

บทที่ 2

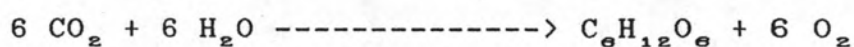
การแปรสภาพพลังงานจากชีวมวล

2.1 แหล่งและประเภทของชีวมวล

2.1.1 แหล่งชีวมวล

ชีวมวล หมายถึงวัสดุที่ได้จากสิ่งมีชีวิตที่สามารถเจริญเติบโตได้อันได้แก่ พืชและสัตว์ พลังงานที่อยู่ภายในชีวมวลจะเป็นพลังงานเคมี ซึ่งได้แก่การแปรรูปจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยผ่านปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่ซับซ้อน ซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ซึ่งเป็นกระบวนการที่พืชใช้ในการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำให้เกิดเป็นโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรต ลิกนิน แป้ง น้ำตาล เซลลูโลส และอื่นๆ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงเช่น น้ำตาลกลูโคส (Glucose) มีปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้

แสงอาทิตย์



2.1.2 ประเภทของชีวมวล

ชีวมวลซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงเพื่อการแปร

สภาพเป็นพลังงานสามารถจัดแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ตามลักษณะของแหล่งที่ได้มา ดังนี้

- 1) เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร (Agricultural wastes) เช่น แกลบ ฟางข้าว ช้างข้าวโพด กากมันสำปะหลัง เปลือกถั่วลิสง เปลือกมะพร้าว เมล็ดฝ้าย เมล็ดนุ่น เป็นต้น
- 2) เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรม (Industrial waste) เช่น ชานอ้อย ที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล กากสับปะรดจากโรงงานสับปะรดกระป๋อง น้ำเสียที่ได้จากโรงงานทำแป้งมัน และแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น
- 3) เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากสิ่งเหลือใช้จากคนและสัตว์ (Domestic waste) เช่น เชื้อเพลิงที่ได้จากขยะเทศบาล และมูลสัตว์ เป็นต้น
- 4) เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากน้ำ (Aquatic biomass) ซึ่งจัดเป็นประเภทเชื้อเพลิงที่มีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูง ได้แก่ สาหร่าย และผักตบชวา เป็นต้น
- 5) เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากส่วนเหลือของไม้ (Forest residues) เช่น เศษไม้ เปลือกไม้ กิ่งไม้ และขี้เลื่อย เป็นต้น

2.2 การนำชีวมวลมาใช้เพื่อเป็นพลังงาน

การนำชีวมวลมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในรูปของพลังงานนั้นมีหลายวิธี ซึ่งสามารถที่จะจัดแบ่งเป็นหมวดหมู่ ตามลักษณะกรรมวิธีที่ใช้ในการแปรสภาพชีวมวลเป็นพลังงานได้เป็น 3 ประเภท (Stout, 1985) อันได้แก่การแปรสภาพทางเคมีความร้อน การแปรสภาพทางเครื่องจักรกล และการแปรสภาพทางชีววิทยา ซึ่งหลักวิธีการที่ใช้ในแต่ละประเภท พอที่จะอธิบายได้โดยสังเขป ดังนี้

2.2.1 การแปรสภาพทางเคมีความร้อน

(Thermochemical conversion)

การแปรสภาพทางเคมีความร้อน หมายถึง การเพิ่มอุณหภูมิให้ความร้อนแก่ชีวมวล เพื่อแปรสภาพโครงสร้างองค์ประกอบเคมี ของชีวมวลเดิมให้กลายเป็นโครงสร้างองค์ประกอบเคมีใหม่ในรูปของของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้พลังงาน กระบวนการโดยทั่วไปที่ใช้ในการแปรสภาพทางเคมีความร้อน มีดังนี้

ก) กระบวนการเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion)

เป็นการสันดาปเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดพลังงานความร้อน โดยความร้อนที่ได้เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เมื่อให้ออกซิเจนทำปฏิกิริยาทางเคมีกับองค์ประกอบคาร์บอนและไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนกำมะถันนั้นเกิดขึ้นน้อยมากในกระบวนการเผาไหม้โดยตรง สาเหตุ อาจเพราะว่า องค์ประกอบธาตุกำมะถันในเชื้อเพลิงมีน้อย

ประสิทธิภาพของกระบวนการเผาไหม้โดยตรง ขึ้นอยู่กับปริมาณ ความชื้นของวัสดุเชื้อเพลิง และความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ให้แก่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เช่น หม้อไอน้ำ อุปกรณ์หุงต้ม เป็นต้น

กระบวนการเผาไหม้โดยตรง อาจสามารถนำมาใช้ได้กับกระบวนการกำจัดของเสีย (Treatment process) เช่น ของเสียจากมูลสัตว์ โดยพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มูลสัตว์ถือเป็นวัตถุประสงค์รอง เช่น ชานอ้อย อาจนำมาเผาไหม้ให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตน้ำตาล กระบวนการผลิตเอทานอล หรือการเผาไหม้ของวัสดุเศษเหลือจากเมล็ดธัญพืช ในกระบวนการอบแห้งเมล็ด

ข) กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) วัตถุประสงค์หลักของกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน คือ การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง โดยการใช้ความร้อนในการเผาไหม้วัสดุชีวมวลด้วยอากาศหรือออกซิเจน เพื่อเปลี่ยนสภาพวัสดุเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็นก๊าซ ที่อุณหภูมิในช่วงประมาณ 800 ถึง 1,000 °C. (Probstein and Hicks, 1982) กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน อาจสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้ โดยการให้ไอน้ำเพื่อทำปฏิกิริยากับถ่านของชีวมวลให้เกิดก๊าซเพิ่มขึ้น

กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันที่ใช้อากาศ จะให้ค่าความร้อนของก๊าซต่ำ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ เพื่อการเผาไหม้ให้ความร้อน หรือ ในการผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ผลิตก๊าซขนาดเล็กที่ใช้อากาศ สามารถพัฒนาให้ใช้ร่วมกับวัสดุเชื้อเพลิงหลาย ๆ ชนิด สำหรับกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน ที่ใช้ออกซิเจน

นั้น ต้องการความดัน และให้ออกซิเจนในอัตราที่สูง จึงใช้กันในโรงงาน
อุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเมทธานอล

นอกจากนี้กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันยังสามารถผลิตก๊าซ เพื่อใช้เป็น
เชื้อเพลิงให้แก่เครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยการเพิ่มอุปกรณ์ทำความสะอาด
ก๊าซ และชุดหล่อเย็น เพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้แก่ก๊าซ ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่
เครื่องยนต์โดยตรง หรืออาจใช้เป็นเชื้อเพลิงผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อ
การประหยัดพลังงาน

