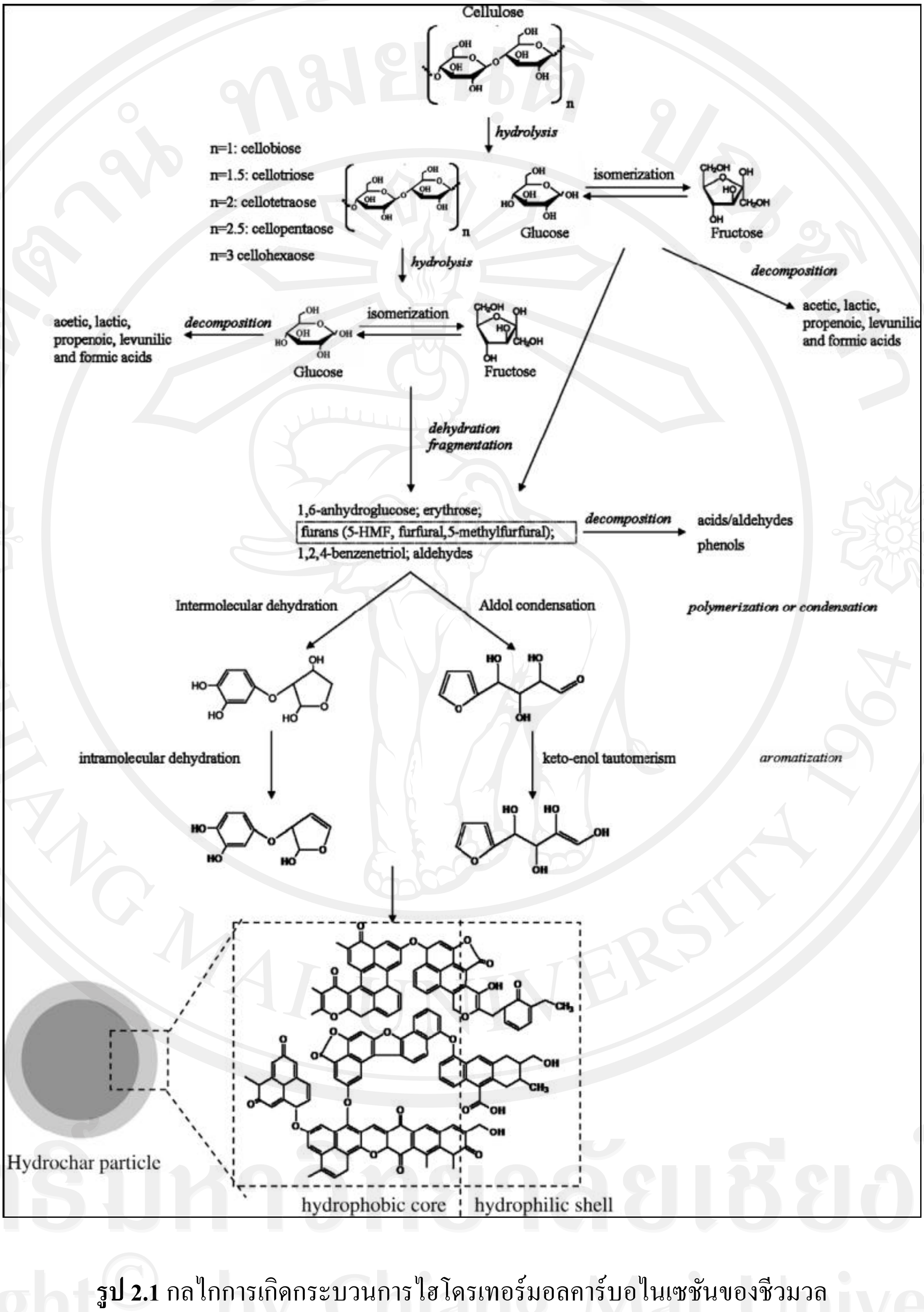
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 การแปรรูปชีวมวล

