดของเชื้อเพลิงเล็กเกินไป จะเกิดความดันสูญเสีย (Pressure loss) ในเตามาก จึงต้องใช้พัดลมขนาดใหญ่ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการขับพัดลม และก๊าซที่ผลิตได้ก็จะมีฝุ่นมากกว่าปกติ นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงที่ชื้น เล็กเกินไปทำให้เกิดโพรงเล็กๆ ขึ้นในตัวเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง อากาศจะพยายามแทรกขึ้นตามโพรงเหล่านี้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นอากาศที่ไหลขึ้นตามโพรงนี้จึงไม่ค่อยทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงซึ่งเป็นต้นเหตุให้ก๊าซที่ได้มีคุณภาพต่ำลง

จากปฏิกิริยา (3) ถ้าอุณหภูมิในโซนรีดักชันสูงกว่า  $900^{\circ}\text{C}$  แล้วก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะสามารถเปลี่ยนเป็น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้ประมาณ 90% และถ้าอุณหภูมิสูงกว่า  $1,100^{\circ}\text{C}$  แล้วก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะเปลี่ยน เป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์หมด ดังนั้นประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของโซนรีดักชันในเตาผลิตก๊าซ

เมื่อก๊าซอุณหภูมิสูงจากโซนการเผาไหม้ไหลเข้าสู่โซนนี้ อุณหภูมิจะลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนในปฏิกิริยา (3) และ (4) ปฏิกิริยาไอน้ำกับคาร์บอนเพื่อที่จะผลิตก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยา (5) โดยเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ คือประมาณ  $500-600^{\circ}\text{C}$  ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญ เพราะทำให้ส่วนผสมของไฮโดรเจน ในก๊าซมีมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ก๊าซมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น แต่ถ้ามีไอน้ำมากเกินไป ไอน้ำอาจทำปฏิกิริยา กับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนตามปฏิกิริยา (6) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า water shift reaction ทำให้เกิดความร้อนของก๊าซที่ลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องระวังเกี่ยวกับความชื้น ของเชื้อเพลิงที่จะเข้าเตาผลิตก๊าซ ส่วนใหญ่ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในโซนรีดักชันนี้จะยังคงเป็นรูปไฮโดรเจน แต่อย่างไรก็ตาม บางส่วนของไฮโดรเจน ก็จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดก๊าซมีเทนได้เล็กน้อยดังในปฏิกิริยา (7) ที่เรียกว่า การผลิตมีเทน (methane production)

### 3. โซนการกลั่นสลาย ( Pyrolysis Zone)

ในโซนนี้จะได้รับความร้อนจากโซนรีดักชัน เพื่อที่จะสลายสาร อินทรีย์ในเชื้อเพลิง ทำให้ได้ เมทานอล กรดน้ำส้ม และน้ำมันดิน (Tar) อุณหภูมิในโซนนี้จะประมาณ 200-500°C ของแข็งที่เหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้ว คือ คาร์บอนในรูปของถ่าน ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาต่อในโซนรีดักชัน และโซนการเผาไหม้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในโซนนี้สามารถเขียนได้ดังนี้



### 4. โซนการอบแห้ง (Drying Zone)

ในบริเวณโซนนี้ อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหย แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะถูกความร้อนทำให้ระเหยออกมาในรูปของไอน้ำ โซนนี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 100-200°C ดังสมการต่อไปนี้



### ชนิดของเตาผลิตก๊าซชีวมวล

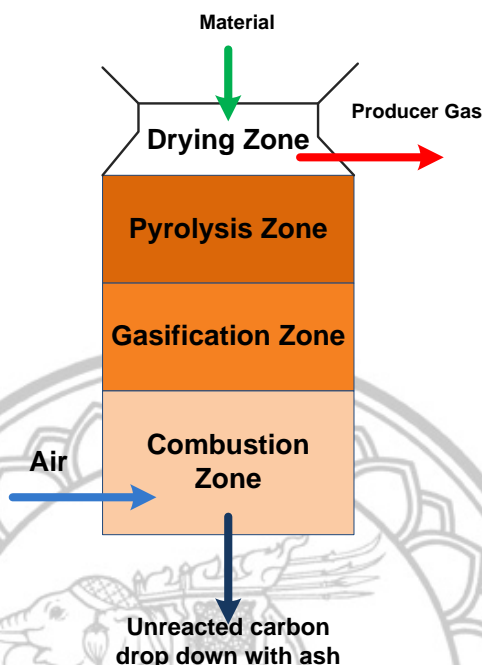
เตาผลิตก๊าซชีวมวล (Gasifier) สามารถจำแนกได้หลายชนิดด้วยกัน แต่โดยปกติแล้วชนิดของเตาจะจำแนกตามลักษณะการไหลของอากาศผ่านเตา ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด

#### 1. เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier)

เป็นเตาผลิตก๊าซชีวมวลที่ใช้ตั้งแต่เริ่มแรก และเป็นแบบที่ง่ายที่สุด มีลักษณะดังภาพ 5 เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของเตา อากาศจะถูกดูดผ่านตะแกรง เข้ามาทางด้านล่าง บริเวณเหนือตะแกรงขึ้นไปจะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้น บริเวณนี้เรียกว่าโซนการเผาไหม้ เมื่ออากาศผ่านเข้าไปในโซนการเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ก๊าซที่ผ่านออกจากโซนการเผาไหม้ จะมีอุณหภูมิสูงและเมื่อเข้าไปในโซนรีดักชัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำทำปฏิกิริยากับ ก๊าซคาร์บอนที่มีอยู่อย่างเหลือเฟือ ในบริเวณนี้ได้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน หลังจากนั้นก๊าซที่ได้จะไหล เข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในชั้นชีวมวล และกลั่นสลายในช่วงอุณหภูมิ 200-500°C ต่อจากนั้นก๊าซที่ยังคงมีอุณหภูมิสูง จะไหล เข้าสู่ชั้นชีวมวลขึ้น และระเหยน้ำที่อยู่ในชีวมวลเหล่านี้จึงทำให้ก๊าซที่ออกจากเตามีอุณหภูมิต่ำลง

**ข้อดี** ของเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้นนี้ คือส่วนประกอบไม่ซับซ้อน เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้มากและก๊าซที่ออกมาจากเตาผลิตก๊าซจะมีอุณหภูมิต่ำ

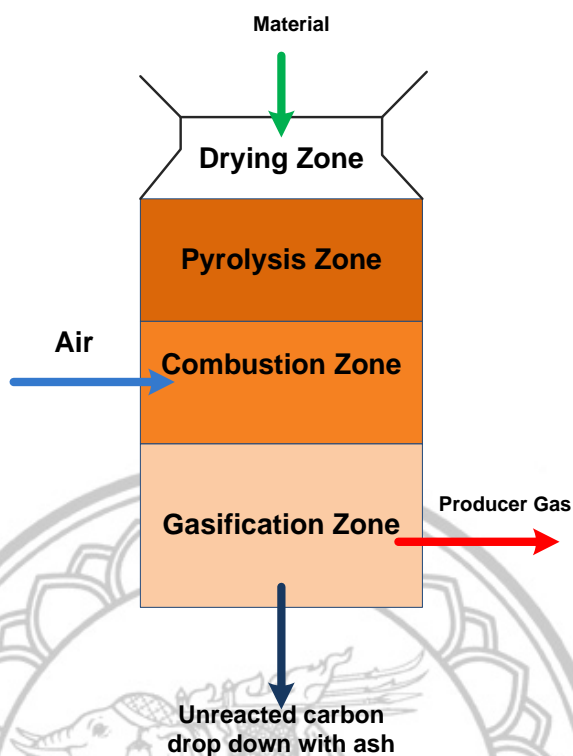
**ข้อเสีย** ที่สำคัญของเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้น คือก๊าซที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีน้ำมันดินและเขม่า ปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก



ภาพ 3 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้น

## 2. เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier)

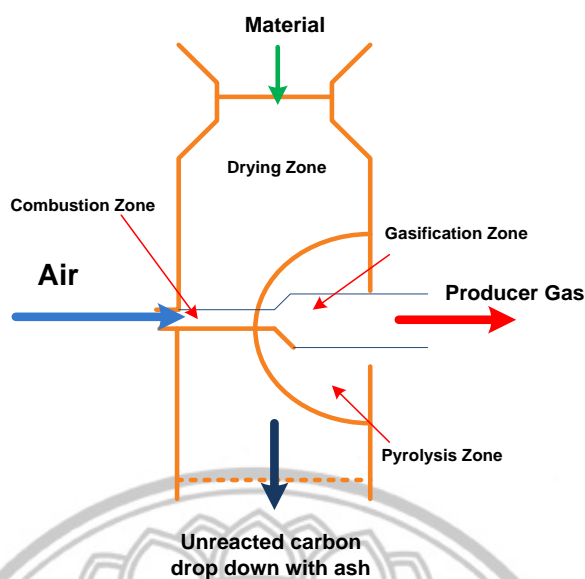
เตาชนิดนี้ถูกออกแบบมาเพื่อขจัดปัญหา น้ำมันดินในก๊าซชีววมวล ซึ่งพบมากในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้นโดยเฉพาะ ลักษณะของเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลลงแสดงดังภาพ 6 อากาศจะถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่างโดยผ่านกลุ่มของหัวฉีด (nozzle) บริเวณหัวฉีดจะเป็นบริเวณโซนการเผาไหม้ ก๊าซที่ได้จากโซนการเผาไหม้จะถูกรีดิวซ์ (reduce) ในขณะที่ไหลลงสู่ด้านล่างผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนอยู่เหนือตะแกรงเหล็กน้อย ในขณะที่เดียวกันชั้นของชีววมวลที่อยู่ทางด้านบน ของโซนการเผาไหม้จะเกิดการกลั่นสลาย และจะไหลผ่านชั้นของคาร์บอนที่ร้อนทำให้น้ำมันดินเกิดการแตกตัวเป็นก๊าซ ก๊าซที่ผ่านโซนการเผาไหม้ในเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลลง จะมีส่วนประกอบของน้ำมันดินและน้ำมัน ลดลงจนเหลือน้อยกว่า 10 % ของน้ำมันดินและน้ำมันที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้น ดังนั้นก๊าซชีววมวลที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลลง จึงสะอาดกว่าก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลขึ้น



ภาพ 4 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลลง

### 3. เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบอากาศไหลตามขวาง (Cross draft Gasifier)

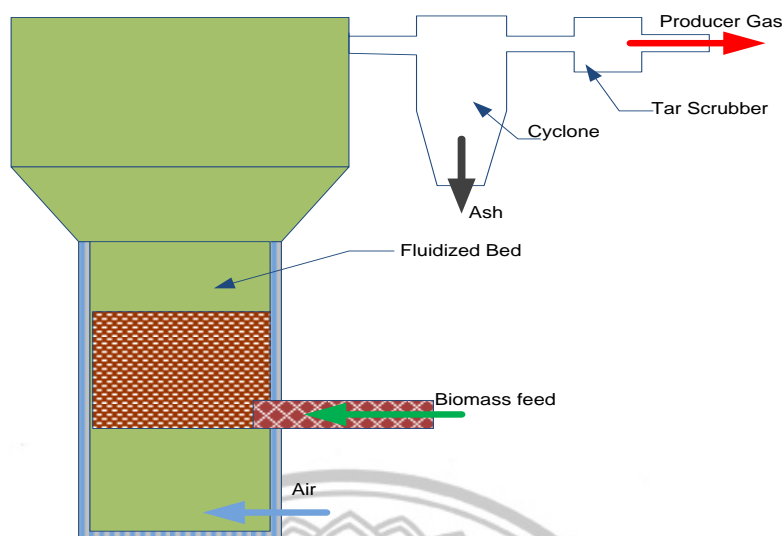
เตาเผาชนิดนี้มีลักษณะดังภาพ 6 อากาศจะถูกดูดผ่านหัวฉีดซึ่งอยู่ในแนวราบ ไชนการเผาไหม้จะอยู่ถัด จากหัวฉีดออกไป และถัดออกไปอีกจะเป็น ไชนรีดักชั่น ก๊าซที่ออกจากไชนรีดักชั่น แล้วจะออกสู่ภายนอกโดยผ่านตะแกรงซึ่งอยู่ในแนวตั้ง รอบๆ ไชนการเผาไหม้ และไชนรีดักชั่นจะเป็นบริเวณไชนการกลั่นสลาย น้ำมันและน้ำมันดิบที่ได้จากไชนการกลั่นสลายนี้จะผ่านไชนรีดักชั่น ก่อนที่จะออกสู่ภายนอก ทำให้น้ำมันและน้ำมันดิบเกิดการแตกตัวเป็นก๊าซก่อนที่จะออกสู่ภายนอก ทำให้ก๊าซเชื้อเพลิง ที่ได้มีปริมาณน้ำมันและน้ำมันดิบต่ำ



ภาพ 5 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลตามขวาง

#### 4. เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed Gasifier)

เตาผลิตก๊าซชีวมวลที่ได้กล่าวมาแล้วทั้ง 3 แบบข้างต้น การทำงานขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก ซึ่งปัญหาที่มักพบบ่อยๆ คือ ซี้โลหะ (slag) และความดันตกคร่อมมากเกินไปเมื่อก๊าซผ่านเตา เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีการพัฒนาเตาผลิตก๊าซชีวมวล แบบฟลูอิดไดซ์เบด (ดังแสดงในภาพ 7) เตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้อากาศจะถูกดูดผ่านชั้นของเชื้อเพลิง (bed) เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศขึ้นถึงค่าหนึ่ง ชั้นเชื้อเพลิงที่วางอยู่จะเริ่มลอยตัวขึ้นมีลักษณะคล้ายของไหล ในตอนเริ่มติดเตานั้น ชั้นของเชื้อเพลิงจะได้รับความร้อนจากภายนอกจนอุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดติดไฟของเชื้อเพลิง หลังจากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าไปอย่างสม่ำเสมอ การเผาไหม้จึงเกิดขึ้นทั่วทั้งบริเวณเตา โดยปกติภายในเตาผลิตแบบฟลูอิดไดซ์เบด จะใส่สารเฉื่อย อาทิเช่น ททราย หรือ reaction material (หินปูนหรือตัวเร่ง ปฏิกิริยา) ซึ่งช่วยในด้านการถ่ายเทความร้อนและช่วยทำความสะอาดก๊าซ

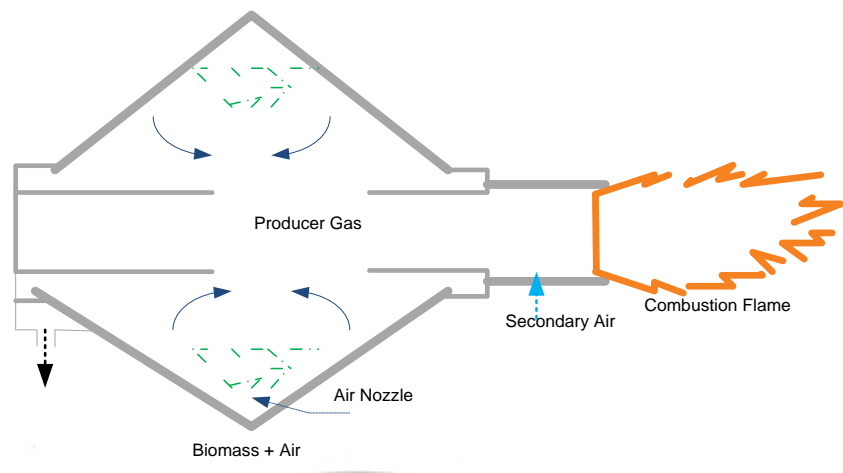


ภาพ 6 ลักษณะเตาเผาเชื้อเพลิงก๊าซชีววมวลระบบฟลูอิดไดซ์เบด

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของเตาชนิดนี้ คือ การควบคุมอุณหภูมิในเตาผลิตก๊าซแบบนี้ทำได้ง่าย จึงรักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดหลอม เหลวของเถ้า ทำให้ไม่เกิดการจับตัวของซีโลหะ ดังนั้นเตาชนิดนี้สามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีเถ้ามาก ซึ่งถ้านำไปใช้ใน เตาผลิตก๊าซแบบอื่นอาจเกิดปัญหามาก ข้อเสียของเตาผลิตก๊าซชนิดนี้ คือในก๊าซเชื้อเพลิงที่ออกจากเตาจะมีปริมาณเถ้าและฝุ่นออกมา เนื่องจากความเร็ว ของอากาศภายในเตาสูงจึงต้องแยกออกโดยใช้เครื่องดักฝุ่น หรือ ถุงดักฝุ่น (Cyclone หรือ Bag filter) และยังไม่สามารถปรับตัว ให้ตอบสนองกับภาระ (load) ที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดีนัก การควบคุมการทำงานของเตาค่อนข้างลำบาก ระบบการทำงานยุ่งยากซับซ้อน อีกทั้งมีราคาแพง ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้กับระบบขนาดใหญ่เท่านั้น

##### 5. เตาแบบ Suspended Gasifier

การเผาไหม้ในเตาแบบนี้จะมีลักษณะแขวนลอย (Suspended) โดยที่จะใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตก๊าซ ภายในเตาเผาจะใช้หลักการหมุนเวียนของอากาศในลักษณะแขวนลอย เพื่อที่จะให้ก๊าซและเชื้อเพลิงแข็งมีโอกาสสัมผัสให้มากที่สุด เพื่อให้ การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก ได้แก่ ซีเลื้อย สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงใน เตาเผานี้ได้



ภาพ 7 เตา Gasifier แบบ suspended