ค). กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการกลั่น
สลายสารประกอบอินทรีย์ของชีวมวล โดยให้ความร้อนในที่อับอากาศ หรือใน
บรรยากาศของก๊าซเฉื่อยให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปของแข็ง (ถ่าน) ของ
เหลว (น้ำมัน) และก๊าซเชื้อเพลิง (คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน
และก๊าซองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ปริมาณของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้ขึ้น
อยู่กับองค์ประกอบของชีวมวล อัตราการให้ความร้อน และอุณหภูมิสุดท้ายของ
การสิ้นสุดกระบวนการ โดยทั่วไปจะกำหนดอุณหภูมิประมาณ 600°C .
(Probstein and Hicks, 1982)

ก๊าซที่ผลิตได้จากกระบวนการไพโรไลซิส สามารถนำมาใช้ใน
กระบวนการเผาไหม้ให้ความร้อน หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ของเหลวทาร์
(Liquid tar) ที่ได้จะประกอบด้วยส่วนของน้ำ และน้ำมัน ซึ่งสามารถสกัดน้ำ
มัน ที่มีองค์ประกอบของโมเลกุลสูง เช่นน้ำมันครีโอโซท (Creosote oil)
นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ในการเผาไหม้ให้ความร้อน หรือ เป็นวัตถุดิบใน
อุตสาหกรรมเคมี เช่นอุตสาหกรรมการผลิตเรซิน

สำหรับผลิตภัณฑ์ถ่านที่ได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่นใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม และในกระบวนการให้ความร้อนอื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงให้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น เป็นเชื้อเพลิงให้หม้อไอน้ำ การเผาอิฐ การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โรงงานผลิตหินปูน และซีเมนต์ หรือ แม้กระทั่งใช้ในโรงงานถลุงเหล็กและทองแดง (Manurung, 1981) นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเป็นถ่านคุณภาพ หรือที่เรียกว่า "Activated carbon" ซึ่งให้คุณภาพและราคาดีกว่า ถ่านปกติทั่วไป

2.2.2 การแปรสภาพทางชีววิทยา (Biological conversion)

หลักการของการแปรสภาพทางชีววิทยา คือการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์เพื่อให้ได้ก๊าซ หรือผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว (Liquid fuel) โดยใช้จุลินทรีย์ กระบวนการทางชีววิทยาได้แก่ กระบวนการ ดังต่อไปนี้

ก). กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

(Anaerobic digestion) หลักการของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ การใช้แบคทีเรียในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ภายใต้เงื่อนไขแอนแอโรบิค (แบบไร้ออกซิเจน) เพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ (Biogas) ซึ่งโดยปกติจะประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซอื่น ๆ อีกประมาณ 0-1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการแบบแอนแอโรบิคนี้ จะให้ค่าความร้อน

ประมาณ 19-22 MJ/m³ (Stout, 1985)

กระบวนการแอนแอโรบิกที่ใช้ในการกำจัดน้ำเสีย . ที่นิยมกันเป็น กระบวนการแบบสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก แบคทีเรียจะทำการย่อยสลาย สารประกอบอินทรีย์ในรูปของแข็ง ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ (Organic acids) จากนั้นในขั้นตอนที่สอง แบคทีเรียจะทำการเปลี่ยนกรดอินทรีย์เหล่านี้ ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

กระบวนการแอนแอโรบิก นอกจากกระบวนการ แบบสองขั้นตอน ดัง ที่กล่าวเบื้องต้นแล้ว ยังสามารถพัฒนาให้เป็น กระบวนการแบบสามขั้นตอนได้ กล่าวคือในขั้นตอนแรก แบคทีเรียจะทำการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์จำพวก คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ให้กลายเป็นกรดไขมัน (Fatty acid) ก๊าซ ไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นในขั้นตอนที่สอง แบคทีเรียกลุ่ม ที่สอง จะทำการเปลี่ยนกรดไขมันให้กลายเป็น อะซิเตด (Acetates) ก๊าซ ไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และในขั้นตอนที่สามแบคทีเรียในกลุ่มที่ สาม (Methanogenic bacteria) จะทำการเปลี่ยนอะซิเตด ให้กลายเป็น ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การผลิตก๊าซมีเทน เป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับผู้ประกอบการทางด้าน การเกษตรในการที่จะผลิตพลังงาน จากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ของเสีย จากฟาร์มจากคอกปศุสัตว์ หรือ ตลอดจนของเสีย จากกระบวนการประกอบ อาหารนำมาใช้ในการผลิตก๊าซมีเทน เป็นพลังงานหมุนเวียนใช้ในฟาร์ม เพื่อให้ เป็นการเกษตรแบบครบวงจร ไม่เหลือส่วนของเสียจากฟาร์ม ที่จะก่อให้เกิด ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากที่กล่าวแล้ว กระบวนการแอนแอโรบิกในการ

ผลิตก๊าซมีเทน ยังสามารถก่อให้เกิดประโยชน์อื่น ๆ อีก คือ ช่วยเปลี่ยน ของเสี้ยวในรูปของสารประกอบอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนโดยตรง สามารถผลิตเป็นอาหารสัตว์ที่มีโปรตีนสูง อันเป็นแหล่งพลังงานทางอ้อมได้ ช่วยลดปริมาณของเสี้ยวจากสารประกอบอินทรีย์ อันจะเป็นการช่วยลดปัญหามลภาวะ หรือ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และกรรมวิธีในการย่อยสลายสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์

ข) กระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอล

(Ethanol fermentation)

กระบวนการพื้นฐานของการผลิตเอทานอล โดยวิธีการหมักนั้นประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรก เป็นการเปลี่ยนแป้งให้เป็นน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์ ด้วยวิธีสเตอริไรเซชัน (Sterilization) จากนั้นในขั้นตอนที่สอง จะเป็นการหมัก โดยใช้ยีสต์ทำการเปลี่ยนน้ำตาล ให้กลายเป็นเอทานอล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเอทานอล จะสกัดได้จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากหมัก (ซึ่งมีลักษณะคล้ายวุ้นหรือเบียร์) ในขั้นตอนที่สองนี้ สำหรับในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการ จะเป็นการหมักผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก ขั้นตอนที่สอง เพื่อให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ (Alcohol) ซึ่งจะผลิตได้ประมาณ 8-12 เปอร์เซ็นต์ (Stout, 1985) โดยปริมาตร

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอทานอล คือ จำพวกพืชที่มีองค์ประกอบของแป้ง และน้ำตาล เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี และมันสำปะหลัง เป็นต้น