เทคโนโลยีที่ใช้ในการแปรรูปชีวมวลที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้มีคุณค่ามากขึ้นกว่าเดิมนั้นสามารถแบ่งเป็น 2 เทคโนโลยีหลักๆ คือ กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมี (Biochemical Conversion Process) และ กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน (Thermochemical Conversion Process) โดยที่กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อนนี้ยังสามารถจำแนกออกเป็นกระบวนการย่อยๆ ได้อีก 3 กระบวนการ คือ กระบวนการเผาไหม้ กระบวนการไพโรไลซิส และกระบวนการแกสซิฟิเคชั่น ทั้งนี้ลักษณะความแตกต่างของแต่ละกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการดำเนินการและวัตถุประสงค์หรือผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ (ดังแสดงในตารางที่2.1)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่ากระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมีจะเป็นกระบวนการที่ใช้สภาวะในการดำเนินงานที่รุนแรงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อน แต่วิธีการนี้ค่อนข้างที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่แน่นอนซึ่งจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลค่อนข้างมาก จึงทำให้กระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้พลังงานความร้อนมีความน่าสนใจมากกว่าทั้งในแง่ของปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่หลากหลายกว่ากระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีชีวเคมี โดยที่กระบวนการไพโรไลซิสและกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นนั้นมีความน่าสนใจมากกว่ากระบวนการเผาไหม้ ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อได้เปรียบมากกว่ากระบวนการเผาไม้อยู่หลายประการ อาทิเช่น กระบวนการเผาไหม้นั้นจำเป็นต้องติดตั้งระบบปรับปรุงคุณภาพก๊าซจากกระบวนการเผาก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ เพราะอาจจะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในบางส่วนซึ่งก่อให้เกิดก๊าซมลภาวะ รวมทั้งกระบวนการไพโรไลซิสและกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นนั้นให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่ามากกว่ากระบวนการเผาไหม้ที่ได้พลังงานความร้อนเพียงอย่างเดียว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 2.1 กลไกการเกิดกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชันของชีวมวล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.1 การเปรียบเทียบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวล

		วิธีชีวเคมี	วิธีใช้พลังงานความร้อน
	สารแต่งเติม	√	√
	แอลกอฮอล์	√	√
	ถ่านชาร์		√
เชื้อเพลิง	ดีเซล		√
	กระแสไฟฟ้า		√
	น้ำมันเตา		√
เชื้อเพลิง	ก๊าซ	√	√
	เบนซิน		√
	ไฮโดรเจน	√	√
	อะซิโตน	√	
	บิวทานอล	√	
	เอธานอล	√	√
	สารปรับปรุงดิน	√	√
สารเคมี	สารแต่งเติมอาหาร	√	√
	ไฮโดรเจน	√	√
	มีเทน	√	√
	เมธานอล		√
	เรซิน		√
	สารอื่นๆ ที่มีลักษณะเฉพาะ	√	√

2.2 กระบวนการผลิตถ่าน

2.2.1 กระบวนการคาร์บอไนเซชัน

เชื้อเพลิงของแข็งที่ได้ส่วนใหญ่จะอาศัยกระบวนการคาร์บอไนเซชันซึ่งใช้พลังงานและอุณหภูมิที่สูง(400-600 องศาเซลเซียส) ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งคาร์บอนไนเซชัน เป็นกระบวนการสลายตัวของชีวมวลด้วยความร้อนในสภาพอับอากาศ แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.การไล่ความชื้น เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิบรรยากาศจนถึง 180 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ชีวมวลจะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Free water) และน้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ (Bound water) ควันที่ออกมาจะมีสีขาวปนน้ำเงินอ่อนซึ่งจะมีแต่ไอน้ำ ไม่มีกลิ่นฉุน ไม่แสบตาและจมูก

2.การไล่สารระเหิด เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิประมาณ 180 - 270 องศาเซลเซียส ช่วงนี้เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) จะสลายตัวออกมาจนไปหมดที่อุณหภูมิประมาณ 270 องศาเซลเซียส เตาเผาถ่านที่ดีจะรักษาอุณหภูมิระดับนี้ไว้นานและใกล้เคียงกันทั่วทุกจุดของ เตา ควันที่ออกมาในช่วงนี้จะเริ่มมีสีจาง ๆ เจือปนอยู่ด้วย และจะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กรดน้ำส้ม (Acetic acid) และเมธานอล (Methanol) เจือปนออกมากับควันด้วย แต่มีปริมาณต่ำมาก นำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้