เอทานอลที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยการใช้โดยตรง หรือนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ เอทานอลที่ถูกปรับปรุงให้มีคุณภาพสูงขึ้นจำพวกไฮดรัสเอทานอล (Hydrous ethanol) สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเบนซินในเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดหรือเครื่องยนต์เบนซิน อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีทางด้านนี้กำลังอยู่ระหว่างการศึกษาวิจัย ยังไม่สมบูรณ์ดีพอที่จะนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์

2.2.3 การแปรสภาพโดยการสกัด (Extraction conversion)

กระบวนการที่นิยมใช้กันในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน (Oil-seed) พอที่จำแนกได้เป็น 2 วิธี คือ การใช้เครื่องจักรกล เช่น การสกัดโดยใช้สกรู (Screw pressing) และการใช้สารละลายช่วยในการสกัด (Solvent extraction) วัตถุประสงค์ของทั้งสองวิธีเพื่อการผลิตน้ำมันบริสุทธิ์ปราศจากสิ่งเจือปนให้ได้ในปริมาณที่สูง และกากเหลือจากขั้นตอนการผลิตนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือนำไปใช้ในกระบวนการสกัดโปรตีนเชิงเดี่ยว

ก) การสกัดโดยใช้สกรู (Screw pressing) การสกัดโดยใช้สกรูเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ในกระบวนการที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลือง และถูกพิจารณาใช้เป็นวิธีการในการสกัดน้ำมัน เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล ในระดับสเกลเล็ก วิธีการก็คือ นำเอาเมล็ดพืชน้ำมันที่ผ่านการทำให้สุกแล้วมาทำการบีบอัด โดยส่งผ่านเข้าสู่ถังทรงกลมโดยใช้สกรูชนิดเกลียว ในถังทรงกลมนั้นจะถูกเจาะรูเป็นช่องสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 0.25 มม. ตลอด

ตามแนวความยาวของถัง เพื่อเป็นช่องทางออกของน้ำมัน หลังการถูกอัดบีบด้วยสกรู ขนาดสกรูถูกออกแบบใช้ตามความเหมาะสมกับขนาดของเมล็ดพืช ส่วนที่มีลักษณะคล้ายวัน (Cake) หลังการบีบอัดจะไหลขึ้นตอนบนของถัง และจะถูกกั้นให้ไหลหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังได้ โดยการติดตั้งชุดอุปกรณ์กั้นที่ตอนบนของถัง

กรรมวิธีโดยใช้สกรูดังกล่าว สามารถสกัดน้ำมันที่มีส่วนกากเหลือ (Residual oil content) ประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ และผลิตส่วนที่เป็นวัน (Cake) ได้ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ (Stout, 1985) อย่างไรก็ตาม การสกัดบีบเมล็ดพืชน้ำมันนั้น ไม่ได้เป็นการอัดบีบโดยใช้ความดันสูง แต่เป็นการอัดบีบโดยใช้เพียงแรงกดของเครื่องจักรกล ปริมาณของน้ำมัน และวันที่สกัดได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยของการเตรียมเมล็ดพืชน้ำมันก่อนนำมาสกัด และกรรมวิธีที่ใช้ในการสกัด ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดธัญพืช

ข). การสกัดโดยใช้สารละลาย (Solvent extraction)

การสกัดโดยใช้สารละลายเป็นการพัฒนาขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตน้ำมัน ซึ่งสามารถช่วยลดส่วนกากเหลือในน้ำมัน (Residual oil content) ได้เหลือเพียงประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่า (Stout, 1985) กระบวนการสกัดโดยใช้สารละลายสามารถใช้เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากการสกัดโดยใช้สกรู เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณการสกัดน้ำมัน

สารละลายที่นิยมใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมันคือ เฮกเซน (Hexane) ซึ่งมีจุดเดือดอยู่ในช่วง 63-99°C. โดยเหตุผลในแง่ความปลอดภัยจากการลุกติดไฟเกิดการระเบิด การแผ่กระจายของสารระเหยต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนทั้งค่านึงถึงราคาของเฮกเซนเมื่อเทียบกับสารละลายไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ

ในการพิจารณาในแง่ของการลงทุน นอกเหนือจากสารละลายเฮกเซนที่กล่าว แล้วยังมีสารละลายประเภทอื่น ๆ อีกที่อาจนำมาใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ด ัญญาพืชได้เช่น เอทานอล (Ethanol) ไอโซโพรเพนอล (Isopropanol) อะซีโตน (Acetone) และเมทิลีนคลอไรด์ (Methylene chloride) อย่างก็ตามในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดัญญาพืช โดยสารละลายที่ต่างกันอาจทำ ให้ได้ปริมาณและองค์ประกอบน้ำแตกต่างกันด้วย เช่น ปริมาณคาร์โบไฮเดรต องค์ประกอบของสารพิษจำพวกก๊อสไซโพล (Gossypol) และอัลฟาโทอกซิน (Alfatoxin) รวมทั้งองค์ประกอบอื่นๆของน้ำมันพืช ซึ่งเทคโนโลยีทางด้านนี้ ยังมีส่วนของขั้นตอนที่ยังต้องได้รับการศึกษาวิจัย และแก้ไขอีกมาก เช่น ขั้นตอนในการกลั่นน้ำมัน ขั้นตอนในการทำลาย หรือ ขั้นตอนการแยกน้ำมัน ของจากส่วนผสมน้ำโดยวิธีการเหวี่ยง เป็นต้น

2.3 หลักการและกลไกการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส

ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเตาไพโรไลซิสแบบไหลขึ้นนี้ จัดได้ว่าเป็น กระบวนการแปรสภาพทางความร้อนในลักษณะของกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่ง มีขีดความสามารถในการผลิตผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งหมด และประยุกต์ใช้งานได้หลายสาขาประเภท ดังที่กล่าวในหัวข้อ 2.2.1 (ค) อีกทั้งไม่เหลือเศษผลิตภัณฑ์ติดค้างในเตา อันจะก่อให้เกิดปัญหา มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมในการออกแบบ และ สร้างเตาให้มีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องเข้าใจถึงหลักการ และกลไกการเกิดกระบวนการไพโรไลซิส พอ สั้งเขปดังนี้



2.3.1 ประเภทของกระบวนการไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิส สามารถแบ่งประเภทตามอัตราการให้ความร้อน แก่ชีวมวลได้แก่ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow pyrolysis) และกระบวนการไพโรไลซิสอย่างเร็ว (Rapid or Fast pyrolysis) ซึ่งกระบวนการทั้งสองมีผลต่อการแตกออกของพันธะทางเคมี ของโครงสร้างโพลีเมอร์ที่ซับซ้อนของชีวมวล และมีความสัมพันธ์กับปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

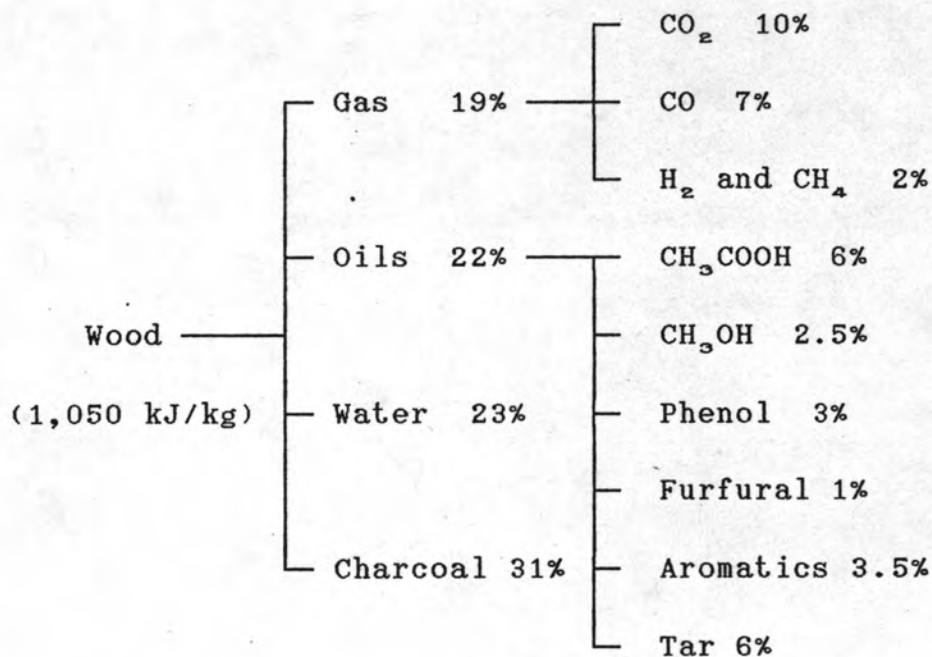
ก). กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow pyrolysis) เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนให้แก่ชีวมวลอย่างช้าๆในระยะเวลามากกว่า 5 นาทีขึ้นไป ในช่วงอุณหภูมิ 400-600°C. และอัตราการให้ความร้อนไม่เกิน 10°C. ต่อวินาที (Beenackers, 1987) ซึ่งค่าอัตราการให้ความร้อนนี้สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal analytical instrument) เช่น ดีทีเอ (DTA, Differential thermal analysis) และทีจีเอ (TGA, Thermal gravimetric analysis) เป็นต้น ปฏิกริยาไพโรไลซิสที่เกิดขึ้น เมื่อให้ความร้อนแก่ชีวมวลอย่างช้าๆจนแก่ได้ดังนี้

- ที่อุณหภูมิ 20-100°C. ชีวมวลจะดูดซับความร้อนและถูกทำให้แห้ง (Drying) โดยความชื้นในชีวมวลจะถูกทำให้กลายเป็นไอน้ำ อุณหภูมิจะคงที่ประมาณ 100°C. จนกระทั่งชีวมวลทั้งหมดถูกทำให้แห้ง

- ที่อุณหภูมิช่วง 100-250°C. เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของชีวมวลแล้วให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และกรดอะซิติก (CH_3COOH)

- ที่อุณหภูมิช่วง 250-500 °C. เกิดปฏิกิริยาการให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน รวมทั้งของเหลวทาร์ (Liquid tar)

- ที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 °C. ขึ้นไป เป็นปฏิกิริยาการเกิดถ่าน (Charcoal) ตัวอย่างของการเกิดกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้าที่อุณหภูมิช่วง 400-600 °C. ของไม้ แสดงดังรูปที่ 2.1

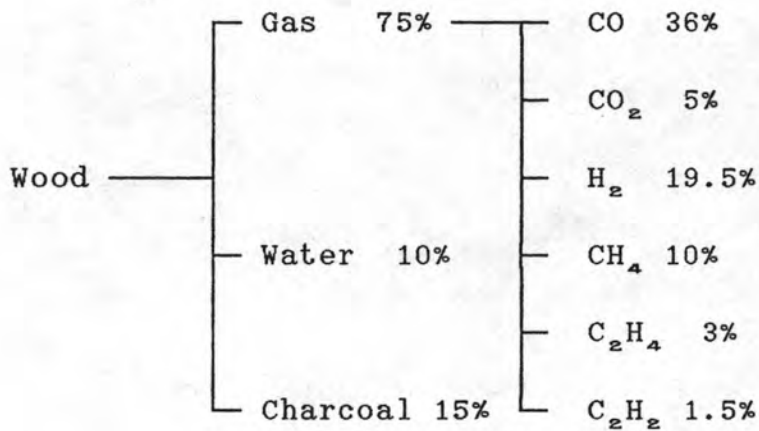


รูปที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า

ข). กระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว (Rapid or Fast or Flash pyrolysis) เป็นกระบวนการถ่ายความร้อนให้แก่ชีวมวลอย่างรวดเร็ว ในช่วงระยะเวลาสั้นน้อยกว่า 5 วินาทีที่ช่วงอุณหภูมิ 600-1,000 °C. และอัตราให้ความร้อนในช่วง 10-100 °C. ต่อวินาที (Beenackers,

1987) และก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีจะถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว การเกิดไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วมักได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางความร้อนสูง เช่น โอลิฟินส์ (Olefin) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเอทิลีน และไพโรฟิลีน

ตัวอย่างของการเกิดกระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 900 °C. ของไม้ที่มีปริมาณความชื้น 25 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว

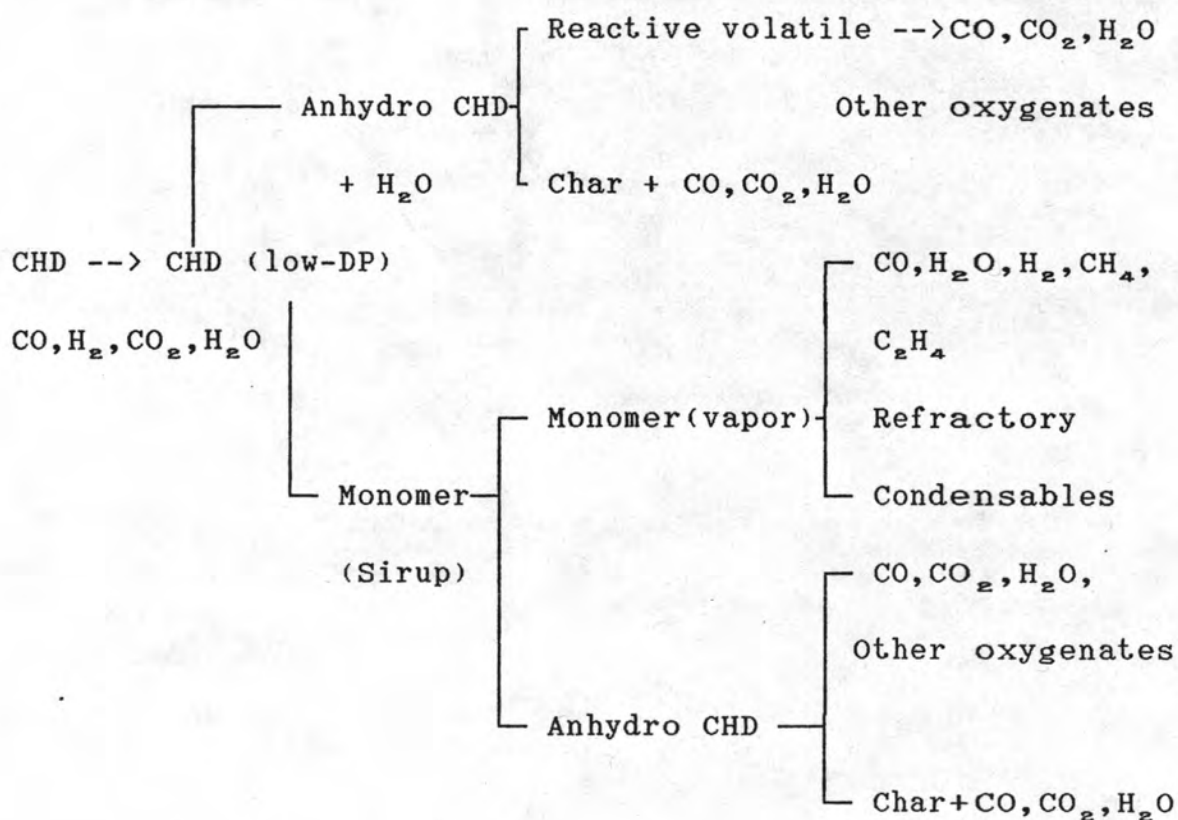
2.3.2 กลไกการเกิดไพโรไลซิส (Pyrolysis mechanisms)

กลไกการเกิดไพโรไลซิส เกิดจากการแตกออกของพันธะทางเคมีที่ซับซ้อนของโครงสร้างโพลีเมอร์ของชีวมวลโดยการให้ความร้อน ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ขึ้นมากมาย การศึกษากลไกการเกิดไพโรไลซิสเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากจะทำให้สามารถบ่งบอกถึงการดำเนินไปของปฏิกิริยา ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความต้องการสูง และนำไปสู่สมมติฐานที่ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ กลไกการเกิดไพโรไลซิสสามารถจำแนกประเภท

ตามลักษณะการเกิดของสารประกอบได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

ก) กลไกการเกิดไพโรไลซิสของสารประกอบคาร์โบไฮเดรต

(Carbohydrate) กลไกการเกิดไพโรไลซิสของสารต่างๆ มักถูกพิจารณาเป็น 3 ช่วงใหญ่ ๆ คือปรากฏการณ์ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ปรากฏการณ์ที่สภาวะอุณหภูมิปานกลาง และปรากฏการณ์ที่สภาวะอุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาการเกิดไพโรไลซิสของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเป็นไปได้หลายทิศทางดังแสดงในรูปที่ 2.3 ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาจะมีการเกิดหลายเส้นทาง แต่ก็ใช้ว่าทุก ๆ ปฏิกิริยาจะเกิดพร้อมกันหมด ทั้งนี้เนื่องจากสมการปฏิกิริยาในแต่ละเส้นทาง มักได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิ



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสของสารประกอบคาร์โบไฮเดรต

ในการศึกษา ทางจลนศาสตร์ ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถใช้ในการอธิบายอัตราการเกิดไพโรไลซิส ของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่ซับซ้อนได้ จากปฏิกิริยาหลาย ๆ เส้นทางที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.3 นั้น เส้นทางที่มีความสำคัญต่อการเกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าที่มีคุณค่าและศักยภาพสูง มี 2 ชนิดคือ ถ่าน (Char) และโมโนเมอร์ (Monomer) ถ่านที่ได้จะมีประโยชน์ใช้ในการเผาไหม้โดยตรง หรือนำไปใช้ในกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน สำหรับผลิตภัณฑ์โมโนเมอร์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ยาก จะเป็นตัวกลางช่วยให้เกิดสารประกอบไฮโดรเจนที่มีคุณค่าสูง เช่น อัลดีน เป็นต้น

ข). กลไกการเกิดไพโรไลซิสของเซลลูโลส (Cellulose pyrolysis) การเกิดไพโรไลซิสของเซลลูโลสนั้นเกิดขึ้นเมื่อ เซลลูโลสได้รับความร้อนจะทำให้ค่าดีกรีของการโพลิเมอไรเซชันมีค่าลดลง เซลลูโลสที่มี ค่าดีกรีการโพลิเมอไรเซชันต่ำเกิดได้ 2 ลักษณะ คือแบบมีผลึก (Crystalline) และแบบอสัณฐาน (Amorphous) เซลลูโลสแบบมีผลึก มักเกิดปฏิกิริยาเป็น ลีวอกลูโคซาน (Levogluconan) สภาวะอุณหภูมิต่ำส่วนเซลลูโลสแบบอสัณฐาน มักเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration) จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (Cross-linking) ได้เป็นผลิตภัณฑ์จำพวกถ่าน (Char) ดังแสดงรูปที่ 2.4