3. การเปลี่ยนชีวมวลเป็นถ่าน อุณหภูมิจะอยู่ประมาณ 270 – 400 องศาเซลเซียส ช่วงนี้ชีวมวลสลายตัวด้วยตัวเองจากปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) อันเกิดจากความร้อนที่สะสมไว้ เซลลูโลสจะเริ่มสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 275 องศาเซลเซียส ก๊าซที่ออกมาจะมีสีขาวปนเหลือง มีกลิ่นฉุนจัด สามารถติดไฟได้ การดักเก็บน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพจะทำได้ในช่วงนี้ ลิกนิน (Lignin) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 310 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส หลังจากกระบวนการนี้ชีวมวลจะกลายเป็นถ่านทั้งหมดแล้ว

4. การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ แม้ว่าชีวมวลจะกลายเป็นถ่านแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส แต่ยังคงมีน้ำมันดินในปริมาณที่สูง เมื่อนำไปใช้ในกระบวนการกรรมวิธีผลิตอาหาร น้ำมันดินที่เผาไหม้ในเตาถ่านจะเกิดเป็นสารประกอบ เบนโซไพเรน (Benzopyrene) และไดเบนซานทราเซน (Dibenzanthracene) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จึงยังเป็นถ่านที่มีคุณภาพต่ำ ควรอบถ่านต่อไปที่อุณหภูมิในช่วง 500 – 600 องศาเซลเซียส ต่อไปอีกระยะหนึ่งเพื่อไล่น้ำมันดินให้หมดไป กระบวนการเหล่านี้หากนำมาใช้กับชีวมวลสด ก็จะต้องใส่พลังงานเข้าไปเพื่อลดความชื้นลง ทำให้ซับซ้อนมากขึ้นในการนำมาใช้เทคโนโลยีใหม่ คือ กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลสามารถใช้ได้กับชีวมวลที่มีความชื้นสูงมากได้

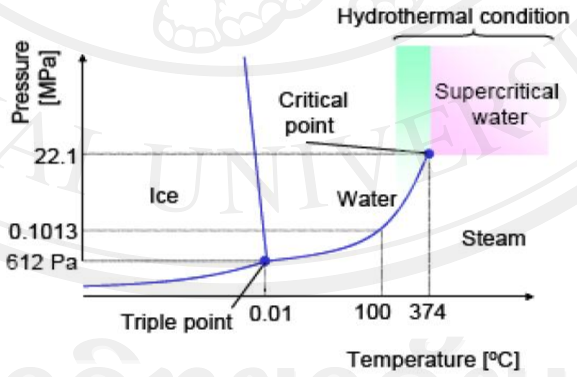
2.2.2 กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน

ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน คือไพโรไลซิสในน้ำที่มีความดันสูงประมาณ 1.5- 2.5 เมกะปาสคาลและอุณหภูมิสูงประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส สารชีวมวลจถูก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลี่ยนก๊าซ ของเหลวและของแข็งซึ่งคล้ายกับไพโรไลซีสในเฟสก๊าซ ทาร์มีน้ำหนักเบา เช่น ไพโรลิเนียสนั้นจะละลายน้ำได้ ทาร์ที่มีน้ำหนักมากจะได้จากการผสมกับชาร์ ดังนั้น ผลิตภัณฑ์จึงได้แก่ก๊าซ สารละลายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ และสารจำพวกน้ำมัน

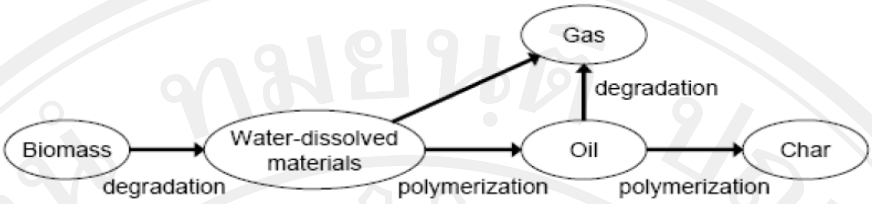
คุณลักษณะของไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน ไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอลไนเซชันนั้นทำปฏิกิริยากับน้ำ วัตถุดิบตั้งต้นนั้นไม่ต้องผ่านกระบวนการอบแห้ง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับสารชีวมวลที่มีความชื้นสูงเช่น สารชีวมวลน้ำ กากอินทรีย์ และขยะอื่นๆ นอกจากนั้นปฏิกิริยาหลายชนิดสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิของปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ปฏิกิริยาซึ่งเกิดขึ้นในน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูงที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียสสารที่ละลายได้จะละลายในน้ำและเหมาะแก่การสกัดสาร เหนืออุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเกิดการไฮโดรไลซีสและสารจำพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โปรตีนและอื่นๆจะถูกย่อยพอลิเมอร์เป็นโมโนเมอร์ และที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส และความดัน 1 เมกะปาสคาล ของแข็งจำพวกสารชีวมวลจะถูกเป็น slurry (การทำให้เป็นของเหลว) และสารจำพวกน้ำมันยังไม่เกิดขึ้น ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสและความดัน 10 เมกะปาสคาลจะเกิดปฏิกิริยาทำให้ได้สารจำพวกน้ำมัน เมื่อเงื่อนไขของปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงเช่น เวลาในการทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์หลักจะถูกเปลี่ยนเป็นชาร์ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอนไนเซชัน และที่จุดวิกฤตร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา สารชีวมวลสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซ



รูป 2.2 เฟสของน้ำ

แผนผังของปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน เป็นการไพโรไลซิสดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาสลายตัวและปฏิกิริยาเพอร์ลิเมอร์ไรเซชันเปลี่ยนเป็นชาร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป2.3 แผนผังของปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลเบื้องต้น

2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลคาร์บอไนเซชัน

ชีวมวล (Biomass) คือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ โดยที่ชีวมวลนั้นประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน รวมทั้งมีปริมาณของไนโตรเจนและธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย ชีวมวลนั้นมีอยู่มากมายทั้งที่ได้จากสิ่งมีชีวิต (ยกเว้นที่ได้กลายเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติไปแล้ว) และยังรวมไปถึงสิ่งต่างๆ ที่มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ชีวมวลที่มาจากพืช ได้แก่ ไม้ชนิดต่างๆทั้งไม้เนื้ออ่อนและเนื้อแข็ง พืชวัตถุดิบ พืชน้ำมัน วัชพืชบกและน้ำ วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร และของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น
2. ชีวมวลที่มาจากสัตว์ ได้แก่ มูลสัตว์ต่างๆ เช่น มูลวัว ควาย เป็ด ไก่ และหมูเป็นต้น

สำหรับประเทศไทยนั้นนับได้ว่าเป็นประเทศหนึ่งที่มีทรัพยากรชีวมวลจำนวนมาก แต่มีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนน้อย แหล่งชีวมวลที่สำคัญของประเทศไทยคือฟางข้าวและชานอ้อยซึ่งถูกทิ้งไว้ในไร่นาหรือถูกเผาทิ้ง รวมไปถึงของเสียจากภาคอุตสาหกรรมต่างๆ จากการประมาณการศักยภาพทางเทคนิคนั้นพบว่าประเทศไทยจะมีศักยภาพในด้านของชีวมวลมากกว่า 20 ล้านตันน้ำมันดิบ ซึ่งมากกว่าครึ่งหนึ่งของการใช้น้ำมันในปัจจุบัน ดังนั้นการนำชีวมวลมาแปรรูปเพื่อให้มีคุณค่าเพิ่มมากขึ้นหรือการใช้พลังงานจากชีวมวลนั้นนับว่ามีความน่าสนใจเป็นอย่าง

2.3.1 สมบัติของชีวมวล

ชีวมวลมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรต และ ลิกนิน

ก. คาร์โบไฮเดรต คือ สารพวก Saccharides, เซลลูโลส, แป้ง และ Hemicellulose

- เซลลูโลส เป็นเส้นใย polysaccharide ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ของพืช และมีอยู่มาก เซลลูโลสเป็นตัวที่ไม่ละลาย และไม่ค่อยทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะไฮโดรไลซิส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- แป้ง เป็นเม็ด polysaccharide ถูกเก็บไว้ในส่วนต่างๆของพืช ได้แก่พวก เมล็ด, ราก, หัว และลำต้น ประกอบด้วย 10-20% -amylose ซึ่งละลายน้ำ และ 80-90% amylopectin ซึ่งไม่ละลายน้ำ

- Hemicellulose เป็น polysaccharide ที่พบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส แตกต่างกันที่เป็น amorphous และมีมวลโมเลกุลต่ำกว่า จึงละลายได้ดีกว่าเซลลูโลส