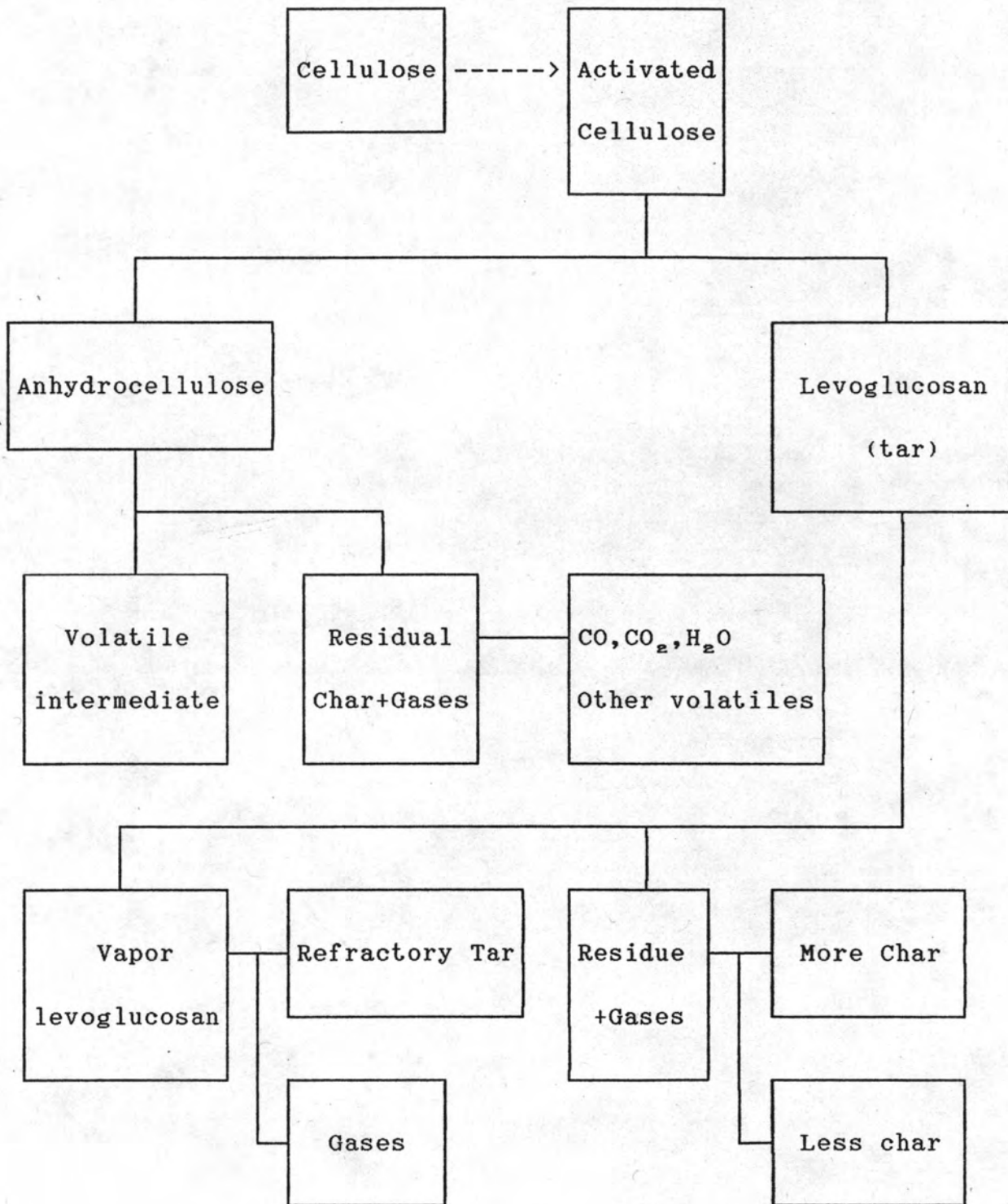
โดยทั่วไป ปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาปฐมภูมิ และปฏิกิริยาทุติยภูมิ โดยขึ้นอยู่กับว่าปฏิกิริยานั้น เกิดขึ้นโดยตรงจากเซลลูโลสหรือเกิดจากผลิตภัณฑ์กลางที่เกิดจากการสลายตัว ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ปฏิกิริยาของการสลายตัวของเซลลูโลสจำแนกออกเป็น 2 ทาง โดยทางแรกเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการดีไฮเดรชันเกิดเป็นถ่าน ส่วนทางที่สอง

จะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการแตกตัว (Fragmentation) เกิดเป็นการระเหยที่สามารถเผาไหม้ได้

การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ปฏิกิริยาดีไฮเดรชันและปฏิกิริยาการเกิดถ่าน (Charring reaction) ส่วนปฏิกิริยาการเกิดลิโวกลูโคซาน (ซึ่งเป็นสารตัวกลาง) จะเกิดขึ้นได้ดีที่สภาวะอุณหภูมิสูง และนำไปสู่ปฏิกิริยาการสลายตัวในอุณหภูมิสูงขึ้นไป

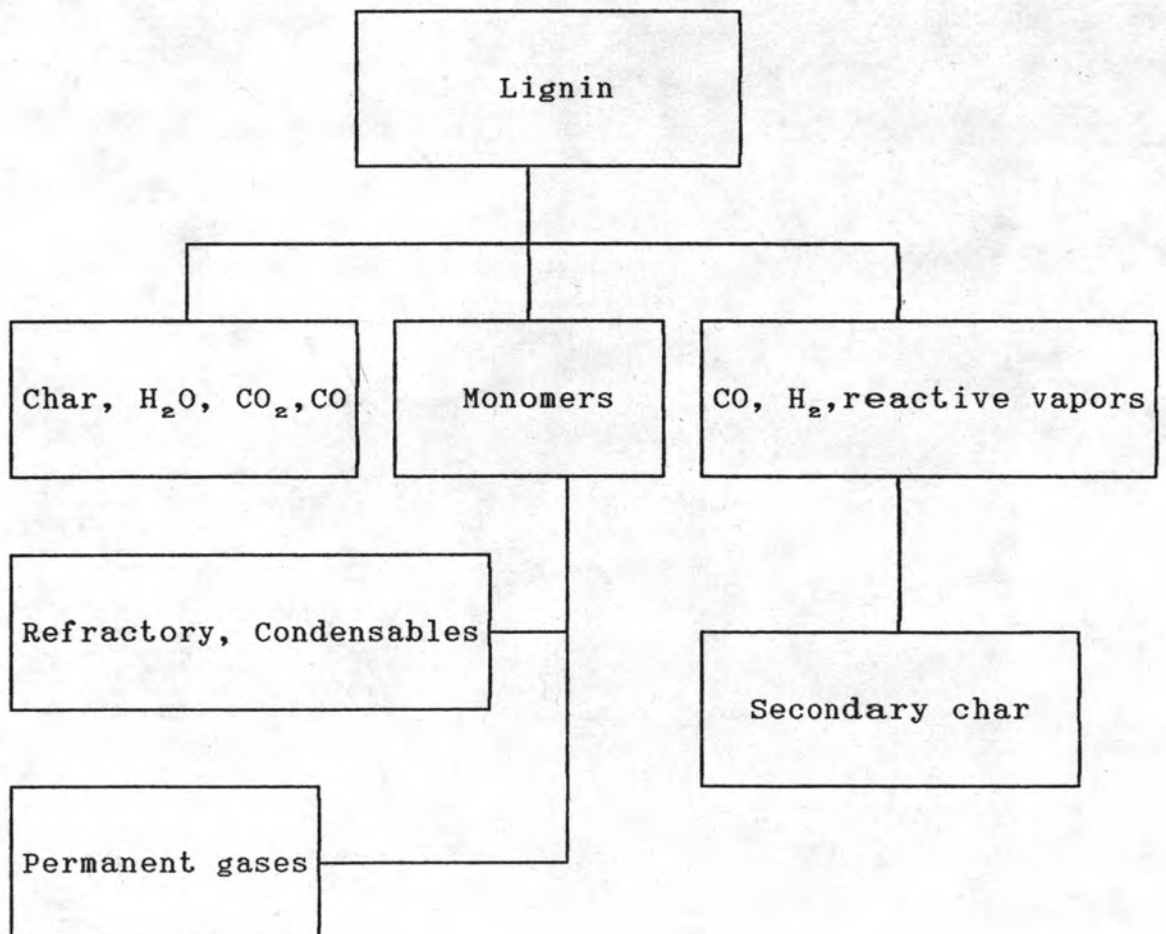
ค). กลไกการเกิดไพโรไลซิสของเฮมิเซลลูโลส และโฮลเซลลูโลส (Hemicellulose and Holocellulose) การเกิดปฏิกิริยาเฮมิเซลลูโลส จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อันเป็นสารอินทรีย์ที่ควบแน่นได้ ซึ่งคล้ายคลึงกับลักษณะการเกิดปฏิกิริยา ของเซลลูโลส Solts และ Elder (1979) ได้รายงานว่ปฏิกิริยาการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสประกอบขึ้นด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการเกิดปฏิกิริยาดีโพลีเมอร์เซชัน ได้เป็นองค์ประกอบย่อย (Fragment) ที่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนปฏิกิริยาขั้นที่สอง จะเป็นปฏิกิริยาการสลายตัวของสารระเหยได้ Tang และ Eickner (1968) ได้ศึกษาพบว่า การเกิดไพโรไลซิสของเฮมิเซลลูโลสในตอนต้น จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดอะซิติก และฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งทั้งสองผลิตภัณฑ์อาจมีผลต่อกลไกการเกิดไพโรไลซิสของเซลลูโลสและลิกนินในไม้

ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ได้จากกลไกการเกิดไพโรไลซิสของเฮมิเซลลูโลส จะเป็นจำพวกเพนโตซาน (Pentosan) และมีเฮกโซซาน (Hexosan) ค่อนข้างน้อย



รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสของเซลลูโลส

ง). กลไกการเกิดไพโรไลซิสของลิกนิน (Lignin) กลไกการเกิดไพโรไลซิสของลิกนิน จะคล้ายคลึงกับของเซลลูโลส ทั้งนี้เนื่องจากสารทั้งสองประกอบด้วยวงแหวนที่เสถียรซึ่งต่อเชื่อมโยงกันภายใต้กลุ่มไฮดรอกซิล ดังแสดงใน รูปที่ 2.5 ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ อิทธิพลของพันธะไฮโดรเจนจะมีผลต่อการทนความร้อนของลิกนิน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดไพโรไลซิส ในช่วงอุณหภูมิต่ำจะเป็นปฏิกิริยาขับน้ำออก (Dehydration) และเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ก็จะทำให้เกิดโมโนเมอร์ (Monomers) ขึ้น และนอกจากนี้การให้ความร้อนอัตราเร็วสูง และที่สภาวะความดันต่ำจะมีผลต่อการเกิดโมโนเมอร์เพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสลิกนิน

ที่สภาวะอุณหภูมิสูงกว่า 550°C . กลุ่มโมโนเมอร์จะเริ่มเกิดการสลายตัวต่อไปในสถานะไอ และเมื่อสภาวะอุณหภูมิต่ำ สถานะไอก็จะเกิดการควบแน่นได้เป็นสารทนไฟ (Refractory) และสารที่ควบแน่นได้ (Condensables) แต่ถ้าอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นสถานะไอ จะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวได้ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ มีเทนและก๊าซที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ

ในการทำไพโรไลซิสของลิกนินอาจมีการเกิดถ่านขึ้นได้ โดยเกิดจากการควบแน่นขององค์ประกอบในสถานะก๊าซ หลังจากที่มีการให้ความร้อนแก่ลิกนินอย่างรวดเร็ว และปล่อยไว้ที่สถานะอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturated state)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไพโรไลซิส

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส พอจำแนกออกได้ เป็น 2 ประเภทคือ ปัจจัยทางเคมีอันได้แก่ องค์ประกอบต่าง ๆ ของวัตถุดิบ และก๊าซที่อยู่ในบรรยากาศที่มีการเกิดไพโรไลซิส และปัจจัยทางกายภาพ อันได้แก่ อุณหภูมิสุดท้ายของการทำไพโรไลซิส เวลา และอัตราการให้ความร้อน ค่าการกระจายขนาดของอนุภาค ชนิดและช่วงเวลาในการทำให้เย็นลง (Quenching) และค่าความดัน ซึ่งอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไพโรไลซิสดังนี้คือ

ก) องค์ประกอบของวัตถุดิบ องค์ประกอบของวัตถุดิบมีส่วนสำคัญต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่จะได้จากการทำไพโรไลซิส ยกตัวอย่าง เช่น แกลบ เมื่อนำไปทำไพโรไลซิสภายใต้สภาวะการให้ความร้อนอย่างช้า ๆ จะได้ปริมาณ

ของสารระเหยประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ชัยทัศน์ และคณะ, 2530) นอกจากนี้การใช้วัตถุดิบต่างชนิดกัน เมื่อนำไปทำไพโรไลซิสจะให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้แตกต่างกันด้วยเช่น เมื่อนำขี้เลื่อยมาทำไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 600°C. ภายใต้อากาศเฉื่อย และให้อัตราความร้อนอย่างช้า ๆ จะทำให้ได้สารระเหยที่ประกอบด้วยก๊าซ และไอน้ำประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักและได้ของเหลวทาร์ (Liquid tar) และของแข็งทาร์ (Solid tar) ประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในกรณีการใช้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซและไอน้ำประมาณ 37 เปอร์เซ็นต์ และได้ของเหลวทาร์ และของแข็งทาร์ประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ สำหรับองค์ประกอบของก๊าซที่ได้จากการทำไพโรไลซิสที่อุณหภูมิในช่วง 500-600°C. โดยทั่วไปจะประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน ไฮโดรเจน และก๊าซที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอน

ข) อุณหภูมิการทำไพโรไลซิส (Pyrolysis temperature)

อุณหภูมิการทำไพโรไลซิสมีผลต่อปริมาณ และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์สารระเหยได้ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อไม้ ถูกให้ความร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้า ๆ ไม้จะดูดความร้อนให้ก๊าซ และของเหลวทาร์ที่อุณหภูมิ 270-290°C. และปฏิกิริยาการแตกตัวจะเริ่มทวีความรุนแรงให้ก๊าซและของเหลวทาร์มากขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น จนถึงอุณหภูมิประมาณ 400°C. ปฏิกิริยาจะเริ่มช้าลง สำหรับรายละเอียดขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว FAO (1985) ได้รายงานดังต่อไปนี้

- ที่อุณหภูมิ 20 ถึง 110°C. ไม้จะดูดซับความร้อน และถูกทำให้แห้งโดยความชื้นในไม้ จะถูกทำให้กลายเป็นไอน้ำ อุณหภูมิของเตาจะยังคง

อยู่ที่ประมาณ 100°C . จนกระทั่งไม้ทั้งหมดถูกทำให้แห้ง

- ที่อุณหภูมิ 110 ถึง 270°C . ความชื้นที่ยังคงเหลืออยู่บ้างจะถูกดึงออกไป และองค์ประกอบบางอย่างของไม้จะเริ่มสลายตัว แล้วให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีกรดอะซิติก และเมทธานอลปนบ้าง ความร้อนจะถูกดูดโดยไม้

- ที่อุณหภูมิ 270 ถึง 290°C . การสลายตัวแบบคายความร้อนของไม้เกิดขึ้นและการแตกตัวยังคงดำเนินต่อไป โดยไม่ต้องเพิ่มความร้อน ในขั้นนี้จะเริ่มมีก๊าซ และไอรวมทั้งของเหลวทาร์ออกมาด้วย ก๊าซที่เผาไหม้ได้ (Combustible gas) เช่นไฮโดรเจน และมีเทน จะเกิดขึ้นและออกไปจากระบบ รวมทั้งของเหลวที่ควบแน่นได้อิอน้ำ กรดอะซิติก เมทธานอล อะซีโตน ฯลฯ และของเหลวทาร์ ซึ่งจะมากและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น

- ที่อุณหภูมิ 400°C . การเปลี่ยนแปลงจากไม้กลายเป็นถ่าน จะเสร็จสิ้นโดยสมบูรณ์ แต่ถ้าให้ความร้อนต่อไปจะเป็นการลดปริมาณสารระเหยง่าย และเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) ของถ่าน

- ที่อุณหภูมิ 400 ถึง 500°C . สารระเหยง่าย ส่วนใหญ่จะอยู่ร่วมกับของเหลวทาร์จะออกไป รวมทั้งไฮโดรเจน และมีเทนที่เหลือด้วย ปริมาณคาร์บอนคงที่ของถ่านจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้ได้ถ่านที่มีคุณภาพดีไม่เปราะง่าย ถ้าหากให้ความร้อนต่อไปอีก จนถึงอุณหภูมิ 800 ถึง 900°C . แล้ว สารระเหยง่ายจะถูกลดลงจนไม้เหลืออยู่เลย จะเหลือเพียงผลิตภัณฑ์ถ่านซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและซีเถ้าเท่านั้น

ค) อัตราการให้ความร้อน (Heating rate) อิทธิพลของอัตราการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์สารระเหยที่ได้ ยกตัวอย่างเช่น เมื่ออุณหภูมิของถ่านที่บดจนละเอียดถูกนำไปให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว จะทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์สารระเหยได้ มีจำนวนมากกว่าผลิตภัณฑ์ในส่วนที่ระเหยไม่ได้ และการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิของการสลายตัวของชีวมวลจะทำให้ได้ปริมาณของเหลวทาร์ (Liquid tar) มีจำนวนมากขึ้นด้วย ทั้งนี้ เนื่องจาก ชีวมวลถูกเปลี่ยนเป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลวได้ง่ายขึ้นนั่นเอง

โดยทั่วไปแล้วในกระบวนการไพโรไลซิส อัตราการให้ความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การให้อัตราความร้อนอย่างช้า (Slow heating) และอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว (Rapid heating) ซึ่งทั้งสองลักษณะได้อธิบายไว้ใน หัวข้อ 2.3 ในกระบวนการการให้อัตราความร้อนอย่างช้า จะทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ทั้งนี้เนื่องจากเวลาในการให้ความร้อนมีระยะนานเพียงพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ได้ ดังนั้น ประเภท และปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น จึงขึ้นอยู่กับลักษณะการเกิดของปฏิกิริยาดังกล่าว สำหรับการให้อัตราความร้อนอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการให้ความร้อนสามารถตัดทิ้งได้ และอาจกล่าวได้ว่า ปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่สภาวะอุณหภูมิคงที่ (Isothermal) ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำสุดท้าย ซึ่งไม่ได้รับอิทธิพลจากลักษณะขั้นตอนการดำเนินไปของปฏิกิริยาตามแบบของอัตราการให้ความร้อนอย่างช้า

ง) ขนาดของอนุภาค (Particle size) ขนาดของอนุภาคมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ เนื่องจากขนาดของอนุภาคมีความสัมพันธ์กับอัตราการให้

ความร้อน กล่าวคือ การให้ความร้อนแก่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะเป็นไปได้ช้า ในขณะที่การให้ความร้อนแก่อนุภาคขนาดเล็กจะเป็นไปได้เร็วกว่า ดังนั้นอนุภาคที่มีขนาดเล็กของอนุภาคขนาดใหญ่จะต่ำกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ซึ่งจะ ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์สารระเหยที่ได้จากอนุภาคขนาดใหญ่น้อยกว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอนุภาคขนาดเล็ก เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กสามารถได้รับความร้อนได้กระจายทั่วถึงและสม่ำเสมอมากกว่านั่นเอง

จ) ความดัน (Pressure) ความดันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์สารระเหยได้ กล่าวคือ เมื่อให้ความดันเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์สารระเหยที่ได้มีปริมาณลดลง ในทางกลับกันถ้าให้ความดันต่ำจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์สารระเหยเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามสำหรับปฏิกิริยาการแตกตัว (Cracking) จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อให้ความดันสูง ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดก๊าซที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนได้เพิ่มขึ้นในขณะที่ถ้าให้ความดันต่ำปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นก๊าซจะลดลง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์จำพวกของเหลวทาร์ และถ่านเพิ่มมากขึ้น

ฉ) สภาวะอากาศ (Atmosphere) การทำไพโรไลซิส ในสภาวะบรรยากาศที่มีไฮโดรเจนหรือที่เรียกว่าไฮโดรไพโรไลซิส (Hydropyrolysis) สามารถทำให้เพิ่มผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารระเหยได้ และช่วยเพิ่มปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ปฏิกิริยาไฮโดรไพโรไลซิสถูกนิยามให้หมายถึงการสลายตัวอันเนื่องมาจากความร้อน และมีปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) เกิดตามมาแต่ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรแก๊สซิฟิเคชัน (Hydrogasification) ของถ่าน เนื่องจากไฮโดรเจนสามารถทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารที่สลายตัวและสารที่ระเหยได้รวดเร็วกว่าการทำปฏิกิริยากับถ่าน

โดยสรุปแล้ว ในบรรดาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส
ดังที่กล่าวข้างต้น เป็นที่เชื่อกันว่าอัตราการให้ความร้อนและอุณหภูมิสุดท้าย
ของการทำไพโรไลซิสมีผลต่อปริมาณการเกิดผลิตภัณฑ์ถ่านน้ำมันทาร์และก๊าซ
มากที่สุด