ข. ลิกนิน เป็นกลุ่มสำคัญที่มีในชีวมวลไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เป็นองค์ประกอบพิเศษของผนังของ woody cell ทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมเกาะให้เกิดความแข็งแรงเชิงกล เป็น amorphous และละลายได้ดีกว่าเซลลูโลส สามารถแยกจากเนื้อไม้ได้โดยใช้ไอน้ำ ลิกนินต้านทานปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และไม่สามารถถูกย่อยโดยแบคทีเรีย

ตาราง 2.2 แสดงสูตรโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตและลิกนิน

	Approximate Representation	Monomer Building Block	Molar Mass
Polysaccharides			
Cellulose	$(-C_6H_{10}O_5-)_n$	D-glucode	> 100,000
Starch	$(-C_6H_{10}O_5-)_n$	D-glucode	35,000-90,000
Hemicellulose	-	Various sugars	10,000-35,000
Wood	$C_{36}H_{54}O_{23}$	Liqnocellulose	5,000-10,000
Lignin	-	Hydroexyphenyl-propane (C_3H_7,C_6H_4,OH)	5,000-10,000

2.3.2 ไม้ไผ่

ไม้ไผ่□เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีวิวัฒนาการมากจากพืชตระกูลหญ้า มีถิ่นกำเนิดและการกระจายพันธุ□ตามธรรมชาติเกือบทุกทวีปแต่□พบกระจายพันธุ□มากที่สุดในเขตร้อนทางใต้และตะวันออกเฉียงใต้□ของทวีปเอเชีย จากอินเดีย ไทย จีน ญี่ปุ□น และเกาหลี มีพบอยู่บ้างในประเทศแถบทวีปอเมริกาใต้ เช่น เปอร์โตริโกชีลี อาร์เจนตินาและ พบอยู่□ 2–3 ชนิด ในออสเตรเลียรวมถึงมีอยู่ในประเทศเขตอบอุ่น ไม้ไผ่□ที่พบกระจายอยู่ทั่วโลก มีอยู่ถึงประมาณ 77 สกุล 1,030 ชนิด และพบในทวีปเอเชียถึง 45 สกุล 750 ชนิด ในปัจจุบัน เท่าที่สำรวจพบในประเทศไทย มีประมาณ 15 สกุล 82 ชนิด สามารถพบการกระจายพันธุ□ตามธรรมชาติอยู่ทั่วไปทุกภาค ในป่าเบญจพรรณ ป่าดิบชื้น ป่าดิบแล□ง ป่าดิบเขา ป่าเต็งรัง และป่าละเมาะ ยกเว้นไผ่ตง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไผ่□สีสุก และไผ่□เลี้ยง ซึ่งไม่□ใช้□ไผ่□พื้นเมืองของไทย เชื่อว่ามีการนำเข้ามาปลูกเป็นเวลานานแล้ว

โดยทั่วไปลักษณะภายนอกของไม้ไผ่ลำต้นจะขึ้นตรงในส่วนโคน และส่วนปลายจะค่อยๆ เล็กเรียวและโค้งตามลักษณะของธรรมชาติ เป็นส่วนโค้งที่เกิดจากสภาพแวดล้อม และเมื่ออยู่กันเป็นกลุ่มกอจึงทำให้□ส□วนโค้งสอดประสานกัน โดยลำไผ่ (culms) อาจสูงเพียงไม่กี่เซนติเมตรจนถึง 40 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรจนถึง 30 เซนติเมตร แต่ละลำไผ่มีข้อและปล้อง ที่ข้อมีใบหนึ่งใบแต่อาจมีหนึ่งหรือหลายกิ่งแขนง ในหนึ่งต้นอาจมีไผ่นับพันลำ ไผ่ไม่ได้มีลักษณะแบบเนื้อไม้ ไผ่เป็นพืชใบเลี้ยงเดียว (monocotyledons) เช่นเดียวกับพวกปาล์ม แต่ทั่วไปมักเรียกว่า ไม้ไผ่

ส่วนสีของไผ□ในธรรมชาติไผก็□มีอยู่หลากหลายสี เช่น สีเขียวที่พบมากที่สุดสีเขียวอมเหลือง สีเหลือง สีเหลืองทอง สีน้ำตาล และสีที่เป็นลวดลาย สีเหลืองลายแถบเขียว สีเขียวลายจุดเทา สีสันและลวดลายต่างๆ จะมีการเปลี่ยนจากสีอ่อนเป็นสีเข้มขึ้นตามช่วงอายุของไผ่แต่บางพันธุ์ที่เป็นลักษณะพิเศษ คือ ไผ่□สีสุก จะมีสีเขียว เมื่อแก□จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง นั้นก็คือที่มาของชื่อไผ่□สีสุก ซึ่งตามแถบชนบทนิยมปลูกกันมาก โดยใช้เป็นรั้วแนวบอกเขตของที่ดิน

ไผ่หนึ่งต้นจะโตสูงสุดภายในหนึ่งปี แต่จะอยู่ได้หลายๆ ปี และเพิ่มจำนวนลำเรื่อยๆ ออกไปด้านข้างของกอไผ่ ไผ่บางชนิดออกดอกเมื่ออายุ 10-100 ปี หรือมากกว่านี้ แล้วจะแห้งตายหลังจากดอกพัฒนาเป็นเมล็ดแล้ว (monocarpic) ยิ่งไปกว่านั้นไผ่ชนิดเดียวกันจะออกดอกพร้อมกันในอาณาบริเวณเดียวกันอีกด้วย ซึ่งไม่มีใครสามารถพยากรณ์ได้ว่าเมื่อไหร่จะเกิดเมล็ดมาทำลายไผ่ซึ่งเป็นแหล่งอาหารหนึ่งสำหรับสัตว์และมนุษย์

รูป 2.4 ลักษณะต้นของไผ่ตง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อดีของการนำไผ่มาทำการผลิตถ่าน

หาง่าย ราคาถูก สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี โตเร็ว ขึ้นได้ทุกสภาพผิวดิน ทำให้มีความเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการผลิตได้ อีกทั้งเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับไม้ไผ่ได้ด้วย

มีค่าความร้อนปานกลาง คือ ประมาณ 16-20 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมากกว่าเชื้อเพลิงประเภทอื่นอยู่ประมาณ 3-6 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

ตาราง 2.3 คุณสมบัติทางเคมี ของไผ่

Property	Unit	Value
Proximate analysis (% w/w dry basis)		
Moisture	[%]	5.7
Volatile	[%]	74.7
Fixed carbon	[%]	14.1
Ash	[%]	5.5
Ultimate analysis (% w/w dry basis)		
Carbon	[%]	45.7
Hydrogen	[%]	4.3
Oxygen	[%]	49.7
Nitrogen	[%]	0.3
Higher heating value	[MJ/kg]	16.8

2.4 การคำนวณการสูญเสียความร้อนผนังในระบบ

2.4.1การสูญเสียความร้อนผนังในระบบ

การถ่ายเทความร้อนเป็นการศึกษาถึงอัตราการถ่ายเทพลังงานในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างระบบสองระบบหรือระหว่างระบบหนึ่งและสิ่งแวดล้อม เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยไม่มีการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานรูปอื่น เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในระบบจะทำให้พลังงานในรูปความร้อนถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หรือกล่าวได้ว่าเกิดความลาดเอียงของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ขึ้นในระบบซึ่งหาได้จากค่าการกระจายของอุณหภูมิ (Temperature Distribution) เมื่อเราทราบการกระจายของอุณหภูมิก็สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ได้ โดยอาศัยสมการการถ่ายเทความร้อนโดยการพาร่วมกับการแผ่รังสีความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$Q = Q_{conv} + Q_{rad}$$
$$Q = hA(T_h - T_\infty) + \varepsilon\sigma A(T_h^4 - T_s^4)$$

โดยกำหนด	Q	หมายถึง	พลังงานการถ่ายเทความร้อน, W
	h	หมายถึง	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2.K$
	ε	หมายถึง	ค่าการแผ่รังสี
	σ	หมายถึง	ค่าคงทีของโบลซ์มานซ์ เท่ากับ 5.67×10-8 $W/m^2.K^4$
	T_h	หมายถึง	อุณหภูมิผนัง, K
	T_∞	หมายถึง	อุณหภูมิผิวท่อ, K

2.4.2 พลังงานของการเปลี่ยนวัฏภาค

เราทราบกันดีแล้วว่า สสาร มี 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส แต่ในธรรมชาติแล้ว ซึ่งมีความดันและอุณหภูมิเกือบจะคงที่ หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ในช่วงเวลาสั้นๆ การเปลี่ยนแปลงของความดันและอุณหภูมิในบรรยากาศมีค่าน้อยมากๆ เราจะพบว่า สารแต่ละชนิดจะปรากฏรูปให้เห็นเพียงสถานะเดียว ซึ่งอาจจะอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งใน 3 สถานะที่ได้กล่าวมา เช่น น้ำที่ความดันบรรยากาศจะเป็นของเหลว คาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นแก๊ส เป็นต้น พบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อสสาร สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือ จะทำให้สถานะของสสารเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งไปสู่อีกสถานะหนึ่งได้

เพื่อต้องการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร ในทางปฏิบัติ สถานะของสารตั้งต้นจะเป็นของแข็ง และมักจะทำการเพิ่มอุณหภูมิภายใต้สภาวะความดันคงที่ พิจารณากราฟการเพิ่มความร้อนต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 2.5 กราฟการให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะของแข็งไปเป็นก๊าซ

จากกราฟ เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิให้แก่สารซึ่งมีสถานะเป็นของแข็ง สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ของแข็งจะเริ่มหลอมเหลว และสถานะของสารจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากของแข็งไปสู่สถานะที่เป็นของเหลว จนถึงจุดที่อุณหภูมิมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงจากจุด A ไป จุด B เรียกว่า การหลอมเหลว (melting) ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว เรียกว่า ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว และเรียกอุณหภูมิ ณ จุดนี้ว่า จุดหลอมเหลวของสาร เมื่อสารกลายเป็นของเหลวหมดแล้ว อุณหภูมิของของเหลวจะเพิ่มขึ้นอีกเรื่อยๆ ของเหลวเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวไปเป็นแก๊ส ซึ่งอุณหภูมิก็จะมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงจากจุด C ไปจุด D กระบวนการที่เกิดขึ้น เรียกว่า การกลายเป็นไอ (vaporization process) การที่สารยังมีการดูดพลังงานเข้าไปนั้น ก็เพื่อจะไปสลายแรงยึดเหนี่ยวของของเหลว เพื่อให้กลายเป็นแก๊ส เราเรียกความร้อนนี้ว่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ และเรียกอุณหภูมิ ณ จุดนี้ว่า จุดเดือด

การคำนวณหาพลังงานที่เปลี่ยนแปลง

ก. การเปลี่ยนแปลงพลังงานเมื่ออุณหภูมิไม่คงที่

ใช้สูตร $\Delta H = ms(\Delta t)$

ΔH = พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป

m = มวล

s = ความร้อนจำเพาะ

Δt = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. การเปลี่ยนแปลงพลังงานเมื่ออุณหภูมิคงที่ (ความร้อนแฝง)

ใช้สูตร Δ**H = mL**

ΔH = พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป

m = มวล

L = ค่าความร้อนแฝง

2.5 การออกแบบเตาทรงกระบอกรับความดัน

2.5.1 ความเค้นในภาชนะความดันผนังบาง (Stress in Thin – Walled pressure Vessels)

$$\sigma_{tL} = \frac{P(\pi D_i^2)/4}{\pi D_i\, t} = \frac{PD_i}{4t}$$

$$\sigma_{tL} = \frac{PD_i}{4t}$$

$$\sigma_{tc} = \frac{PD_i}{2t}$$ เมื่อ safety facter เท่ากับ 3

โดยกำหนด σ_{tL} , σ_{tc} หมายถึง ความเค้นในแนวแกนนอนและความเค้นในเส้นรอบวงในผนังของภาชนะความดันผนังบาง

P หมายถึง ความดันภายใน

D_i หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของภาชนะความดัน

r_i หมายถึง รัศมีภายในของภาชนะความดัน

t หมายถึง ความหนาของภาชนะความดัน

2.5.2 รอยต่อในภาชนะความดันผนังบาง (Joint in Thin Walled Pressure Vessels)

$$\sigma_{tc} = \frac{PD_i}{2t}$$ เมื่อ J.E (Joint Efficiency) 70%

มาตรฐานของ ASME กำหนดให้ ค่าความเค้นสำหรับการต่อแผ่นโลหะอยู่ใน ¼ ของความแข็งแรงดึงอัลทิเมตของเหล็ก หรือ 2/3 ของความแข็งแรงคราก (Yield Strength) ของเหล็ก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved