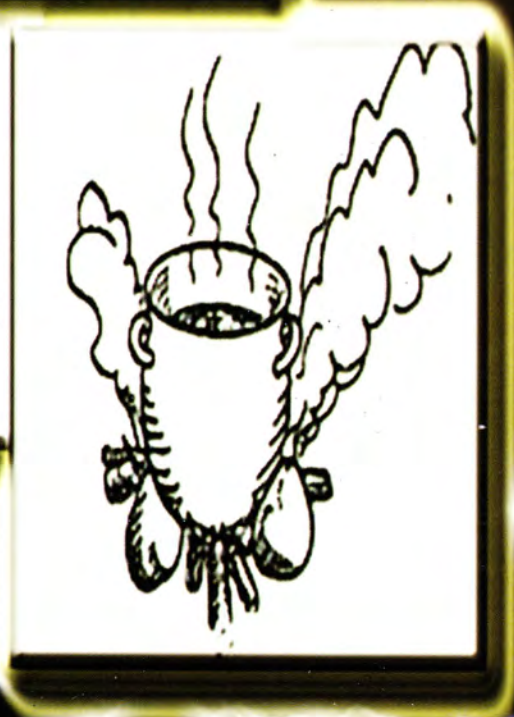


ไม้ฟืน Fuelwood



กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้
สำนักวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้
กรมป่าไม้
พ.ศ. 2544

ไม้พิน

Fuelwood

วิชณี บุญญะปฎิภาค

Vitchanee Boonyapatipark

ร. 579

ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้
กรมป่าไม้

พ.ศ. 2545

คำนำ

แม้ว่าไม้พินจะเป็นวัสดุเชื้อเพลิงชีวมวลที่รู้จักแพร่หลายกันมานานแล้ว แต่การแปรรูปพลังงานจากไม้พินให้ได้พลังงานสูงสุด ก็ยังจำเป็นจะต้องนำองค์ความรู้จากสาขาวิชาต่างๆ มาใช้ประกอบเพื่อให้มีการใช้พลังงานเป็นไปอย่างคุ้มค่า ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการอนุรักษ์พลังงานเป็นอย่างมาก

เอกสารไม้พินเล่มนี้ นางสาววิชนี บุญญะปฎิภาค นักวิชาการป่าไม้ กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ได้เรียบเรียงจากความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ เช่น พฤษศาสตร์ กายวิภาคของไม้ สรีระวิทยาของพืช เคมีของไม้ การป้องกันรักษาเนื้อไม้ การอบและผึ่งไม้ ไฟป่า ความสัมพันธ์ระหว่างไม้กับของไหล เทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานจากไม้ และวิชาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องโดยมีพื้นฐานจากประสบการณ์ การศึกษาในสาขาวิชานวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และการฝึกอบรมสัมมนา รวมทั้งการศึกษาวิจัยในขณะปฏิบัติงานในกรมป่าไม้ มาใช้เป็นข้อมูลประกอบ โดยมีเนื้อหาประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพไม้พิน การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งหรือพินเทียม การปรับปรุงคุณภาพของไม้พิน และการใช้พลังงานจากไม้พิน ซึ่งได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการกำหนดมาตรฐานและรับรองคุณภาพผลงานทางวิชาการด้านป่าไม้และเลขที่ ร. 579 แล้ว

ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ เห็นว่าเอกสารเล่มนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการใช้ประโยชน์จากไม้ ด้านพลังงาน จึงได้ให้การสนับสนุนในการจัดพิมพ์เป็นเอกสารทางวิชาการและใช้เผยแพร่ต่อไป



ณรงค์ เพ็งปรีชา

ผู้อำนวยการ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้
สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	III
สารบัญภาพ	IV
คำนำ	1
บทนำ	2
พันธุ์พืชเชื้อเพลิง	2
พลังงานจากพืช	3
บทที่ 1 ไม้พื้	7
โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของไม้	8
โครงสร้างของเซลล์ไม้	8
องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์	11
เซลลูโลส	13
เฮมิเซลลูโลส	14
ลิกนิน	16
สารแทรก	18
บทที่ 2 คุณสมบัติของไม้พื้	21
น้ำหนักหรือความหนาแน่นของไม้	21
ค่าความร้อนของการสันดาป	22
สารระเหย	26
ชี้เท้า	27
การจุดติดไฟและการมอด	28
ความชื้น	28
การเสื่อมสภาพ	32
บทที่ 3 พื้เทียม	34
เทคโนโลยีการผลิตพื้เทียม	36
การเตรียมชิ้นวัสดุ	36
กระบวนการอัดแท่ง	36
การลดปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิง	37
เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการอัด	38

	หน้า
บทที่ 4 การปรับปรุงคุณภาพของไม้พื้น	42
สมบัติทางเคมีของถ่านที่แปรสภาพจากไม้พื้น	43
เครื่องมือที่ใช้ในการแปรสภาพไม้พื้น	45
การเกิดปฏิกิริยาการแปรรูปไม้ให้เป็นถ่าน	49
ลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของไม้เมื่อกลายเป็นถ่าน	52
สมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปของไม้เมื่อกลายเป็นถ่าน	53
คุณสมบัติในการใช้งานของถ่าน	56
บทที่ 5 การใช้พลังงานจากไม้พื้น	57
ระบบการสันดาป	60
การใช้พลังงานจากไม้พื้นในการหุงต้มอาหาร	62
เตากปม 1 และเตากปม 2	62
กิตติกรรมประกาศ	70
บรรณานุกรม	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารอินทรีย์และซีไธในไม้บางชนิดที่มีในประเทศไทย	20
2 แสดงศักยภาพของพลังงานจากไม้โตเร็วบางชนิดของไทย	22
3 แสดงค่าความร้อนของการสันดาปของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ของไม้ red wood	23
4 แสดงปริมาณความร้อนของการสันดาปของไม้ป่าพรุบางชนิดก่อนและหลังการสกัดสารแทรก	24
5 แสดงค่าความร้อนของการสันดาปของไม้บางชนิดที่มีในประเทศไทย	26
6 แสดงค่าความร้อนของไม้และถ่านที่ความชื้นต่างๆ เทียบกับค่าความร้อนที่สภาวะอบแห้ง	29
7 แสดงค่าความร้อนของการสันดาปของวัสดุเหลือใช้เหลือทิ้งทางการเกษตร	34
8 แสดงสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวบางชนิด	41
9 แสดงความแปรปรวนของถ่านที่ได้จากการเผาโดยชนิดเตาที่แตกต่างกัน	43
10 แสดงค่าสมบัติทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัสที่เปลี่ยนไปหลังจากการเผาในเตาไฟฟ้า	44
11 แสดงค่าสมบัติทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัสที่เปลี่ยนไปหลังจากการเผาในเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 300°ซ ที่เวลาต่าง ๆ กัน	45
12 แสดงค่าความร้อนของการสันดาปของไม้โกงกางใบเล็ก (<i>Rhizophora apiculata</i> Bl.) และโกงกางใบใหญ่ (<i>Rhizophora mucronata</i> Poir.) และถ่าน ที่ได้จากการเผาด้วยเตาอิฐก่อ ในท้องที่อำเภอกระบุรี จังหวัดพังงา	45
13 แสดงสรุปผลผลิตและประสิทธิภาพในการผลิตถ่าน จากเตาชนิดต่างๆ	47
14 แสดงลักษณะที่ดีของเตาถ่านและเตาฟืน ซึ่งได้จากการวิจัยเกี่ยวกับตัวแปรภายในเตาหุงต้ม	64
15 แสดงลักษณะของเตาหุงต้มฟืนและเตาหุงต้มถ่านของกรมป่าไม้	66
16 แสดงปริมาณความร้อน ประสิทธิภาพ อัตราการเผาไหม้ และงานที่ได้ของถ่านเปลือกทุเรียนที่ใช้กับเตา กปม 1 และเตา กปม 2	67
17 แสดงตัวอย่างการประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงบางชนิด	69

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงการสังเคราะห์แสงของต้นไม้	5
2	แสดงโครงสร้างต้นไม้และเนื้อไม้	8
3	แสดงโครงสร้างของผนังเซลล์	10
4	แสดงชั้นของผนังเซลล์	10
5	แสดงลักษณะไมโครไฟบริลที่ประกอบขึ้นจากการรวมตัวของไมเซลล์และเซลลูโลส	11
6	แสดงลักษณะของส่วนที่เป็น crystalline และ amorphous region	12
7	แสดงลักษณะโดยสรุปขององค์ประกอบทางเคมีของไม้	13
8	แสดงการเชื่อมต่อกันของน้ำตาลกลูโคสในเซลลูโลส	14
9	แสดงตัวอย่างเฮมิเซลลูโลสที่พบในไม้ใบกว้าง	15
10	แสดงตัวอย่างเฮมิเซลลูโลสที่พบในไม้ใบแคบ	15
11	แสดงน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในเฮมิเซลลูโลส	16
12	แสดงโครงสร้างของหน่วยโมโนเมอร์ของลิกนิน	16
13	แสดง guaiacylpropane ซึ่งพบทั้งในไม้ใบแคบและไม้ใบกว้าง และ syringylpropane ซึ่งพบมากในไม้ใบกว้าง	17
14	แสดงการเชื่อมโยงของโครงสร้างลิกนินในไม้ใบแคบ	17
15	แสดงตัวอย่างสารแทรกที่พบในไม้ใบกว้าง	19
16	แสดงความแตกต่างของค่าความร้อนของการสันดาปของไม้ป่าพุ่มบางชนิด ก่อนและหลังการสกัดสารแทรกด้วยแอลกอฮอล์-เบนซีน	23
17	แสดงตัวอย่างการกองไม้พิน	30
18	แสดงรูปแบบของการทำงานของเครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ	38
19	แสดงเครื่องอัดแท่งแบบเม็ด แท่งเล็ก ที่ใช้แม่พิมพ์แบบ flat annular matrix(1) และ flat circular matrix (2)	39
20	แสดงแนวทางการทำงานของเครื่องอัดแท่งใช้สกรู	39
21	แสดงส่วนประกอบของเครื่องอัดสกรู ชนิดมีระบบให้ความร้อน	40
22	แสดงลักษณะจำลองของการให้ความร้อนในเตาเผา (1) และเตากลั่นหรืออบ(2)	46
23	แสดงรูปแบบต่างๆ ของเตาเผา	49
24	แสดงการเกิดเขตอุณหภูมิต่างๆ ของชั้นไม้พิน	51

	หน้า
25 แสดงโครงสร้างของแกรไฟท์ แต่ละชั้นโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนยึดกันแข็งแรงมาก ระหว่างชั้นยึดกันไม่แข็งแรงนัก	53
26 แสดงลักษณะโครงสร้างและความยาว ของสองหน่วยโมเลกุลของเซลลูโลส และแกรไฟท์	54
27 แสดงการเปลี่ยนแปลงความแน่นแท้จริงของเนื้อไม้ (เฉลี่ยจากไม้หลายชนิด) ตาม อุณหภูมิที่ใช้เผา ที่อัตราการเพิ่มความร้อน 1°C ต่อนาที	55
28 แสดงสามเหลี่ยมไฟ ซึ่งประกอบด้วย เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อน	57
29 แสดงผลของระยะทางในการแผ่รังสีความร้อน ที่มีต่อปริมาณความร้อน	59
30 แสดงเปรียบเทียบลักษณะการติดไฟของไม้พื้น	59
31 แสดงตัวอย่างของเตาหุงต้มแบบต่าง ๆ	62
32 แสดงลักษณะของเตา กปม 1 และกปม 2	65
33 แสดงลักษณะของเตาแก๊สไม่มีปล่อง	67

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่สำคัญในการดำรงชีวิต และการพัฒนาประเทศ ซึ่งแหล่งพลังงานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานน้ำ พลังงานก๊าซธรรมชาติ และพลังงานชีวมวล ล้วนแล้วแต่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่อมวลมนุษยชาติทั้งสิ้น โดยเฉพาะพลังงานชีวมวลที่ได้จากพืช นับเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถปลูกและสร้างขึ้นใหม่ทดแทนได้ (renewable energy) ซึ่งมนุษย์รู้จักการนำพืช มาใช้ เป็นเชื้อเพลิงตั้งแต่มนุษย์รู้จักใช้ไฟ

พืชเป็นสิ่งมีชีวิตเพียงชนิดเดียวที่สามารถนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์แสงต่าง ๆ ให้เกิดขึ้นได้ จึงถือได้ว่า พืชเป็นผู้ผลิตที่สำคัญ สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อยู่บนโลกสามารถนำผลผลิตที่พืชสร้างขึ้นมาใช้ได้ในรูปของอาหารเป็นส่วนใหญ่ แต่โดยข้อเท็จจริงแล้ว พลังงานที่แฝงอยู่ในพืชนั้น สามารถที่จะถูกนำกลับมาใช้ให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนได้ด้วย

พันธุ์พืชเชื้อเพลิง

การแปรรูปพลังงานจากพืชสามารถทำได้หลายวิธี คือ นำพืชมาใช้ในการเผาไหม้โดยตรง (direct combustion) ในรูปของเชื้อเพลิงแข็ง นำน้ำมันจากพืชที่ให้น้ำมัน (vegetable and plant oils) มาใช้ โดยตรงในรูปของเชื้อเพลิงเหลว นำพืชหรือน้ำมันพืชมาสลายโมเลกุลด้วยความร้อน (thermal conversion) มาใช้ในรูปของเชื้อเพลิงเหลว (distillates) ด้วยวิธีการกลั่นสลายแบบ pyrolysis หรือ liquefaction) และใช้ในรูปของก๊าซเชื้อเพลิง โดยวิธีการสลายโมเลกุลแบบ gasification และวิธีสุดท้ายเป็นการสลายโมเลกุลของพืชด้วยวิธีทางชีววิทยา (biological conversion) มาใช้ในรูปของเชื้อเพลิงเหลว พืชที่มีความสำคัญในการแปรรูปพลังงาน และมักจะถูกมนุษย์นำมาใช้เชื้อเพลิง เพื่อประโยชน์ด้านพลังงานจะเป็นพืชที่อยู่ในกลุ่มของพืชเมล็ดเปลือย (gymnospermae) และ พืชดอก (angiospermae) ซึ่งจัดว่าเป็นพืชชั้นสูง ที่มีระบบท่อลำเลียง ในอาณาจักรพืชหรือเมตาไฟตา (metaphyta kingdom) และเป็นสิ่งมีชีวิตที่เป็น Eukaryote ที่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส และโครโมโซมเห็นได้ชัดเจน และประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก บางเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เฉพาะอย่าง และที่สำคัญคือเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ช่วยในการสังเคราะห์แสง

Gymnospermae หรือ พืชเมล็ดเปลือย พืชในกลุ่มนี้เป็นพืชที่มีความเก่าแก่ที่สุดในบรรดาพืชที่มีเมล็ดทั้งหลาย มีลักษณะเป็นไม้ต้น (tree) ไม้พุ่ม (shrub) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นพืชให้เนื้อไม้ทั้งสิ้น พืชในกลุ่มนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ไม้ใบแคบ หรือ ไม้เนื้ออ่อน (softwood) มีการสืบพันธุ์ โดยการสร้างโคน (cone) หรือสโตรบิลัส โคนเพศผู้จะผลิตไมโครสปอร์ ซึ่งจะเจริญต่อไปเป็นละอองเรณูและเมื่อปลิวไปตกบนโคนเพศเมียก็จะเกิดการปฏิสนธิเจริญเป็นเมล็ดและเมล็ดเหล่านี้จะไม่มีสิ่งห่อหุ้ม เป็นพืชที่มีระบบท่อลำเลียงที่เจริญดี มีทั้งที่มี vessel ที่แท้จริง และไม้แท้

จริง แต่ส่วนมากจะไม่มี vessel ที่แท้จริง จะใช้ tracheids ในการลำเลียงน้ำเลี้ยงต่าง ๆ ใน xylem พืช Gymnospermae ที่พบในประเทศไทย เช่น สนสองใบ (*Pinus merkusii* jungh & de Vries) สนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gord.) ประหลัดยี่ม หรือตะบัตถาชี (*Cycas siamensis* Miq.) ประทะเล (*Cycas rumphii* Mig.) ประเขา (*Cycas pectinata* Griff.) สนสามพันปี (*Dacrydium elatum* (Roxb.) Wall. พญาไม้ (*Podocarpus motleyi* (Parl.) Dum.) ขางจิง (*Podocarpus neriifolius* D. Don) มะขามป้อมดง (*Dacrycarus imbricatus* (Blume) de Laub. var. *patulus* de Laub.) พญามะขามป้อม (*Cephalotaxus griffithii* Hook.f.) แปกลม (*Calocedrus macrolepis* Kurz.) ผักกะเหรียง หรือผักเหมียง (*Gnetum gnemon* L. var. *tenerum* Markgraf) เมือบ (*Gnetum montanum* Markgraf) เมือบดุก (*Gnetum macrostachyum* Hook.f.) มะเมือย (*Gnetum gnemon* L. var. *gnemon* Markgraf)

Angiospermae หรือ พืชดอก เป็นพืชกลุ่มใหญ่ที่สุดในบรรดาพรรณพืชทั้งหลาย พืชในกลุ่มนี้มีลักษณะเด่นชัด คือ เมล็ดเกิดในรังไข่และมี vessel ในการลำเลียงน้ำและสารอาหารอยู่ใน xylem แบ่งออกเป็น พืชใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) และพืชใบเลี้ยงคู่ (dicotyledon) พืช 2 กลุ่มนี้มีลักษณะทางกายวิภาค (plant anatomy) ที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด ได้แก่ ลักษณะการเรียงตัวของท่อน้ำท่อลำเลียง (vascular bundles)

1. พืชใบเลี้ยงเดี่ยว เป็นกลุ่มของพืชที่มีท่อน้ำท่อลำเลียง อยู่กระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ และไม่มี cambium ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างที่ทำให้พืชมีความโตเพิ่มขึ้น แต่อาจมีการเจริญด้านกว้างได้เนื่องจากมีพาเรนไคมาภายนอกกลุ่มท่อลำเลียงเจริญกลายเป็นแคมเบียม

2. พืชใบเลี้ยงคู่ เป็นกลุ่มของพืชที่มีท่อน้ำท่อลำเลียงเรียงตัวรอบลำต้นอย่างเป็นระเบียบ พืชใบเลี้ยงคู่ยังแบ่งออกเป็นพืชที่ให้เนื้อไม้ และพืชไม่ให้เนื้อไม้

- พืชที่ให้เนื้อไม้ (wood species) จะเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ที่มี cambium ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญด้านข้างที่ทำให้พืชมีความโตเพิ่มขึ้น และเป็นส่วนสำคัญในการสร้างเนื้อไม้ หรือเรียกว่าไม้ใบกว้าง หรือไม้เนื้อแข็ง (hardwood) เช่น สัก ประดู่ ยูคาลิปตัส เป็นต้น

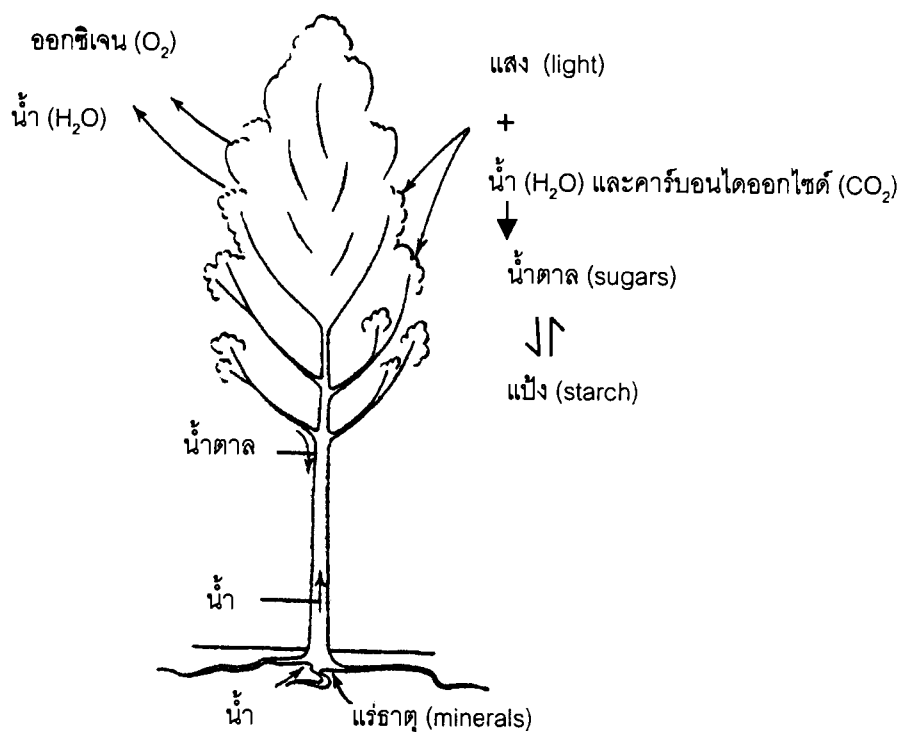
- พืชที่ไม่ให้เนื้อไม้ (herbaceous sp.) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ที่ไม่มี cambium ส่วนมากจะเป็นพืชที่มีอายุสั้น เช่น ถั่วลิสงเตา ดอกหอม แครอท มันฝรั่ง

พลังงานจากพืช

พืชสามารถให้พลังงานกับมนุษย์ได้ โดยที่พลังงานที่มนุษย์ได้จากพืชนั้นมีแหล่งของพลังงานจากดวงอาทิตย์ และนับเป็นแหล่งพลังงานแสงและความร้อนที่สำคัญ แสงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลกจะมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) มีช่วงคลื่นต่าง ๆ กัน แสงช่วงคลื่นที่สิ่งมีชีวิตสามารถรับและใช้ประโยชน์พลังงานได้โดยตรง เป็นแสงช่วงคลื่นที่ตาเรา

สามารถมองเห็นได้ (visible light) ซึ่งมีช่วงคลื่นระหว่าง 380-760 นาโนเมตร ประกอบด้วยแสงสีต่าง ๆ คือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และแดง ซึ่งนอกจากมนุษย์แล้วแสงแดด ก็ยังเป็นแหล่งพลังงานที่จำเป็นแก่การดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่เกิดขึ้นบนโลก จะใช้แสงช่วงคลื่นดังกล่าวในกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างสารอินทรีย์และพลังงานในพืช

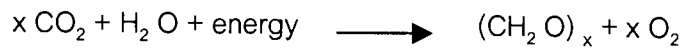
กระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นกระบวนการที่สำคัญในการสร้างอาหารของพืชสีเขียวที่มีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นรงควัตถุสีเขียวที่อยู่ในโครงสร้างพิเศษของเซลล์ใบที่เรียกว่าคลอโรพลาสต์ (chloroplast) พืชจะลำเลียงน้ำ จากรากสู่ใบ โดยผ่านทางท่อลำเลียงน้ำเลี้ยง ที่เรียกว่าไซเลม (xylem) ในขณะที่เดียวกันคาร์บอนไดออกไซด์ ก็จะถูกดูดเข้าสู่ใบ โดยผ่านปากใบ ที่ผิวใบด้านล่าง และเมื่อใบได้รับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ คลอโรฟิลล์ก็จะทำหน้าที่ในการดูดซับพลังงานแสงไว้



ภาพที่ 1 แสดงการสังเคราะห์แสงของต้นไม้

เมื่อมี น้ำ, คาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงานแสงแดด ครบทั้ง 3 ปัจจัย กระบวนการสังเคราะห์แสงจะเกิดขึ้นที่ใบ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์โบไฮเดรตในรูปแบบของแป้งและน้ำตาล และปลดปล่อยออกซิเจน (O_2) ออกมาสู่อากาศโดยผ่านทางปากใบที่ผิวใบ

ด้านล่าง พลังงานแสงก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานเคมีสะสมอยู่ในอาหารที่ปรุงได้ ซึ่งบางส่วนก็จะถูกใช้ในทันทีและบางส่วนก็จะถูกเก็บสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช



การที่สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีโครงสร้างง่าย ๆ อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป โดยการควบคุมทางพันธุกรรม หรือกระตุ้นโดย เอนไซม์ (enzyme) ทำให้เกิดเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนหรืออาจเกิดสารประเภทโพลีเมอร์ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต หรือที่เรียกว่า Metabolism ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของสิ่งมีชีวิต Metabolism ที่เกิดขึ้นในพืช แบ่งออกได้ 2 กระบวนการหลัก คือ

1. Anabolism หรือ กระบวนการสร้าง เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์หรือเปลี่ยนแปลงสารในรูปต่างๆ จากสารที่มีโมเลกุลเล็ก หรือสารอินทรีย์ เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน ฟอสฟอรัส น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ไปเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ และมีโครงสร้างซับซ้อน เช่น โปรตีน แป้ง น้ำตาล คาร์โบไฮเดรต เซลลูโลส ไขมัน ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ และโครงสร้างอื่น ๆ ตลอดทั้งการเจริญและพัฒนาของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ต่อไป กระบวนการสร้างนั้น นับเป็นปฏิกิริยาที่ต้องใช้พลังงาน การสังเคราะห์แสงก็จัดเป็นกระบวนการสร้างที่สำคัญของพืช

2. Catabolism หรือ กระบวนการย่อยสลาย เป็นกระบวนการทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็ก เป็นปฏิกิริยาที่มีการปลดปล่อยพลังงานให้แก่เซลล์ ได้แก่ การหายใจ

ทั้ง กระบวนการ Anabolism และ Catabolism ในเซลล์พืช อาจเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ถ้าอัตราเร็วของกระบวนการ Anabolism มากกว่า Catabolism พืชจะมีมวลสารเพิ่มขึ้น แต่ถ้ากระบวนการ Catabolism มีอัตราเร็ว มากกว่า Anabolism จะทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง

ความสามารถในการผลิตและเก็บพลังงานของพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพืชก็สามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์ ซึ่งจากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิค ซึ่งเกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน กล่าวว่า "พลังงานทั้งหมดในเอกภพ ไม่มีสูญหาย แต่อาจเปลี่ยนรูปกันไปมาได้" ดังนั้นการที่คนและสัตว์กินพืชก็จะได้รับอาหารที่มีพลังงานแฝงอยู่ พลังงานที่คนและสัตว์กินเข้าไปนั้นก็จะถูกแปรสภาพและสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ ไขมัน สมอง และทุกส่วนของร่างกาย ระหว่างที่คนและสัตว์มีชีวิตอยู่ก็จะนำพลังงานเหล่านี้มาใช้ในการเคลื่อนไหว นึกคิด ทำงาน และดำรงชีวิต เมื่อพืช คน และสัตว์ตายไป พลังงานที่เหลืออยู่จะถูกแปรสภาพไปอยู่ในรูปของพลังงานเคมี ซึ่งพร้อมจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นๆ ต่อไป

นอกจากน้ำมันพืชรู้จักการใช้ประโยชน์จากพืช ทั้งที่เป็นอาหาร ก่อสร้างที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค และนำมาใช้ประโยชน์ในการสร้างพลังงานความร้อน โดยการนำซากพืช ซากสัตว์ ที่ทับถมอยู่ภายใต้พื้นดินลึกๆ นับเป็นเวลาล้านๆ ปี ซึ่งอาจกลายเป็นถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงซึ่งนับวันจะมีแต่หมดไป ในขณะที่เดียวกันก็รู้จักการนำส่วนต่างๆ ของพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแปรรูปให้เกิดพลังงานความร้อน เชื้อเพลิงแข็งที่ได้จากพืชที่ให้เนื้อไม้ และถูกนำมาแปรรูปให้เกิดพลังงานด้วยวิธีการสันดาปโดยตรง เรียกว่า ไม้ฟืน (fuelwood) ซึ่งสามารถให้พลังงานความร้อนได้ทั้งในรูปของฟืนและถ่าน และด้วยเหตุที่ไม้ฟืนเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถทดแทนหรือสร้างขึ้นใหม่ได้ จึงสามารถนำมาใช้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาความเจริญของมนุษยชาติ สืบไป

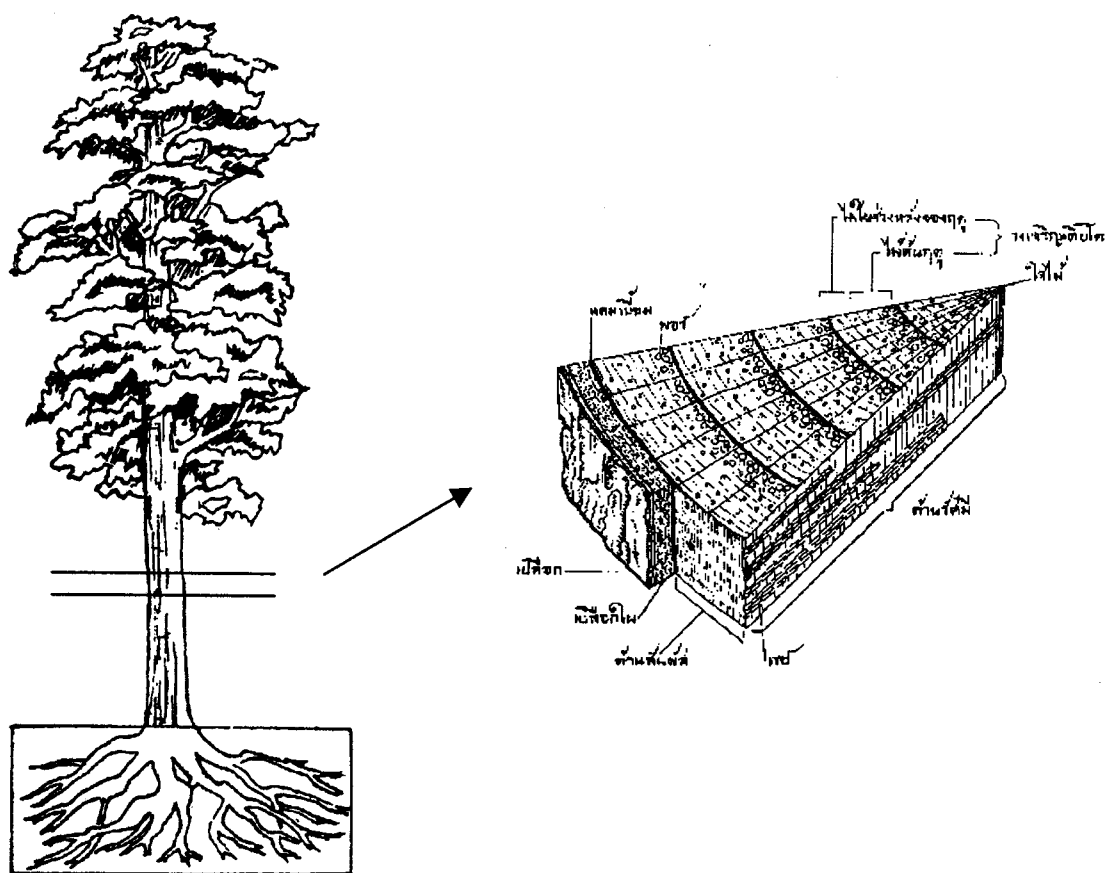
บทที่ 1

ไม้พืน (fuelwood)

ไม้พืน (fuelwood)

เป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง ซึ่งได้มาจากพืชที่ให้เนื้อไม้ และถูกนำมาเป็นวัตถุดิบในการแปรสภาพให้เกิดเป็นพลังงานความร้อน ไม้พืนมีความสำคัญมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีราคาถูก และสามารถสร้างและผลิตขึ้นใหม่ใช้ได้เอง renewable energy แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการนำแหล่งพลังงานอื่นๆ มาแปรสภาพให้เกิดเป็นพลังงานความร้อน เช่น ไฟฟ้า หรือก๊าซ แต่ก็ยังเป็นแหล่งพลังงานที่มีราคาสูง ไม้พืนจึงยังคงเป็นแหล่งพลังงานที่ได้รับความนิยมและจำเป็นในครัวเรือน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ครัวเรือนในชนบท ยังคงใช้ไม้พืนในการหุงต้มอาหาร นอกจากนี้ไม้พืนก็ยังเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น คั่วกาแฟ อบลำไย ผลไม้กวน อีสูเผา เครื่องปั้นดินเผา ปลารมควัน นึ่งปลาทุ ก๋วยเตี๋ยว น้ำมันมะพร้าว อบหวาย เคี้ยวน้ำตาล เป็นต้น ซึ่งจากการสำรวจปี พ.ศ. 2534-2535 สำหรับทำแผนแม่บทเพื่อพัฒนาการป่าไม้ในประเทศไทย พบว่า ไม้พืนและไม้ไผ่ที่ใช้ในการทำอุตสาหกรรมมีปริมาณถึง 8,514,920 ลบม./ปี มีมูลค่า 1,432,976,368 บาท/ปี

ไม้พืนหรือไม้ เป็นสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดที่ให้เนื้อไม้ โดยสารอินทรีย์เหล่านั้นประกอบกันขึ้นเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ ของเซลล์ที่ทำหน้าที่ต่างๆ กัน เช่น ค้ำจุนลำต้น ลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ สะสมอาหาร และที่กล่าวว่า “ไม้” เป็นสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการเจริญเติบโตของพืชบางชนิดนั้น ก็เนื่องมาจาก พืชชั้นสูงบางชนิดให้เนื้อไม้ แต่บางชนิดไม่ให้เนื้อไม้ เช่น พืชใบเลี้ยงเดี่ยว พืชที่ให้เนื้อไม้นั้นจะหมายถึงพืชที่มีท่อลำเลียงน้ำและอาหาร ซึ่งสามารถส่งลำต้นและใบขึ้นไปสู่อากาศเพื่อรับแสงสว่างได้ และพืชที่ให้เนื้อไม้ที่แท้จริงจะต้องมี แคมเบียม (cambium) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง (lateral meristem) ชนิดหนึ่งซึ่งจะทำให้ พืชมีการขยายตัวด้านข้าง หรือความโตมากขึ้น



ภาพที่ 2 แสดง โครงสร้าง ต้นไม้ และเนื้อไม้

โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของไม้

โดยทั่วไปต้นไม้แต่ละต้น เช่น ไม้สนประติพัทธ์ สนทะเล และเลี่ยน จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ซึ่งมีสัดส่วนของไม้ตามการใช้ประโยชน์ เป็นลำต้น 60-65 % เนื้อไม้ส่วนยอด 5 % กิ่ง ขนาดต่างๆ 10-15 % ดอก 5-10 % และราก 10-20% ไม่ว่าจะเป็นส่วนของ ลำต้น กิ่ง ดอกและราก ดอก ใบ เมล็ด ล้วนเป็นอวัยวะของพืช ที่ประกอบขึ้นด้วยเนื้อเยื่อต่างๆ และอยู่ร่วมกันทำงานอย่างเดียวกัน เนื้อเยื่อต่างๆ ได้แก่ เนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue) และเนื้อเยื่อถาวร (permanent tissue) ซึ่งเมื่อต้นไม้ตายหรือถูกตัดฟันลงก็จะคงอยู่แต่เนื้อเยื่อถาวร ของระบบต่างๆ ทั้งที่เป็นระบบลำเลียง (vascular tissue system) เช่น ไชเลม (xylem) และ ฟลเอม (phloem) และ ระบบพื้น (ground tissue system) เช่น พาเรนไคมา (parenchyma) คอลเลนไคมา (collenchyma) หรือสเคอเรนไคมา (sclerenchyma) เป็นต้น

โครงสร้างของเซลล์ไม้ เนื้อเยื่อต่างๆ ที่กล่าวมานี้ เกิดขึ้นจากโครงสร้างพื้นฐานที่เล็กที่สุดที่เรียกว่าเซลล์ เซลล์หลายเซลล์ มารวมกลุ่มทำงานร่วมกัน จนเป็นเนื้อเยื่อ (tissue) โครงสร้างที่เล็กที่สุดหรือเซลล์นี้ สามารถแสดงออกถึงการมีชีวิตอยู่ได้อย่างสมบูรณ์ เซลล์แต่ละเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะมีองค์ประกอบระดับโมเลกุลที่แตกต่างกัน จึงทำให้การทำงานของเซลล์แตกต่างกัน

ออกไป เซลล์ของพืชที่แยกออกมา จะมีรูปร่างค่อนข้างกลม แต่เมื่อล้อมรอบด้วยเซลล์อื่นๆ จะมีรูปร่างหลายเหลี่ยม แต่ส่วนใหญ่จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความไม่แน่นอนของรูปร่างเซลล์นั้นเนื่องมาจากความแตกต่างของชนิดและหน้าที่ของเซลล์แต่ละเซลล์ ในเซลล์ของพืชชั้นสูงจะประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 3 ส่วน คือ ผนังเซลล์ (cell wall) เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และโปรโตพลาสซึม (protoplasm)

เยื่อหุ้มเซลล์ เป็นเยื่อบางๆ ที่หุ้มล้อมรอบโปรโตพลาสซึม มีส่วนประกอบของ โปรตีน และไขมัน และจะทำหน้าที่ ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารภายนอกเซลล์กับไซโตพลาสซึม

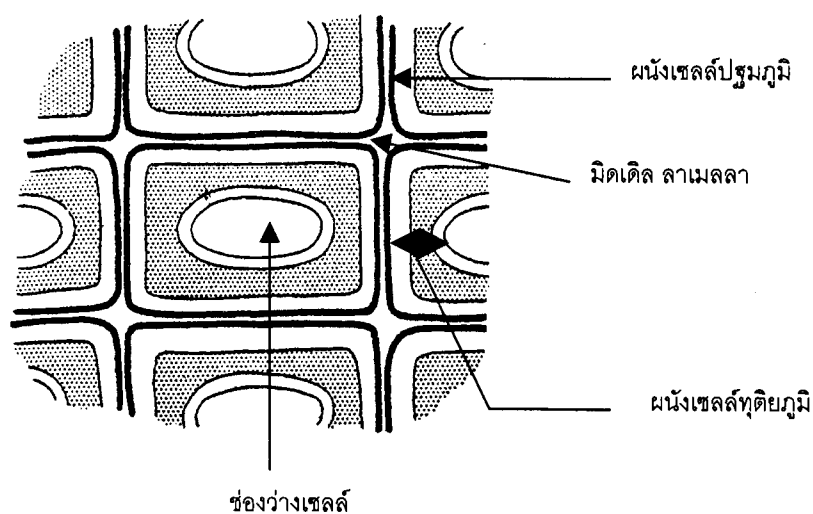
โปรโตพลาสซึม เป็นส่วนประกอบที่มีชีวิตของเซลล์ มีลักษณะเป็นของเหลว ที่มีความข้นหนืด คล้ายวุ้น โปร่งแสง ไม่มีสี ยืดหยุ่นได้ แบ่งออกเป็น นิวเคลียส (nucleus) ซึ่งเป็นตัวควบคุมกิจกรรมทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเซลล์ และไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ซึ่งเป็นของเหลว คล้ายวุ้น ห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ และมีออร์แกเนลล์ (organelles) เช่น แวคิวโอล (vacuole) ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ไรโบโซม (ribosomes) กอลจิ บอดี้ (golgi bodies) เป็นต้น เป็นส่วนประกอบ

ทั้งเยื่อหุ้มเซลล์และโปรโตพลาสซึมจะเป็นองค์ประกอบของเซลล์ที่มีชีวิต แต่เมื่อเซลล์ของพืชตายลงองค์ประกอบทั้งนี้จะแห้งหรือถูกดูดซึมไป ส่วนของเซลล์ที่ยังคงเหลืออยู่ได้แก่ ผนังเซลล์

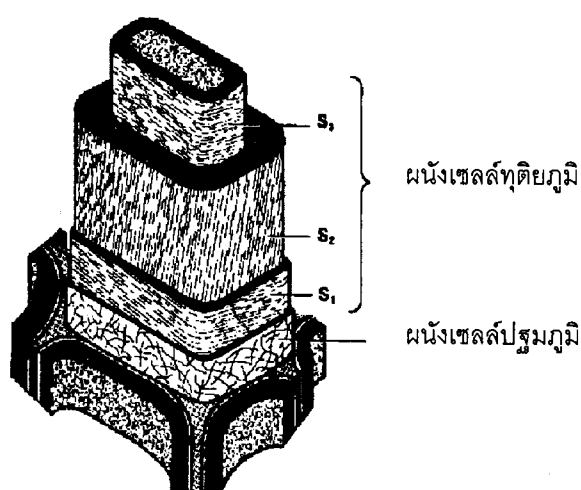
ผนังเซลล์ เป็นส่วนของเซลล์พืช ที่สำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะจะช่วยห่อหุ้มสิ่งต่างๆ ภายในเซลล์ และเป็นส่วนที่แข็งแรงที่สุดของพืช ทำให้เซลล์พืชสามารถคงรูปอยู่ได้ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันโครงสร้างต่างๆ ภายในเซลล์ ไม่ให้ได้รับอันตรายอีกด้วย ผนังเซลล์ของพืชแต่ละชนิด หรือแม้แต่ในเซลล์พืชเซลล์เดียวกัน จะมีความหนาบางของชั้นผนังเซลล์แตกต่างกัน ผนังเซลล์แต่ละเซลล์ของพืชและไม่ไม่ได้ติดต่อกันโดยตรง แต่คั่นอยู่ด้วยสารระหว่างเซลล์ (intercellular substance) เรียกว่า มิดเดิล ลามेलลา (middle lamella) ซึ่งจะอยู่ระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิ ของเซลล์ สองเซลล์ที่อยู่ติดกัน และเป็นส่วนที่มี ลิกนิน (lignin) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ และยังประกอบด้วยสารเพคติน (pectin) ซึ่งเป็นสารที่อุ้มน้ำได้มาก ผนังของเซลล์แบ่งออกเป็น

1. ผนังเซลล์ปฐมภูมิหรือเรียกว่าผนังเดิม (primary wall) เป็นผนังที่เกิดมาพร้อมกับการแบ่งตัวของเซลล์ หลังจากที่ได้สร้าง มิดเดิล ลามेलลา แล้ว ถือเป็นผนังเซลล์ชั้นแรก เป็นผนังเซลล์ที่ไม่มีใครไฟบริลต์กันไปมาอย่างหลวมๆ (ทิศทางไม่เป็นระเบียบ) เป็นเสมือนเปลือกป้องกันผนังเซลล์ทุติยภูมิ มักประกอบไปด้วยเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และ สารเพคติน สำหรับลิกนินจะพบว่ามี การเกิดขึ้นหนาในผนังเซลล์ปฐมภูมิของ tracheid หรือ fiber ซึ่งเจริญเต็ม

2 . ผนังเซลล์ทุติยภูมิ หรือผนังเซลล์ใหม่ (secondary wall) เป็นผนังเซลล์ที่ถูกสร้างขึ้นหลังจาก ผนังเซลล์ปฐมภูมิ หยุดการขยายขนาดแล้ว อยู่ระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิ กับเยื่อหุ้มเซลล์ ถูกสร้างแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น ผนังชั้นกลาง (S_2) จะหนาที่สุดมีเนื้อที่ประมาณ 85 % ของความหนาของผนังเซลล์ มีการเรียงตัวของไมโครไฟบริล ขนานกับแกนของเซลล์ ในทางตรงกันข้ามกับการเรียงตัวในชั้น S_1 , S_3 เกือบตั้งฉากกับแกนของผนังเซลล์ ใน S_1 มีไมโครไฟบริล เรียงตัวสวนทางกันในทิศตรงข้ามทำให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้น มักจะประกอบไปด้วย เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก และเฮมิเซลลูโลส สำหรับเซลล์ของไม้ที่เจริญเต็มที่จะมีลิกนินประมาณ 25% และสารอื่น ๆ เช่น ซูเบอร์ริน (suberin) คิวติน (cutin) ขี้ผึ้ง (wax)



ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างของผนังเซลล์



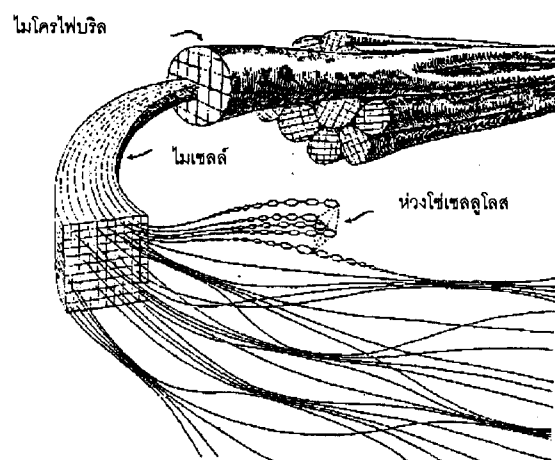
ภาพที่ 4 แสดงชั้นของผนังเซลล์

เนื้อเยื่อต่างๆ ในพืชและไม้ มีโครงสร้างของผนังเซลล์ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีของไม้มีปริมาณแตกต่างกันไปด้วย เช่น พาเรนไคมา โดยปกติจะมีผนังเซลล์บาง ซึ่งจะมีเฉพาะผนังเซลล์ปฐมภูมิ ที่มีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมาก คอลเลนไคมา จะมีผนังเซลล์ปฐมภูมิที่หนากว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลสและเพคติน สเคอเรนไคมา จะมีผนังเซลล์ที่หนาและมีทั้งส่วนที่เป็นผนังเซลล์ปฐมภูมิและทุติยภูมิ จะมีเซลลูโลสและลิกนิน แม้แต่ในกลุ่มของเนื้อเยื่อระบบท่อลำเลียงก็มีผนังเซลล์ปฐมภูมิและทุติยภูมิที่แตกต่างกัน เช่น เทรคีด (traceids) จะมีผนังเซลล์ที่แข็งแรงไม่หนา มีการสะสมของลิกนินหนาแต่ไม่สม่ำเสมอ เวสเซลล์ (vessel) และไฟเบอร์ (fiber) มีผนังเซลล์หนา มีการสะสมของลิกนินหนาในส่วน of ผนังเซลล์ทุติยภูมิ

องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์

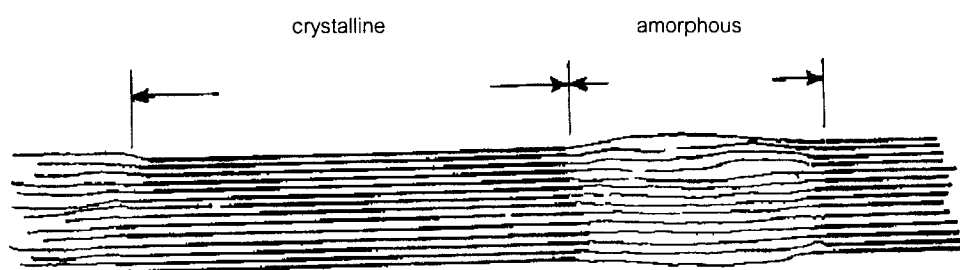
ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าโครงสร้างของผนังเซลล์ แต่ละชั้นประกอบด้วยเส้นใยยาว ที่เรียกว่า ไมโครไฟบริล (microfibril) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรง ผังตัวอยู่ในสารที่มีองค์ประกอบ อัดแน่น ซึ่งเป็นตัวเชื่อมที่ให้คงรูป และให้ความแข็งแรง ถ้าจะเปรียบลักษณะดังกล่าว ก็คงคล้ายกับ คอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่ง ไมโครไฟบริล ก็คือส่วนของเหล็ก ส่วนตัวเชื่อมที่มีองค์ประกอบเป็นอัดแน่น ก็คือ เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งสารทั้งสองเป็นโพลิเมอร์ (polymer) ที่มีโครงสร้างชนิด 2 และ 3 มิติ ซึ่งเส้นใยดังกล่าวจะผังตัวอยู่ในสารเชื่อมทั้งสองสลับกันเป็นชั้น ๆ

เนื่องจากผนังเซลล์ชั้นที่ S_2 มีความสำคัญต่อคุณสมบัติของไม้มากจึงได้มีการตัดส่วนของผนังเซลล์ชั้นที่ S_2 และพบว่าแต่ละไมโครไฟบริล ประกอบขึ้นจากการรวมตัวของไมเซลล์ (micelle) และมีแผ่นเฮมิเซลลูโลส ติดแน่นอยู่กับไมโครไฟบริล อีกหนึ่งหรือ 2 แผ่น ไมเซลล์ แต่ละอันประกอบด้วยแผ่นเซลลูโลสจำนวนมาก ยึดติดกันทางด้านข้าง ของแนวราบด้วยไฮโดรเจนบอนด์ (hydrogen bonds) และทางด้านตั้งฉากกับแนวราบด้วย van der waals forces แต่ละแผ่นเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของเซลลูโลสสองเส้นยึดติดกับทางด้านข้างในแนวพื้นราบ ด้วยไฮโดรเจนบอนด์



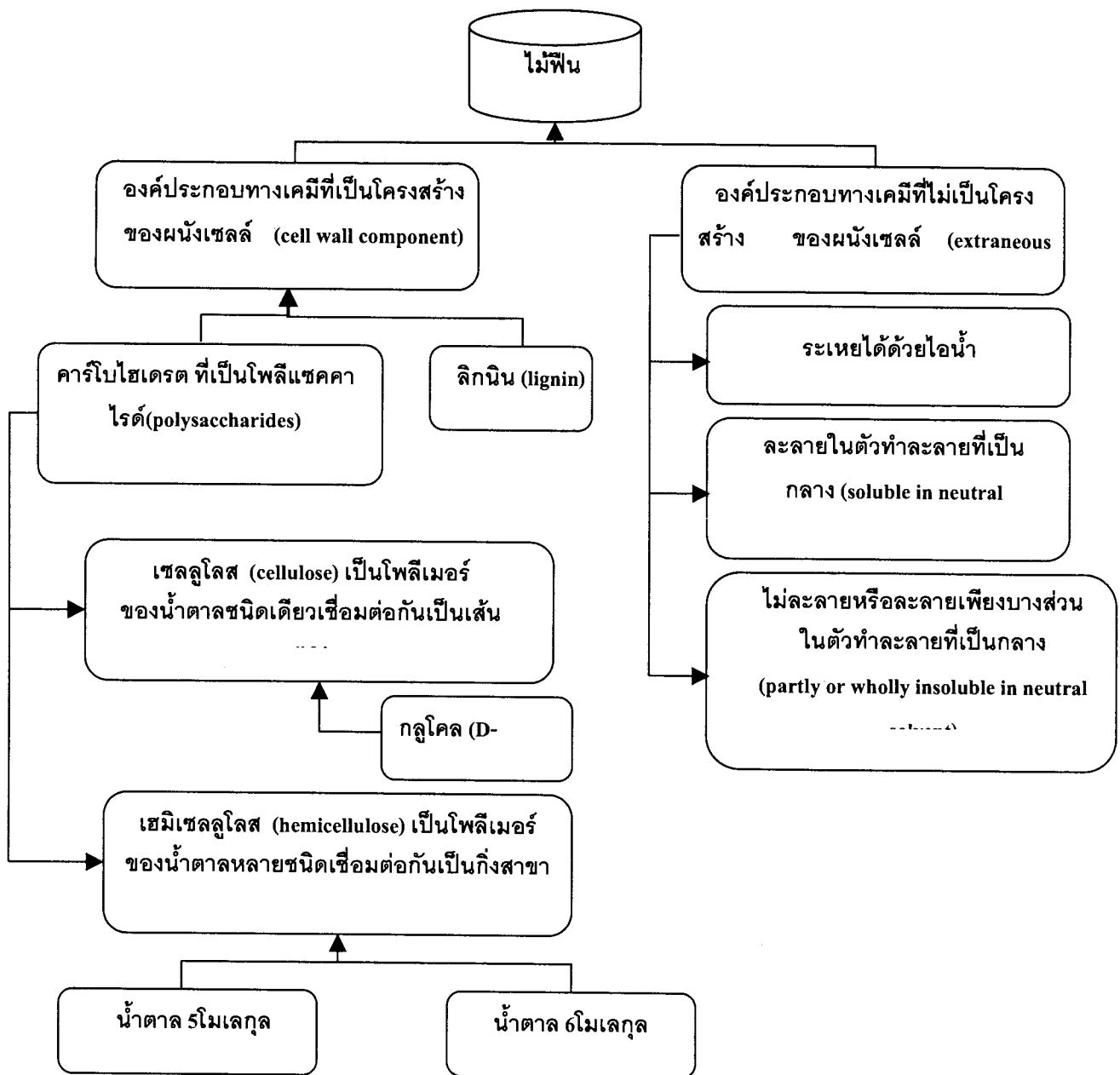
ภาพที่ 5 แสดงลักษณะไมโครไฟบริลที่ ประกอบขึ้นจากการรวมตัวของไมเซลล์ และเซลลูโลส

การยึดติดกันของแผ่นเซลลูโลสในแต่ละไมเซลล์ จะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ส่วนของแผ่นเซลลูโลสที่ยึดติดกันอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่า crystalline region ซึ่งจะยึดติดกันอย่างมีระเบียบ 70-90 % ของความยาว ไมเซลล์ จะเป็นส่วนที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ เชื่อกันว่ากลุ่มของ OH ของเซลลูโลสที่ใกล้เคียงกันต่างยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวแบบ cross linked ทำให้โมเลกุลของน้ำไม่สามารถแทรกเข้าไปได้ ส่วนที่เหลืออีก 10-30 % ของความยาวของ ไมเซลล์ ที่เรียกว่า amorphous region จะเป็นส่วนที่ประกอบด้วยแผ่นเซลลูโลส ที่ยึดติดกันหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบ ซึ่งน้ำจะซึมเข้าได้ง่าย เนื่องจากเป็นส่วนที่มี hydroxyl group ที่พร้อมจะดูดซับน้ำได้



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะของส่วนที่เป็น crystalline region และ amorphous region

จะเห็นว่าผนังเซลล์มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์หลักๆ ซึ่งมีลักษณะเป็นโพลีเมอร์ทั้งสิ้น ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ชนิดที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ คือ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และ และที่ไม่เป็นคาร์โบไฮเดรต คือ ลิกนิน สำหรับเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส มักจะถูกเรียกรวมกันว่า โฮโลเซลลูโลส (holocellulose) และส่วนที่พบทั้งลิกนิน และเซลลูโลส หรือ เฮมิเซลลูโลส จะถูกเรียกว่า ลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) นอกจากนี้ยังมีส่วนที่ไม่เป็นสารเคมีในโครงสร้างของผนังเซลล์ ที่เรียกว่า สารแทรก (extractive) อีกด้วย



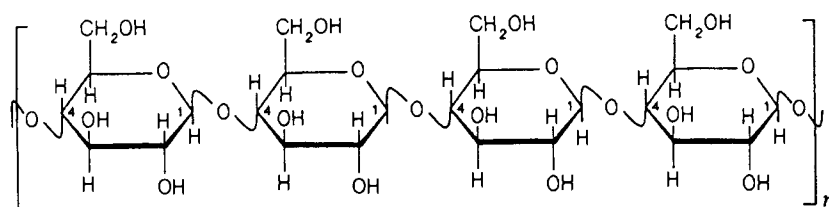
ภาพที่ 7 แสดงลักษณะโดยสรุปขององค์ประกอบทางเคมีของไม้

เซลลูโลส (cellulose)

เส้นใยในผนังเซลล์ของพืชทุกชนิดประกอบด้วยเซลลูโลส และเป็นสารอินทรีย์ที่มีอยู่มากในผนังเซลล์ ไม้ส่วนใหญ่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบประมาณ 35-55 % สำหรับไม้ใบกว้างในประเทศไทย จะมีเซลลูโลส อยู่ 33.8-48.7 % จึงเป็นเหตุที่ทำให้เซลลูโลส เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากที่สุดตามธรรมชาติ เซลลูโลส เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง หรือ ชนิดที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของโมโนแซคคาไรด์เพียงชนิดเดียว คือ D- กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) โดยที่แต่ละโมเลกุลของเซลลูโลส จะมีน้ำตาล D - กลูโคส มากถึง 15,000 หน่วยมายึดต่อกันด้วยพันธะแบบ β -1,4-ไกลโคซิดิก ด้วยพันธะ covalent bonds จนเกิดเป็นโพลิเมอร์โซ่ตรง ซึ่งแข็งแรงมาก ทำให้มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดน้ำได้เป็นจำนวนมาก และการที่เซลลูโลสใน

ไม้ ยึดกันด้วยพันธะแบบ β -1,4-ไกลโคซิดิก ทำให้มนุษย์ไม่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ และในธรรมชาติ ก็คงมีแต่สัตว์จำพวกปลวก และพวกเห็ดรา ทำลายไม้เท่านั้นที่มีเอนไซม์ซึ่งสามารถย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคสที่ใช้เป็นอาหารได้ ไม้ที่มีผนังเซลล์ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส เพียงอย่างเดียวจะเหนียวและยืดหยุ่น ทนต่อแรงกระทำ (tensile strength) ได้มากกว่า ผนังเซลล์ที่ประกอบด้วย เซลลูโลสและลิกนิน

แม้ว่า เซลลูโลสจะไม่ละลายในน้ำแต่ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) ได้ โดยใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดซัลฟูริกเจือจาง และความร้อน ในแถบประเทศที่ไม่สามารถปลูกพืชให้น้ำตาลได้ จะมีการผลิตแอลกอฮอล์จากไม้ ด้วยการไฮโดรไลต์ (hydrolysis) เซลลูโลสจากไม้ โดยใช้กรดซัลฟูริก ที่อุณหภูมิ และความดันต่างๆ จนได้กลูโคส จากนั้นจึงนำน้ำตาลกลูโคสไปหมักให้เกิดแอลกอฮอล์ ชนิดที่เป็น เอทิลแอลกอฮอล์ หรือเอทานอล (ethanol) เพื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์



ภาพที่ 8 แสดงการเชื่อมต่อกันของน้ำตาลกลูโคสในเซลลูโลส

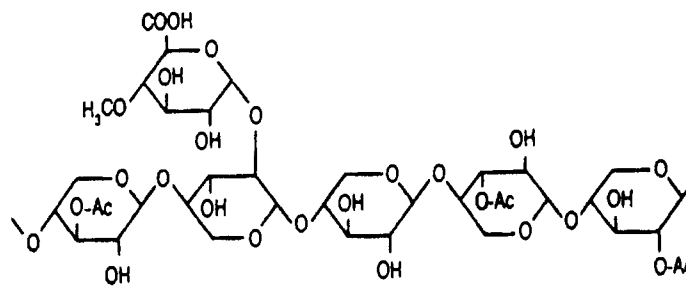
เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารเชื่อมที่พบภายในผนังเซลล์ที่มีอยู่ประมาณ 25-40 % เป็นคาร์โบไฮเดรต ชนิดโพลีแซคคาไรด์ ที่เป็นโพลิเมอร์ สองมิติของน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ ที่มีคาร์บอน 5 ไมเลกุล ได้แก่ ไซโลส (D-xylose) และอะราบินอส (L-arabinose) และ 6 ไมเลกุล ได้แก่ กลูโคส (D-glucose) กาแลคโตส (D-galactose) แมนโนส (D-mannose) เป็นองค์ประกอบที่ซึ่งอาจมีน้ำตาลชนิดเดียวหรือหลายชนิด จำนวน 150-200 หน่วย มาเชื่อมต่อกันและมีการแตกกิ่งก้านสาขาสั้น ๆ

น้ำตาลโมโนเมอร์ที่พบในเฮมิเซลลูโลส มีปริมาณเล็กน้อยแตกต่างกันโดยมีสัดส่วน โดยน้ำหนัก ดังนี้ กลูโคส 61-65 % แมนโนส 7-16 % กาแลคโตส 6-17 % ไซโลส 9-13 % และอะราบินอส น้อยกว่า 3.5% นอกจากนี้ยังอาจพบแรมโนส (L-rhamnose และ 3-O-methyl-L-rhamnose) และฟูโคส (L-fucose) บ้าง ซึ่งมีอยู่ในปริมาณน้อยมากเพียงไม่เกิน 1% เฮมิเซลลูโลส ถูกไฮโดรไลส์ได้ง่ายด้วยกรดและละลายได้ด้วยตัวทำละลายต่าง สามารถดูดซึมน้ำได้ดี

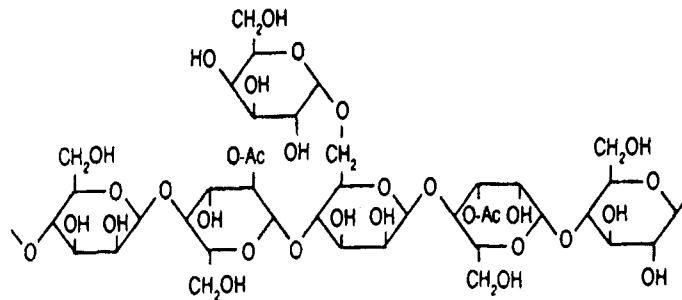
เฮมิเซลลูโลส จะพบทั้งในไม้ใบกว้างและไม้ใบแคบ ไซเลน (xylan) เป็นเฮมิเซลลูโลสที่พบมากใน ไม้ใบกว้าง ส่วนกลูโคแมนแนน (glucomannan) จะพบมากในไม้ใบแคบ

โดยทั่วไปการวิเคราะห์เฮมิเซลลูโลสในเนื้อเยื่อของพืช ไม่ว่าจะเป็พืชใบเลี้ยงเดี่ยว ใบเลี้ยงคู่ ไม้ใบกว้างหรือไม้ใบแคบจะถูกแสดงในรูปของปริมาณเพนโตแซน (pentosan) กรดยูโรนิก เอซิด (uronic acid) ซึ่งได้แก่ กรดกลูคูโรนิก (glucuronic) และกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic) และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (individual sugar) ในเขตนานทางอเมริกาเหนือ และยุโรป ไม้ใบแคบ จะมีปริมาณเพนโตแซนมากกว่าไม้ใบกว้างในเขตเดียวกัน ส่วนในเขตร้อนไม้ใบกว้างจะมีปริมาณ เพนโตแซน ต่ำกว่าในเขตนาน พืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เป็นพืชอายุสั้น (annual plant) จะมีปริมาณ เพนโตแซนสูงมาก



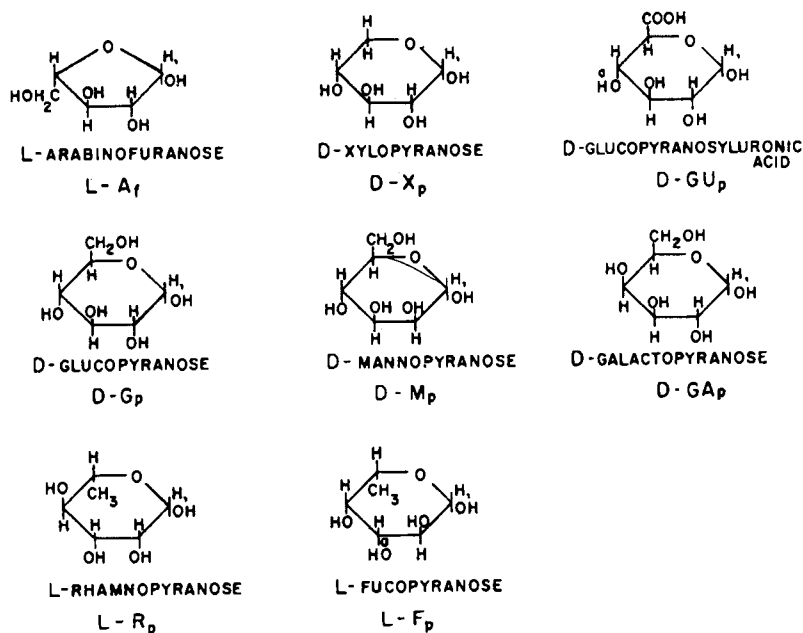
O-acetyl-4-O-methylglucuronoxylan : Ac = acetyl, $-\text{COCH}_3$

ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างเฮมิเซลลูโลสที่พบในไม้ใบกว้าง



O-acetyl-galactoglucomannan : Ac = acetyl, $-\text{COCH}_3$

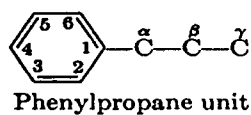
ภาพที่ 10 แสดงตัวอย่างเฮมิเซลลูโลสที่พบในไม้ใบแคบ



ภาพที่ 11 แสดงน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบในเฮมิเซลลูโลส

ลิกนิน (lignin)

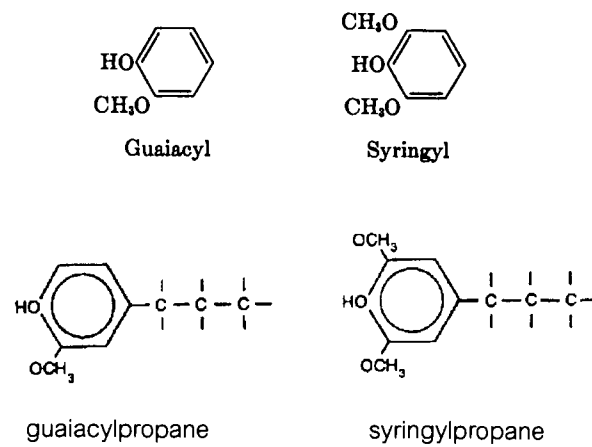
ลิกนินเป็นสารประกอบที่เป็นโพลิเมอร์ 3 มิติ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากและมีโครงสร้างสลับซับซ้อน ของเฟนิลโพรเพนยูนิต (phenylpropane unit) มาเชื่อมต่อกัน ซึ่งโดยธรรมชาติแล้ว ลิกนินจะมีคุณสมบัติค่อนข้างคงที่ และจะอ่อนตัวเมื่อถูกความร้อนที่ 170°C เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ และไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นกลาง การทำให้ลิกนินเป็นสารละลายจะต้องใช้กรดและด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงยากที่จะสกัดออกมาโดยที่ไม่กระทบโครงสร้าง ทำให้ยังไม่ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมีที่แท้จริง



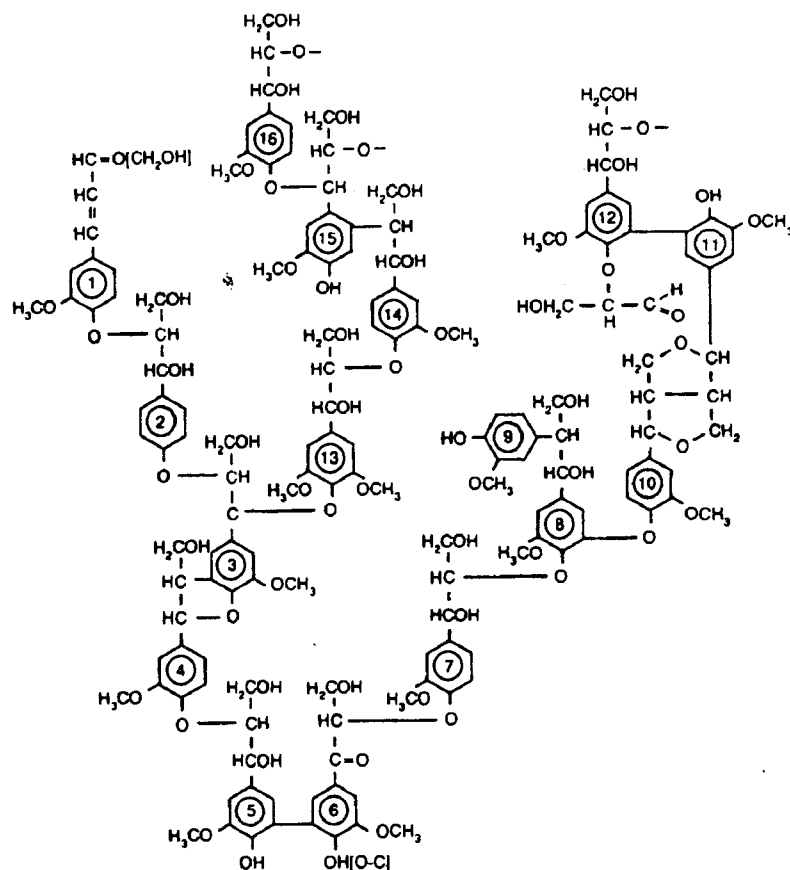
ภาพที่ 12 แสดงโครงสร้างของหน่วยโมโนเมอร์ของลิกนิน

ลิกนินเป็นสารเชื่อมอีกชนิดหนึ่งที่พบในมิดเดิลแลมเลลา และภายในผนังเซลล์ เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ประมาณ 18-33 % ในผนังเซลล์ และเป็นองค์ประกอบที่ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากน้อยแตกต่างกันไป ลิกนินในไม้ใบกว้างส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณมุมนอกของผนังเซลล์ หรือมิดเดิลแลมเลลา จะมีโครงสร้างหลักของลิกนินผสมระหว่าง ไกวซิล (guaiacyl) และไซรินเจียล

(syringyl) ซึ่งมีประมาณ 20% ของผนังเซลล์ น้อยกว่าไม้ใบแคบ ที่มีปริมาณลิกนิน 30% สำหรับในไม้ใบแคบที่มีปริมาณลิกนินมากๆ จะมีลิกนินกระจายทั้งผนังเซลล์ ซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นไกวซิด



ภาพที่ 13 แสดง guaiacylpropane ซึ่งพบทั้งในไม้ใบแคบและไม้ใบกว้าง และ syringylpropane ซึ่งพบมากในไม้ใบกว้าง



ภาพที่ 14 แสดงการเชื่อมโยงของโครงสร้างลิกนินในไม้ใบแคบ

สารแทรก (wood extractives)

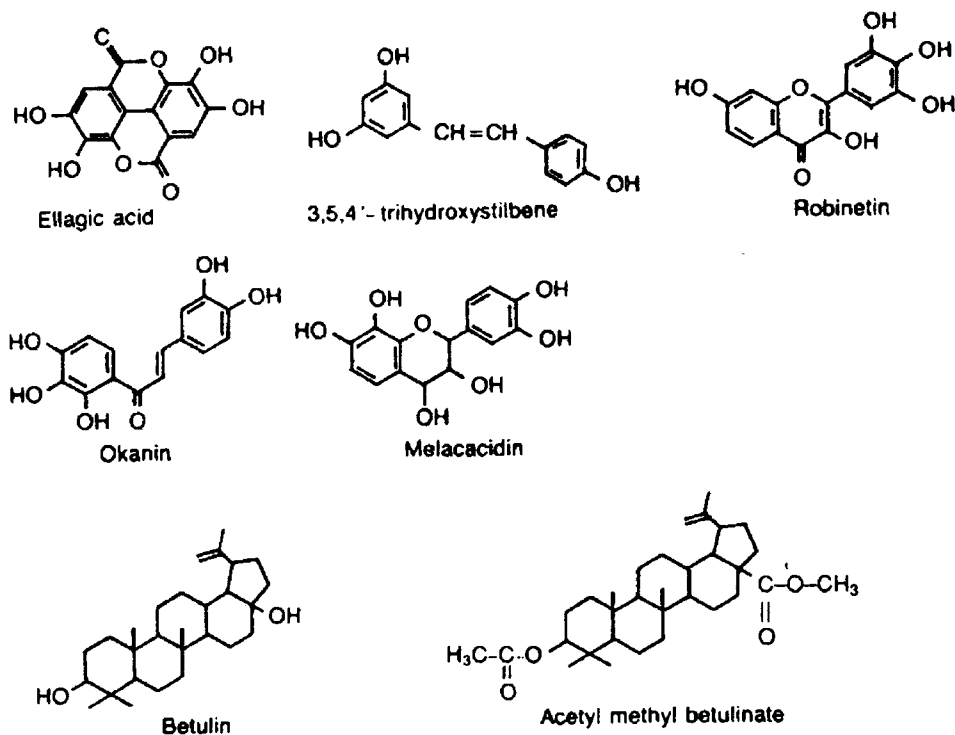
สารแทรกหมายถึงสารที่ไม่ใช่องค์ประกอบที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ มีอยู่ในรูปต่างๆ ทั้งที่อยู่ในรูปของน้ำตาล แป้ง ไขมัน ที่พบอยู่ในส่วนของกะพี้ และสารที่มีองค์ประกอบเป็น phenolic ที่มักจะพบในส่วนของแก่นไม้ การกระจายของสารแทรกจะอยู่ในส่วนต่างๆ ของต้นไม้ หรือพืช ปริมาณสารแทรกจะแตกต่างกันไปตามความสูงและยังแตกต่างกันระหว่างลำต้นกับกิ่ง เปลือกและรากจะมีปริมาณสารแทรกมาก ในขณะเดียวกันก็เป็นส่วนสำคัญใน ใบ ดอกและเมล็ด ซึ่งจะมีปริมาณมากกว่าในส่วนของเนื้อไม้ สารแทรกมีบทบาทสำคัญในการใช้ประโยชน์ไม้ เช่น ผลต่อสภาวะสมบัติของไม้ (physical properties) ตลอดจน สี และกลิ่น และค่าความร้อนของการสันดาป สารแทรกที่มีโครงสร้างเป็น phenolic ช่วยในการป้องกันเชื้อเห็ดรา และแมลง เช่น เทคโตควิโนน (tectoquinone) หรือสารแทรกที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น ซิลิกา ช่วยในการป้องกันเฟรียง เป็นต้น

สารแทรกในไม้มีทั้งที่เป็นสารระเหยได้ง่าย (volatile extracts) กรดเรซิน (resin acids) (ถ้าอยู่รวมกับสารระเหย เรียกว่า โอลีโอเรซิน oleoresin) สารประกอบประเภท (terpenes) กรดไขมัน (fatty acids) แป้ง (carbohydrates) แอลกอฮอล์ (alcohols) สารที่เป็น aromatic compound นอกจากนี้ยังมีส่วนสารแทรก ที่เป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งมักจะพบในรูปของเกลือแคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม และอื่นๆ เกลือเหล่านี้สามารถจะยึดติดกับ acidic group ขององค์ประกอบของผนังเซลล์ เมื่อสารอนินทรีย์ในไม้ถูกเผาไหม้จนหมด ก็จะเหลือแต่สารอนินทรีย์ในรูปของขี้เถ้า (ash)

สารแทรกโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น

1. สารแทรกที่ระเหยได้ เช่น โมโนเทอร์พีน (monoterpenoid) จะระเหยได้ด้วยโดยไอน้ำ เนื่องจากเป็นสารแทรกที่มีจุดเดือดต่ำ
2. สารแทรกที่ระเหยไม่ได้ พวกโอลีโอเรซิน แต่ละลายได้ในตัวทำละลายด้วยอีเทอร์ (ether) หรือพวกสารสกัดที่ไม่แตกตัว (nonpolar solvent) เช่น กรดไขมัน กรดเรซิน และพวกไตรเทอร์พีน (triterpenoids)
3. สารแทรกที่ระเหยไม่ได้ ไม่ละลายในตัวทำละลายด้วยอีเทอร์ แต่ละลายในแอลกอฮอล์ เช่น แทนนิน และสารอะโรมาติก
4. สารแทรกที่ระเหยไม่ได้ ไม่ละลายในตัวทำละลายด้วยอีเทอร์ และแอลกอฮอล์ แต่ละลายในน้ำ เช่น น้ำตาล แป้ง และพวกเกลือต่างๆ

แม้ว่าสารแทรกจะไม่ใช่องค์ประกอบหลักในโครงสร้างของเนื้อไม้และมีจำนวนอยู่ไม่มากนัก เมื่อเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในผนังเซลล์ของไม้ แต่สารแทรกก็มีผลต่อคุณสมบัติของไม้ทั้งค่าความร้อนของการสันดาปของไม้ ปริมาณสารระเหย และปริมาณขี้เถ้า



ภาพที่ 15 แสดงตัวอย่างสารแทรกที่พบในไม้ไผ่กว้าง

จากการศึกษาของสรเสริญ และเพ็ญศรี (2520) พบว่าไม้ไผ่กว้างในประเทศไทย จะมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์หลัก เป็น เซลลูโลส (cellulose) 33.8-48.7 % เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) 23.2-37.7 % ลิกนิน 19.1-30.3 % ส่วนที่เรียกว่าสารแทรก(extractive) 1.1-9.6 % และส่วนของสารอินทรีย์ ซึ่งอยู่ในรูปของขี้เถ้า 0.1-1.3%

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณองค์ประกอบของสารอินทรีย์และชี้เก่า ในไม้บางชนิดที่มีในประเทศไทย
(ทัศนีย์และคณะ, 2530)

ชนิดไม้	เซลลูโลส	เพนโตเซน	ลิกนิน	ชี้เก่า
สนประดิพัทธ์ <i>Casuarina junghuhniana</i> Miq	61.23.	21.19	24.36	0.56
สะแกแสง <i>Cananga latifolia</i> Finet & Gagnep	49.02	18.83	28.78	0.69
มะม่วง <i>Mangifera indica</i> Linn.	38.58	17.53	34.75	0.66
โกองกางใบใหญ่ <i>Rhizophora mucronata</i> Poir	45.24	21.65	18.00	1.94
นนทรี <i>Peltophorum dasyrachis</i> Kurz.	35.22	16.65	23.25	1.12
ไมยราพตัน <i>Mimosa pigra</i> Linn.	48.32	20.52	26.02	1.13
เงาะ <i>Nephelium lappaceum</i> Linn.	50.44	10.32	31.86	0.52
พญาไม้ <i>Podocarpus neriifolius</i> D. Don.	48.57	11.60	34.45	0.47
สนคาริเบีย <i>Pinus caribaca</i> Morelet	66.46	10.95	26.80	0.13
สนสองใบ <i>Pinus merkusii</i> Jungh.	54.58	10.85	26.63	0.19
สนสามใบ <i>Pinus kesiya</i> Royle ex. Gordon	54.43	9.17	25.48	0.41
สมพง <i>Tetrameles nudiflora</i> R.Br.	44.45	12.22	34.72	2.8
ยูคาลิปตัส คามาลดูลเอนซิส <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	58.36	17.01	27.75	0.33

บทที่ 2

คุณสมบัติของไม้พิน

ทุกวันนี้แม้ว่าจะโลกจะมีวิวัฒนาการและนำวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น แก๊สธรรมชาติ ไฟฟ้า มาใช้ทดแทนไม้พิน แต่มนุษย์ยังคงนำไม้พินมาใช้ในการหุงต้ม ให้ความร้อน และเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมบางประเภท การที่ไม้แห้งทุกชนิดและทุกขนาดสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้ไม่ได้หมายความว่าไม้ทุกชนิดจะให้คุณภาพของไม้พินที่ดีเท่าเทียมกัน เพราะไม้แต่ละชนิดมีโครงสร้างและองค์ประกอบที่มีผลต่อการให้ความร้อนแตกต่างกันไปบ้าง ไม้ชนิดใดจะเป็นเชื้อเพลิงได้ดีเพียงใด ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัย แต่สิ่งที่สำคัญคือจะต้องสนองความต้องการของผู้ใช้และลักษณะของงานที่จะใช้

ไม้พินจะมีคุณภาพดีหรือไม่อาจจะพิจารณาดังนี้

1. **น้ำหนัก หรือความแน่นของไม้** เมื่อพูดถึงน้ำหนักของไม้หรือวัสดุใดๆ มักถูกกำหนดหรือบอกปริมาตรของสารที่กล่าวนั้นควบคู่ไปด้วย เพื่อให้สามารถเทียบเคียงคุณสมบัติอื่นๆ ได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงบอกน้ำหนักของไม้หรือวัสดุใดๆ เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไม้หรือวัสดุนั้น ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของไม้หรือวัสดุนั้น เรียกว่า ความหนาแน่น (density) แต่ถ้านำน้ำหนักของสารนั้นไปเทียบกับน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่มีปริมาตรเท่ากันนั้นเรียกว่า ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

ในทางกายภาพหรือทางฟิสิกส์ ความแน่นของวัสดุหรือสารใด หมายถึง ค่าของมวลสารต่อหน่วยปริมาตรของสารนั้น แต่ในกรณีของไม้ ซึ่งมีความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้องและมีอิทธิพลต่อมวลและปริมาตร จึงจำเป็นต้องบ่งบอกของความชื้นของไม้ในขณะที่เราหาความแน่นนั้นด้วย

$$\begin{aligned} \text{ความแน่นของไม้ที่ความชื้นใด ๆ} &= \frac{\text{มวลของไม้ที่ความชื้นนั้น}}{\text{ปริมาตรของไม้ที่ความชื้นนั้น}} \\ \text{ถ.พ. ของไม้ที่ความชื้นใด ๆ} &= \frac{\text{มวลของไม้ที่ความชื้นนั้น}}{\text{น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับไม้ที่ความชื้นนั้น}} \end{aligned}$$

ไม้ต่างชนิดกันจะมีความแน่นของไม้จะแตกต่างกัน ซึ่งไม้บางชนิดอาจมีความหนาแน่นแตกต่างกันมากกว่า 2-3 เท่า ความหนาแน่นของไม้มีผลต่อการให้ปริมาณความร้อน (gross heat content) คือ เมื่อไม้พินมีปริมาตรเท่ากัน ไม้พินที่มีความหนาแน่นสูงจะให้ค่าปริมาณความร้อนต่อหน่วยปริมาตรสูงกว่าไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ (อรุณและวินัย, 2524) ในทางตรงข้ามไม้พินที่มีความหนาแน่นต่ำสามารถจุดติดไฟได้ง่าย แต่จะมีอัตราการเผาไหม้สูงกว่าไม้พินที่มีความหนาแน่นสูง

ตารางที่ 2 แสดงศักยภาพของพลังงานจากไม้โตเร็วบางชนิดของไทย

ชนิดไม้	อายุ ปี	ความหนาแน่นที่ (อบแห้ง) กรัม/ซม. ³	ปริมาณความร้อนที่ได้ (Gross heat content) แคลลอรี่/ซม. ³
ยูคาลิปตัส <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	12	0.91	4,143
สนประดิพัทธ์ <i>Casuarina junghuhniana</i> Miq.	10	0.75	3,250
กระถินณรงค์ <i>Acacia auriculaeformis</i> Cunn.	12	0.70	3,071
กระถินยักษ์ <i>Leucaena leucocephala</i> Lam.	13	0.67	2,917
สะแก <i>Combretum quadrangulare</i> Kurz	4	0.65	2,745
สะเดา <i>Azadirachta siamensis</i> Valetton	5	0.63	2,718

ค่าความร้อนของการสันดาป (heat of combustion) เป็นการวัดค่าความร้อนที่เกิดจากการปลดปล่อยหรือดูดซับความร้อนของปฏิกิริยาเคมี (thermochemistry) ซึ่งเชื่อมั่นได้ว่าค่าความร้อนที่ได้เกิดจากการสันดาปที่สมบูรณ์ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า แคลลอรี่มิเตอร์ (calorimeter) เครื่องมือชนิดนี้ จะมีส่วนของห้อง ที่มีผนังเป็นเหล็กกล้าหนาที่ไม่ยอมให้มวลหรือความร้อนเข้าสู่หรือออกจากระบบได้ (adiabatic-jacket) สารที่นำมาหาค่าความร้อนของการสันดาปจะถูกจุดระเบิดด้วยไฟฟ้าในบรรยากาศของออกซิเจน ที่ความดัน 25 บรรยากาศ (atm) ภายใต้ สภาวะนี้ ไฮโดรคาร์บอนจะถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จนกลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ หน่วยของความร้อนของการสันดาปสำหรับสารบริสุทธิ์ที่ทราบสูตรแน่นอน นิยมกำหนดเป็น แคลลอรี่ต่อโมล ส่วนสารอินทรีย์ที่ไม่บริสุทธิ์เช่น ไม้ นิยมกำหนดเป็น แคลลอรี่ต่อกรัม หรือจูลต่อกรัม

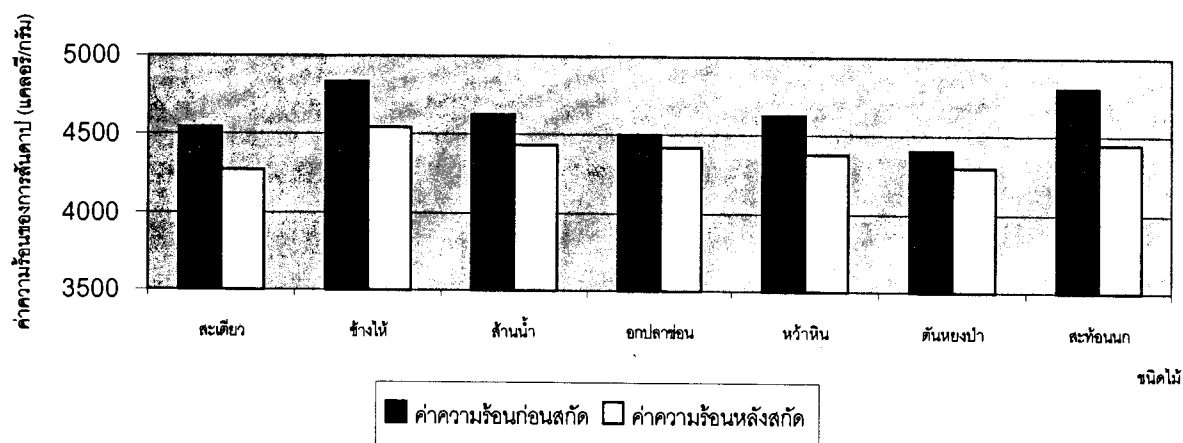
สิ่งที่บอกถึงคุณสมบัติของไม้พืชนิดดี อย่างหนึ่งก็คือ การให้ค่าความร้อนของการสันดาปสูง แต่ไม้พืชนิดจะมีค่าความร้อนของการสันดาปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของไม้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าไม้มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งในไม้แต่ละชนิด จะมีปริมาณของสารอินทรีย์ดังกล่าวไม่เท่ากัน จึงทำให้ปริมาณไฮโดรเจน คาร์บอน และออกซิเจน ที่เป็นธาตุซึ่งเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของโมเลกุลมีจำนวนแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไป เนื้อไม้ประกอบด้วย คาร์บอน 50-55% และไฮโดรเจน 6-7 %

และออกซิเจน 40-45 % ธาตุที่ให้ความร้อนในเนื้อไม้ ได้แก่ ไฮโดรเจนและคาร์บอน ปริมาณไฮโดรคาร์บอนนี้เองที่ทำให้ค่าความร้อนของการสันดาปของไม้แต่ละชนิดแตกต่างกัน

ตารางที่ 3 แสดงค่าความร้อนของการสันดาปของสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ของไม้ red wood

ชนิดขององค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์	ค่าความร้อนของการสันดาปที่น้ำหนักอบแห้ง แคลอรี/กรัม
เซลลูโลส	4,066
เฮมิเซลลูโลส	3,980
ลิกนิน	5,060

นอกจากสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ที่มีผลต่อค่าความร้อนของการสันดาปของไม้แล้ว สารแทรก ซึ่งเป็นสารที่มีอยู่ในเซลล์ของไม้ และมีอยู่ทุกส่วนของต้นไม้ ไม่ว่าจะเป็น ใบร่วง ใบสด เปลือก กิ่ง สวนยอด และเนื้อไม้ ซึ่งมีทั้งที่เป็นเรซิน สารฟีนอลิก แอลกอฮอล์ สารฟีนอล เกลลูลาร์ สารประกอบโปรตีน สารประกอบเพคติน สารแทรกเหล่านี้บางชนิดติดไฟได้ดีและให้ค่าความร้อนสูงซึ่งแม้จะมีอยู่เป็นปริมาณเล็กน้อยแต่ก็มีผลต่อค่าความร้อนของการสันดาปเช่นกัน และเป็นเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าความร้อนของการสันดาปของไม้ใบแคบ (coniferous species) มีค่าความร้อนสูงกว่า ไม้ใบกว้าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารแทรกก็มีผลต่อค่าความร้อน



ภาพที่ 16 แสดงความแตกต่างของค่าความร้อนของการสันดาปของไม้ป่าพรุบางชนิด ก่อนและหลังสกัดสารแทรกด้วยแอลกอฮอล์-เบนซีน

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณความร้อนของการสันดาปของไม้ป่าพรุบางชนิดก่อนและหลังการสกัด
สารแทรก(วิชนี, 2544 ก.)

ชนิดไม้	ปริมาณ สารแทรก ที่สกัดโดย แอลกอฮอล์- เบนซีน	ค่าความร้อน ของไม้ก่อนสกัด สารแทรก	ค่าความ ร้อนหลังจาก ทำการสกัด สารแทรก	ความแตกต่างของ ค่าความ ร้อน
สะเดี้ยว (<i>Ganua motleyana</i>)	1.82	4548.73	4273.54	275.19
ช้างให้ (<i>Neesia malayana</i>)	1.94	4,838.31	4541.01	297.30
ลั่นทม (<i>Dillenia pulchella</i>)	2.22	4629.32	4440.59	188.73
อกปลาช่อน (<i>Endiandra macrophylla</i>)	2.25	4509.50	4427.65	81.85
หว่าหิน (<i>Eugenia kunstleri</i>)	3.07	4626.08	4377.52	248.56
ต้นหยงป่า (<i>Elaeocarpus macrocerus</i>)	3.32	4404.08	4296.45	107.63
สะท่อนนก (<i>Sandoricum beccarianum</i>)	5.62	4812.18	4449.33	362.85

การหาความร้อนของการสันดาปโดยเครื่องแคลอริมิเตอร์ชนิดที่เป็นอ็อกซิเจน บอมป์
แคลอริมิเตอร์ (oxygen bomb calorimeter) จะใช้กรดเบนโซอิก (benzoic acid : $C_6H_5CO_2H$)
เป็นสารมาตรฐานสามารถทำได้โดย

นำผงไม้ไปร่อนให้ผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh แล้วนำมาผสมน้ำเล็กน้อยให้พอหมด
คลุกเคล้าให้ทั่ว แล้วนำไปอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องมืออัดเม็ด การอัดจะต้องอัดคราวละ 2 เม็ด ควบคู่
กันไป แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนึ่งเม็ด ซึ่งมีน้ำหนักไม่เกิน 1.1 กรัมไปหาความร้อน โดยใช้
เครื่อง Adiabatic oxygen bomb calorimeter ส่วนอีกเม็ดนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ
105°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างเม็ดที่นำไปหาความร้อน

เชื้อเพลิงหรือตัวอย่างของไม้พืชน้ำหนัก จะถูกนำไปใส่ไว้ในถ้วยเชื้อเพลิง เหนือ
เชื้อเพลิงเล็กน้อยจะมีลวดที่ทราบค่าความยาวพันอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า เพื่อเป็นตัวนำความร้อนใน
การจุดสันดาปด้วยไฟฟ้าและจะทำให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซ
ออกซิเจนที่มีมากเพียงพอ ที่ความดัน 20-25 บรรยากาศ บันทึกอุณหภูมิที่แตกต่างกันของ
น้ำหล่อบอมป์ ก่อนและหลังการสันดาปและพลังงานของลวดที่ใช้ไป นำค่าที่ได้ไปคำนวณจาก
สมการ

$$Hg = \frac{tw-e}{m}$$

m

โดยที่ Hg เป็นค่าความร้อนของการสันดาป มีหน่วยเป็นแคลอรี/กรัม

t เป็นอุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกันในระหว่างก่อนและหลังการสันดาป มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

e เป็นผลคูณของความร้อนของการสันดาปของกรด (0.23แคลอรี/ชม.) กับความยาว(มีหน่วยเป็น ซม.)ของหลอดจุด ระเบิด ที่ไหม้ไป มีหน่วยเป็นแคลอรี

m เป็นปริมาณของเชื้อเพลิงหรือตัวอย่างที่ใช้ มีหน่วยเป็น กรัม

w เป็นพลังงานสมมูลของเครื่องแคลอรีมิเตอร์ มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อองศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าคงที่ของเครื่องหาได้จากการสันดาปของสารมาตรฐาน คือ เบนโซอิก เอซิก (benzoic acid : $C_6H_5CO_2H$ ที่ทราบค่าความร้อนของการสันดาป ว่าเป็น 26.43 กิโลจูลต่อกรัม หรือเท่ากับ 6.34 กิโลแคลอรีต่อกรัม) เมื่อนำมาใช้กับเครื่องแคลอรีมิเตอร์ซึ่งกำหนดปริมาณน้ำที่หล่อตัวบอมป์ คงที่ คือ 2,000 กิโลกรัม หรือ 2.0 ลิตร กรดเบนโซอิก จะสันดาปโดยการจุดระเบิดที่ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของออกซิเจน ที่ความดัน 25 บรรยากาศ ความร้อนของการสันดาปของ กรดเบนโซอิก และตัวเครื่อง จะถ่ายเทสู่น้ำที่หล่อตัวบอมป์อยู่ จากการวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำ ก็จะสามารถหาค่าความร้อนของเครื่องได้

$$w = \frac{Hg(m)+e}{t}$$

Hg = ค่าความร้อนของกรดเบนโซอิก

m = ปริมาณกรดเบนโซอิกที่ใช้ (กรัม)

e = ผลคูณของความร้อนที่เกิดจากหลอดจุดระเบิด 2.3 แคลอรี/ชม. (หรือ 0.96 จูล/มม.) กับความยาวของหลอดจุด ระเบิด ที่ไหม้ไป (มีหน่วยเป็น ซม.)

t = ความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำที่ใช้หล่อ บอมป์หลังและก่อนการทดลอง

ตารางที่ 5 แสดงค่าความร้อนของการสันดาปของไม้พื้นบางชนิดที่มีในประเทศไทย (นิรนาม, 2515)

ชนิดไม้	ค่าความร้อนของการสันดาป (แคลอรี/กรัม)
กระถิน(พินาย) <i>Acacia siamensis</i>	4,792
ก้านเหลือง <i>Nauclea orientalis</i> Linn.	4,794
กระท้อน <i>Sandoricum indicum</i> Carr.	4911
ซีเหล็ก <i>Cassia siamea</i> Britt.	4441
ไข่เขียว <i>Parashorea stellata</i> Kurz	4853
มังคุด <i>Cynometra bijuga</i> Span	4560
ตะเคียนหิน <i>Hopea ferrea</i> Pierre	5001
ตำเสา <i>Fagraea fragrans</i> Roxb	4791
พุทรา <i>Zizyphus jujuba</i> Lamk	4781
มะค่าโมง <i>Azalia xylocarpa</i>	4761
มะเกลือ <i>Diospyros mollis</i> Griff	5205
สะแก <i>Combretum quadrangulare</i> Kurz	4937
สะเดา <i>Azadirachta indica</i> A.Juss. var <i>siamensis</i>	5046

สารระเหย (volatile matter)

การที่ไม้มีส่วนประกอบของสารเคมี ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และ สารอนินทรีย์ สารเคมีเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อน และออกซิเจน จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ให้สารระเหยหลายชนิดซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นและควัน อย่างเช่นสารแทรกที่เป็นมีส่วนประกอบเทอร์พีน หรือสารที่เป็น aromatic compound ส่วนมากจะมีจุดเดือดสูงกว่า 100°C เมื่อได้รับความร้อนที่สูงพอจะระเหยออกมา หรือการเกิดกรดหลายชนิดจากการสันดาปของไม้ เช่น กรดอะซิติก ซึ่งเกิดจากการไฮโดรไลต์ อะเซทิลกรุป (acetyl group) ของไฮโดรเซลลูโลส ไอลของสารเหล่านี้ทำให้เกิดควันและกลิ่น ซึ่งจะมีผลต่อระบบการหายใจ และตา โดยทั่วไปสารระเหยในไม้จะมีอยู่ 75-80 % ดังนั้นถ้าไม้ชนิดใดที่มีปริมาณสารระเหยที่เป็นอันตรายหรือเป็นพิษอยู่มาก อย่างเช่น ยางไม้ ก็ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

การหาปริมาณสารระเหย จะต้องมีการเตรียมวัสดุที่จะใช้คือ

1. crucible โดยนำ crucible ไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 750 °C นาน 30 นาที แล้วนำออกไปไว้ในโถดูดความชื้น 1 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนัก crucible แล้วนำไปเผาอีกครั้งหนึ่ง แล้วนำกลับมาชั่งซ้ำ จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ (แตกต่างกันไม่เกิน ± 0.5 มิลลิกรัม)

2. ตัวอย่างที่ใช้จะต้องนำผึ่งให้แห้งก่อน แล้วจึงนำมาบด การบดไม่ควรใช้เวลาามากจนเกินไป และตัวอย่างที่บดจะต้องมีขนาดมาตรฐาน โดยประมาณดังนี้

ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงขนาด 20 เมช (mesh)	= 0 %
ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงขนาด 40 เมช (mesh)	= 14.5 %
ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงขนาด 60 เมช (mesh)	= 18.7 %
ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า ตะแกรงขนาด 80 เมช (mesh)	= 7.0 %
ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh)	= 3.4 %
ตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 100 เมช (mesh)	= 56.4 %

นำตัวอย่างที่มีขนาดต่างๆ กันนี้มาใส่รวมกัน คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วเก็บไว้ในที่อากาศเข้าไม่ได้ เพื่อเก็บไว้สำหรับหาปริมาณสารระเหยและซีเถ้าต่อไป

การหาปริมาณสารระเหย จะนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ลงใน crucible ประมาณ 1 ± 0.005 ปิดฝา crucible นำไปอบในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำ crucible ออกมาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำตัวอย่างที่อบแห้งแล้วใน crucible มาตั้งที่ฝาเตาไฟฟ้า ซึ่งตั้ง อุณหภูมิไว้ที่ 950 °C นาน 2 นาที แล้วเลื่อน crucible ไปวางที่ขอบด้านหน้าของเตา นาน 3 นาที แล้วจึงเลื่อน crucible ไปวางด้านในของเตา พร้อมทั้งทำการปิดฝาเตาไฟฟ้า เป็นเวลา 6 นาที แล้วนำ crucible มาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น 1 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณสารระเหย

$$\text{ปริมาณสารระเหย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังจากอบที่ } 950^{\circ}\text{C (กรัม)}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

ค่าที่คำนวณได้ต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.5%

ซีเถ้า (ash)

โดยปกติเมื่อนำไม้พินหรือถ่านมาเผาไฟ ก็จะมีของแข็งมีลักษณะเป็นผง ซึ่งส่วนมากมีสีขาวเทาเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ เรียกว่า ซีเถ้า ซึ่งเป็นส่วนของสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในไม้และพืช ในไม้ปริมาณซีเถ้ามีประมาณ 0.1 – 4 % แต่บางครั้งอาจพบว่ามีถึง 5% ซึ่งอาจจะมีการประกอบเป็น ซิลิกา แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น ถ้าหากมีปริมาณซีเถ้าเหลืออยู่มากจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการใช้งานของไม้พิน คือ ทำให้พลังงานความร้อนลดลง และเป็นภาระในการกำจัด พินที่ได้จากไม้แต่ละชนิดจะให้ปริมาณซีเถ้าแตกต่างกันไป การหา

ปริมาณซีเถ้าของไม้พื้นสามารถหาได้ โดยใช้ตัวอย่างผงไม้ที่ผ่านการหาปริมาณสารระเหย ไปตั้งในเตาเผาไฟฟ้า ซึ่งตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 750°ซ พร้อมทั้งปิดฝา crucible นาน 6 ชั่วโมง แล้วนำ crucible ออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นาน 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก crucible แล้วนำไปเผาอีกครั้งในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 750°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นอีกครั้ง แล้วชั่งน้ำหนัก ถ้า น้ำหนักลดลงไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม จึงจะเป็นน้ำหนักที่จะนำไปใช้ในการคำนวณในสูตร

$$\% \text{ ปริมาณซีเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักซีเถ้า}}{\text{น้ำหนักผงไม้อบแห้ง}} \times 100$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณ จะต้องไม่ต่างกันเกิน 0.1 %

การจุดติดไฟและการมอด

เนื่องจากองค์ประกอบของไม้ มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่มี คาร์บอน และไฮโดรเจน เป็นผลให้ไม้ที่เกิดการสันดาปได้ การจุดติดไฟขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของผิวหน้าต่อปริมาตร ของเชื้อเพลิงหรือไม้พื้น ถ้าค่านี้มาก ไม้ก็จะจุดติดไฟได้ง่ายและเกิดเป็นเปลวได้เร็ว ไม้ที่ผ่านการปอกและทำให้เป็นชิ้นบางเล็กๆ อย่างเช่น ไม้ขีดไฟ ก็จะสามารถจุดติดไฟ (ignite) ได้ง่าย เเผาไหม้ เร็ว และทำให้เชื้อเพลิงอื่นๆ ติดลุกเป็นไฟได้ ไม้บาง (veneer) ที่แห้งจะจุดติดไฟง่ายกว่าไม้อัด และถ้าไม้ยังมีขนาดเล็กเป็นผงแขวนลอยอยู่ในอากาศ จะยิ่งเป็นการเพิ่มอัตราส่วนของผิวหน้า ต่อปริมาตรมากขึ้น ทำให้มีการจุดติดไฟมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการระเบิดหรือแตกกระจายได้ การจุดติดไฟและการมอดของไฟยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของไม้พื้นด้วย เพราะไม้พื้นที่มีความหนาแน่นมากจะติดไฟยากกว่าไม้พื้นที่มีความหนาแน่นต่ำ แต่จะคุ้คงอยู่ได้นานและมอดช้ากว่าไม้พื้นที่มีความหนาแน่นต่ำ

ความชื้น (moisture)

ไม้พื้นที่ดีควรมีคุณสมบัติในการระเหยน้ำได้เร็วและแห้งได้ง่าย เพราะความชื้นมีความสัมพันธ์ ต่อการสันดาปและค่าความร้อน (calorific value) ของไม้มาก โดยทั่วไปถ้าไม่มีการผันแปรของปัจจัย จะพบว่าไม้อบแห้งมีค่าความร้อน 4,500 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ในการเกิดการสันดาปของไม้ซึ่งจะเกิดการระเหยของน้ำพร้อมๆ กับการเกิดก๊าซติดไฟ ความร้อนของระบบที่ได้จากการสันดาปจะน้อยลงเนื่องจากต้องใช้ความร้อนไปในการระเหยน้ำให้เป็นไอ ดังนั้นค่าความร้อนของไม้จะลดลงเมื่อความชื้นของไม้มีมากขึ้น

การที่น้ำ เป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดในเซลล์ และมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต ดังนั้นน้ำที่มีอยู่ในไม้อาจแบ่งได้ 2 ส่วน คือ น้ำในส่วนที่ไม่สามารถระเหยได้ เป็นส่วนของน้ำที่อยู่ในรูปของส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ประกอบกันขึ้นเป็นผนังเซลล์ ไม่สามารถจะทำให้ระเหยออกมาได้ นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผนังเซลล์ ซึ่งจะมีความสำคัญในปฏิกิริยาการสันดาป

และไฟโรไลซิสของไม้ และน้ำอีกส่วนหนึ่งได้แก่น้ำที่สามารถระเหยได้ ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของไม้ ฝืนอย่างมากรวมทั้งมีผลจะมีผลต่อค่าความร้อนของไม้เป็นอย่างยิ่ง ไม้ฝืนที่มีความชื้นสูงจะให้ค่า ความร้อนต่ำกว่าไม้ฝืนที่แห้งกว่า ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นกับไม้ฝืนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดย การเผาให้เป็นถ่านด้วย

ตารางที่ 6 แสดงค่าความร้อนของไม้และถ่านที่ความชื้นต่างๆ เทียบกับค่าความร้อนที่ สภาวะอบแห้ง (ธีระชัย, 2528)

ชนิดไม้และถ่าน	ไม้			ถ่าน		
	M.C. ^{1/}	H.M.C. ^{2/}	H.O.D. ^{3/}	M.C. ^{1/}	H.M.C. ^{2/}	H.O.D. ^{3/}
โกกทางใบเล็ก <i>Rhizophora apiculata</i> Bl	37.00	2969.06	4712.57	27.09	4873.61	6684.47
โกกทางใบใหญ่ <i>Rhizophora mucronata</i> Poir	34.37	3123.66	4759.62	22.11	5544.032	7118.05
โปรงแดง <i>Cerriops tagal</i> C.B. Robinson	38.12	3092.37	4997.25	25.19	5128.17	6854.90
ถั่วดำ <i>Bruguicra parviflora</i> Wight & Arn. Ex Griff	32.47	3272.63	4846.07	26.21	5166.56	7001.43
ลำแพน <i>Sonnertia alba</i> Smith	32.99	3094.88	4618.32	31.47	4402.92	6424.90
ตะบูนขาว <i>Xylocarpus granatum</i> Koen.	34.77	3144.20	4820.49	32.16	4815.12	7097.34
ฝาดแดง <i>Lumitzera littorea</i> Voigt.	34.67	3336.52	5107.03	32.52	4632.92	6865.63
ประสัก <i>Bruguicra gymnorhiza</i> Lamk.	33.66	3204.48	4830.66	24.10	5576.00	7346.46

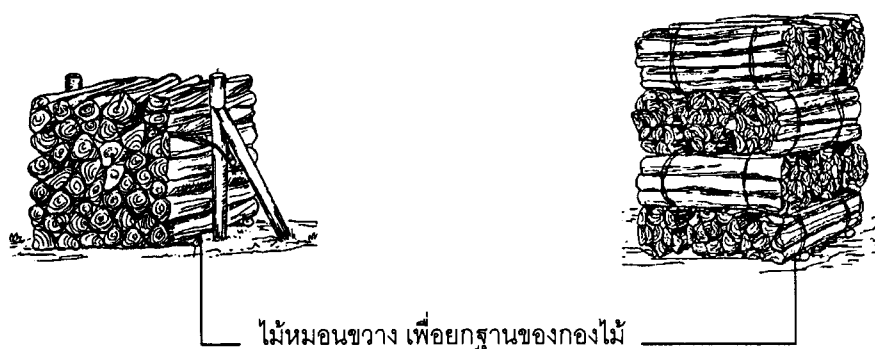
^{1/} M.C.= ปริมาณความชื้น (%)

^{2/} H.M.C.= ค่าความร้อนที่ความชื้นในขณะที่หา (แคลอรี/กรัม)

^{3/} H.O.D.= ค่าความร้อนที่สภาวะอบแห้ง (แคลอรี/กรัม)

ไม้ฝืนที่ได้จากการตัดไม้มาใหม่ ๆ จะมีปริมาณของน้ำที่ระเหยได้ หรือที่เรียกว่า ความชื้น อยู่มาก จำเป็นจะต้องมีการลดปริมาณความชื้นของไม้ฝืน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการ เผาไหม้และให้ปริมาณความร้อนสูงขึ้น โดยการนำไม้มาผึ่งในกระแสดอากาศซึ่งจะ เป็นการลด ปริมาณความชื้นให้เหลือประมาณ 25-30 % สถานที่ที่จะใช้ในการกองไม้ฝืนควรมีหลังคาเพื่อป้อง

กันความชื้นและน้ำจากสภาพแวดล้อม เช่นฝน หรือน้ำค้าง และควรยกฐานของกองไม้ขึ้นให้สูงจากพื้นดิน เพื่อป้องกันน้ำหรือความชื้นจากดิน ตลอดจนป้องกันการเข้าทำลายไม้ของปลวก การกองไม้พื้นต้องให้อากาศสามารถผ่านไปยังส่วนต่าง ๆ ของกองไม้ได้ การกองไม้แต่ละกองควรห่างกันและ อาจใช้ไม้ขวาง หรือมัดรวมกันก่อนนำมากองฝังในกระแสอากาศ เป็นเพื่อให้กระแสอากาศผ่านได้ดียิ่งขึ้น ก็จะทำให้ไม้พื้นแห้งได้เร็วขึ้น



ภาพที่ 17 แสดงตัวอย่างการกองไม้พื้น

การที่ไม้เป็นสารที่สามารถดูดและคายความชื้นได้ (hygroscopic substance) ถ้าทิ้งไม้ไว้ในบริเวณที่มีความชื้นสูง ไม้จะดูดความชื้น แต่ทิ้งไว้ในที่มีความชื้นต่ำ ไม้จะคายความชื้น การดูดและคายความชื้นของไม้นั้นจะเกิดขึ้นจนกระทั่ง ความชื้นในไม้เท่ากับความชื้นในอากาศ ความชื้นของไม้ (moisture) หรือปริมาณน้ำในไม้ แบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

1. ความชื้นหรือน้ำ ที่มีอยู่ในช่องว่างภายในเซลล์ และช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อไม้ ที่เรียกว่า น้ำอิสระ หรือน้ำอุ่ม (Free water) ซึ่งจะอยู่ในรูปของ ของเหลว ใส ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน การเพิ่มหรือลดของน้ำอิสระไม่มีผลต่อการยืดหรือหดตัวของไม้ แต่มีผลต่อการติดไฟ และน้ำหนักของไม้

2. ความชื้นหรือน้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ของเนื้อไม้ หรือเรียกว่า น้ำขับ (Bound water) เป็นความชื้นที่มีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การยืดและหดตัวของไม้ เพราะน้ำในส่วนนี้จะมีแรงดูดซับที่ผิวหน้า (surface adsorption) ภายในโครงสร้างไม้ โดยยึดติดกับผนังเซลล์ด้วยแรงดูดซับ (adsorption force) แรงดูดซับนี้เกี่ยวข้องกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำต่อไฮโดรเจนบอนด์ (H-bond) ที่เกิดขึ้นในเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งไฮโดรเจนบอนด์ จะเกิดขึ้นที่ H ของ OH (hydroxyl group)

เมื่อปล่อยให้ไม้แห้ง น้ำหรือความชื้นจะระเหยที่ผิวไม้ออกมาบางส่วนใน ๆ โดยความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่าน ช่องว่างระหว่างเซลล์ ช่องว่างภายในของเวสเซล (vessel) และ ไฟเบอร์ (fiber) พิต (pit) หรือ ไปตามเรย์ (ray) และช่องว่างที่มีอยู่ในผนังเซลล์ ซึ่งเนื้อไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะ

สูงๆ จะมีช่องว่างต่างๆ เหล่านี้น้อย ในทางตรงข้าม ไม้ใบแคบ หรือไม้สน และไม้ใบกว้างที่มีน้ำหนักเบาจะมีอัตราการซึมผ่านของน้ำหรือความชื้นจะเร็วสม่ำเสมอ โดยที่น้ำอิสระในช่องว่างภายในเซลล์ จะเคลื่อนที่ออกมาก่อนโดยการระเหยจะเกิดขึ้นที่ผิวก่อนส่วนในๆ จะระเหยออกมาได้โดยการซึม (diffuse) ด้วยวิธี capillary action และจะระเหยไปสู่อากาศจนกระทั่งความชื้นของไม้เท่ากับความชื้นของบรรยากาศที่อยู่โดยรอบ ณ ความชื้นสัมพัทธ์และที่อุณหภูมินั้น เรียกความชื้นของไม้ที่จุดนี้ว่า ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ไม้ที่มีความชื้นได้ดุลกับความชื้นในอากาศเรียกไม้แห้ง (air dry) และจุดที่ช่องว่างภายในเซลล์ไม่มีน้ำในสถานะของเหลวอยู่เลยหรือกล่าวได้ว่า ระดับความชื้นที่น้ำอิสระในไม้ระเหยไปจนหมดแต่น้ำซึบยังอยู่เต็มเรียกว่า จุดหมาด (fiber saturation point) ไม้ที่มีความชื้นสูงกว่าจุดหมาดเรียกว่าไม้สด

ส่วนการที่จะทำให้ไม้แห้งต่ำลงไปจากจุดที่ได้ความชื้นสมดุลต้องใช้พลังงานความร้อนหรือเครื่องมือเช่น ตู้อบมาช่วย การใช้อุณหภูมิ 100°ซ หรือมากกว่า อบไม้ทำให้ไม้ไม่มีความชื้นอยู่เลย เรียก ไม้อบแห้ง (oven dry) พลังงานที่ใช้จะช่วยทำให้น้ำในผนังเซลล์ หรือน้ำซึบและไอน้ำในช่องว่างภายในเซลล์ เคลื่อนที่ออกมาด้วยวิธีการซึมซาบ (diffusion) อัตราการซึมซาบจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นในผนังเซลล์ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นอย่างมาก การทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25 -100°ซ จะเพิ่มอัตราการซึมซาบ 37 เท่า น้ำซึบหรือของเหลวในผนังเซลล์ก็จะเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างของเซลล์ โดยอาศัยความแตกต่างของปริมาณความชื้น ส่วนความชื้นในรูปของไอน้ำจะเคลื่อนที่ ด้วยความแตกต่างของความดันไอน้ำ ไม้ที่มีช่องว่างหรือช่องทางผ่านของความชื้นและน้ำน้อย เช่นไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะสูงๆ จะทำให้การระเหยของน้ำและความชื้นลำบากและไม้จะแห้งยาก

การหาปริมาณความชื้นในไม้ (determination of moisture content) เป็นการหาร้อยละของน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในไม้ ต่อน้ำหนักอบแห้งของไม้ การหาความชื้นของไม้สามารถหาได้หลายวิธี เช่น oven dry method distillation method electrical moisture meter titration method hygrometric method แต่วิธีที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการมากที่สุดคือ oven dry method ซึ่งมีขั้นตอนในการหาความชื้นดังนี้

1 สุ่มหรือเลือกตัวแทนไม้ที่ต้องการหาความชื้น ถ้าไม้นั้นเป็นไม้ขนาดใหญ่ ควรนำมาตัดปลายทิ้ง ยาวไม้น้อยกว่า 1 ฟุต เพื่อให้ได้ตัวอย่างส่วนของไม้ที่ไม่แห้งจนเกินไป ในกรณีที่ไม่ใช่ตัวอย่างที่มีขนาดเล็กหรือเป็นผืน อาจใช้ crucible เป็นภาชนะในการรองรับตัวอย่าง ซึ่งภาชนะดังกล่าวจะต้องผ่านการ อบและชั่งน้ำหนักให้มีน้ำหนักคงที่ก่อน

2. ทำการชั่งน้ำหนักทันที ที่เรียกว่า น้ำหนักสด หรือ น้ำหนักครั้งแรก

3. นำตัวอย่างไม้นั้น ไปอบ ในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 100 ± 5 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักของไม้ไม่เปลี่ยนแปลง หรือไม้แห้งสนิท

4. นำไม้ที่แห้งสนิทไปชั่งอีกครั้ง น้ำหนักครั้งหลังนี้เรียกว่า น้ำหนักอบแห้ง (oven dry weight)

5. นำน้ำหนักครั้งแรก และน้ำหนักอบแห้งมาคำนวณหาความชื้นของไม้จากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักครั้งแรก} - \text{น้ำหนักอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง}} \times 100$$

การเสื่อมสภาพ

การที่ไม้จะเสื่อมสภาพได้นั้น ก็เนื่องมาจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปฏิกริยาเคมี ปฏิกริยาทางฟิสิกส์ ปฏิกริยาทางเคมี และปฏิกริยาทางชีววิทยา ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพของไม้อื่นเนื่องมาจากสิ่งมีชีวิต ได้แก่ เห็ดรา ปลวก นับว่ามีบทบาทต่อคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของไม้มาก เนื่องจากการเสื่อมสภาพของไม้ ส่วนใหญ่จะมีการสูญเสียมวลสาร ซึ่งจะทำให้ ไม้มีน้ำหนักลดลง ส่งผลให้ความหนาแน่นของไม้ลดลงไปด้วย มวลที่ลดลงนั้นอาจเนื่องมาจากการสูญเสียองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ ทั้งที่เป็น สารที่เป็นคาร์โบไฮเดรตและลิกนิน

แมลงทำลายไม้

ปลวก (termites) เป็นแมลงที่มีมากหลายชนิด เช่น ปลวกกัดไม้แห้ง ปลวกกัดไม้สดหรือไม้เปียก ปลวกใต้ดิน ปลวกต่างๆ ล้วนต้องการเซลลูโลสในผนังเซลล์ของเนื้อไม้หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ เพื่อใช้เป็นอาหารหลักในการดำรงชีวิต เนื้อไม้ที่ถูกปลวกเข้าทำลายจะถูกย่อยเปลี่ยนสภาพเป็นดิน และมีสภาพเหมือนฟองน้ำ เป็นโพรงภายใน แต่สภาพภายนอกยังคงเดิม

มอด (powder-post beetles) เป็นแมลงอีกชนิดหนึ่งที่เข้าทำลายไม้ แต่จะมีลักษณะการเข้าทำลายแตกต่างจากปลวกตรงที่ ตัวแก่ของมอด จะเข้าไปวางไข่ตามรอยแตกของไม้ เมื่อไข่ฟักเป็นตัว ตัวอ่อนจะเข้าไปกัดกินเนื้อไม้ในส่วนของกระพี้ และจะมีการลอกคราบอยู่ในไม้นั้น หลายครั้ง จนโตเต็มที่ จึงเข้าดักแด้แล้วลอกคราบเป็นตัวแก่ เจาะเนื้อไม้ออกมาภายนอก ซึ่งสามารถมองเห็นเป็นรูได้ตามผิวไม้วัยจะเจาะเข้าทำลายไม้จนเหลือแต่ผงคล้ายแป้ง

เห็ดราทำลายไม้ (wood destroy fungi)

การเข้าทำลายไม้ของเห็ดราแต่ละชนิดมีลักษณะต่างกัน เนื่องมาจากความต้องการอาหารของเห็ดราที่ต่างกัน เห็ดรา ชนิด white rot จะสามารถย่อยสลายองค์ประกอบของผนังเซลล์เนื้อไม้ได้ทั้ง ส่วนที่เป็นลิกนิน และเซลลูโลส ซึ่งพบว่าน้ำหนักของไม้ที่ถูกทำลายในขั้นสุดท้ายจะมีน้ำหนักลดลงถึง 90% การเข้าทำลายของเห็ดราชนิดนี้ จะเห็นได้เด่นชัดเนื่องจากการทำลาย

ลักษณะ จึงทำให้สีของไม้ซีดลง จนมีสีขาว อาจมองเห็นเป็นหย่อมๆ หรืออาจเกิดลายเส้นสีขาวสลับกับเนื้อไม้ที่ยังด้อยอยู่

เห็ดรา ชนิด brown rot จะเข้าทำลายเฉพาะในส่วนที่เป็นไฮโดรเซลลูโลสเท่านั้น เนื้อไม้ที่ถูกเห็ดรา กลุ่มนี้เข้าทำลายจะยุบลงเป็นช่วงๆ และสีของไม้ที่ถูกเห็ดรา brown rot เข้าทำลายจะมีสีน้ำตาล การทำลายของ เห็ดรา ชนิด brown rot จะพบมากในเซลล์ของเนื้อเยื่อ ทราคีด และไฟเบอร์ เพราะเป็นบริเวณที่มีปริมาณเซลลูโลสมาก

การที่เห็ดราเข้าทำลายไม้พืชนั้น มีผลทำให้คุณสมบัติของไม้เปลี่ยนแปลงไป เช่น สีของไม้พืชนั้นเปลี่ยนไปความสามารถในการดูดซึมน้ำ และความชื้นจากบรรยากาศได้สูงขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมีของไม้พืชนั้น เช่น เกิดรูพรุนมากขึ้น ความหนาแน่นของไม้ลดลง และยังมีผลทำให้ไม้พืชนั้นที่ถูกทำลายโดยเห็ดราสามารถติดไฟง่ายขึ้น แต่ความร้อนที่ได้จะลดลง

จะเห็นว่าการทำลายไม้ของเห็ดราดังกล่าวมีผลทำให้ค่าความร้อนของไม้ลดลง เนื่องมาจากสูญเสียองค์ประกอบทางเคมีของไม้ไปพร้อมๆ กับการเสียมวลของไม้ และค่าความร้อนของไม้จะลดลงเช่นเดียวกันนี้เมื่อไม้ถูกทำลายด้วยแมลงทำลายไม้ เช่น ปลวก มอด

การเข้าทำลายไม้ของแมลง อาจนำเอาสปอร์ของเชื้อเห็ดราติดตัวมันเข้าไปทำลายไม้ได้ ในขณะเดียวกันเห็ดราก็จะเป็นสื่อให้แมลงเข้าทำลายไม้ได้ดีขึ้นเช่นกัน การป้องกันการเข้าทำลายไม้ของเห็ดรา จะต้องทำให้ไม้แห้งให้เร็วที่สุด เพราะเห็ดรา สามารถเข้าทำลายไม้และเจริญเติบโตได้ดี ที่ความชื้น 35-50 % หรือความชื้นเหนือจุดหมาด ซึ่งเป็นความชื้นที่ไม้ยังคงมีน้ำอิสระอยู่เต็มช่องว่างของเซลล์ แต่ที่ความชื้นต่ำกว่าจุดหมาด ยังไม่พบว่ามีเห็ดราเข้าทำลายของเห็ดราดังกล่าว ส่วนการป้องกันการเข้าทำลายไม้พืชนั้นจากแมลงทำลายไม้ นอกจากการทำให้ไม้แห้งแล้ว ยังต้องหลีกเลี่ยงการเก็บไม้พืชนั้นไว้ในสถานที่ที่ล่อแหลม เช่น การกองไว้ติดผิวดิน โดยไม่ให้มีการระบายอากาศที่ดี การเก็บไม้พืชนั้นไว้ในที่ที่อบอุ่น หรือนำไปไว้ในที่ที่ชื้นแฉะ หรือเคยมีการทำลายของมอด เป็นต้น

บทที่ 3

ฟืนเทียม

ฟืนเทียม (extruded log) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า เชื้อเพลิงอัดแท่ง (fuel briquette) หรือเชื้อเพลิงเขียว (green fuel) เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตได้จากพืช ซึ่งมีลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ และเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนไม้ฟืน การผลิตฟืนเทียม ใช้หลักการเพิ่มความหนาแน่นเชื้อเพลิงชีวมวล (densified biomass fuel) โดยนำวัสดุนั้นไปทำให้มีขนาดเล็กลงแล้วนำไปอัดเพิ่มความหนาแน่น จากนั้นก็ลดความชื้นของเชื้อเพลิงลง การที่ประเทศไทยมีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางเกษตรกรรม จึงมีวัสดุเหลือใช้เหลือทิ้งทางการเกษตรอยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นส่วนต่างๆ ของลำต้น ใบ กาบ เปลือก ชัง ราก หรือเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไม้ต่างๆ ได้แก่ ขี้เลื่อย ขี้กบ ประกอบกับการที่ประเทศตั้งอยู่ในเขตมรสุมที่มีอากาศอบอุ่น (tropical and monsoonal climate) จึงมีความหลากหลายของพันธุ์พืชจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน ทั้งพืชน้ำ เช่น ผักตบชวา และพืชบก ไม่ว่าจะเป็นพืชในกลุ่มของพืชเมล็ดเปลือย (gymnospermae) และ พืชดอก (angiospermae) ที่เป็นพืชให้เนื้อไม้ และไม่ใหเนื้อไม้ ทั้งที่เป็นพืชอายุสั้นหรืออายุยืน รวมทั้ง วัชพืช ซึ่งเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้รวดเร็วและไม่พึ่งประสงค์ในการเกษตรขึ้นอยู่มากมาย เช่น หญ้าขจรจบ ดอกม่วงหรือ ดอกเหลือง ไมยราพยักษ์ ไมยราพธรรมดา หญ้าคา เป็นต้น ชีวมวลเหล่านี้ล้วนแต่มีองค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส ซึ่งสามารถปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากการสันดาปโดยตรงได้ จึงสามารถนำมาผลิตเป็นฟืนเทียมได้ทั้งสิ้น

ตารางที่ 7 แสดงค่าความร้อนของการสันดาปของวัสดุเหลือใช้เหลือทิ้งทางการเกษตร (กลุ่มพัฒนาพลังงานป่าไม้, 2541 วิชนี, 2544 ข. วัฒนา และคณะ, 2529)

ชนิดของวัสดุเหลือใช้เหลือทิ้งทางการเกษตร	ค่าความร้อนของการสันดาป แคลอรี / กรัม
เปลือกทุเรียนแห้ง	4,115
ชังข้าวโพด	3567.82
เกล็ดดิบ	3,086.21
ฟาง	4,148
กะลามะพร้าว	4,631
ขี้เลื่อย	4,461
เศษไม้ยางพารา	4,580
ผักตบชวา	3,034.63
หญ้าขจรจบ	3,016.34
โสน	4,150.06

วัสดุเหลือใช้เหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีขนาดใหญ่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง เช่น ชังข้าวโพด ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐ กะลามะพร้าว เปลือกทุเรียนก็สามารถนำมาใช้ในการหุงต้มอาหารได้ อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นต่ำๆ ก็ไม่เหมาะที่จะใช้ในการหุงต้มกับเตาอั้งโล่ เนื่องจากเนื้อที่ที่มีอยู่จำกัดของเตาอั้งโล่ หรือแม้แต่แกลบซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีขนาดเล็กก็สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้โดยใช้กับเตาแกลบ จะเห็นว่าถ้าวัสดุที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืน ถ้าหากมีขนาดเล็ก บางหรือมีความหนาแน่นต่ำมากๆ จะนำมาใช้งานไม่สะดวกนัก จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เฉพาะเพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุด การปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเพิ่มความหนาแน่นจึงอีกหนทางหนึ่งในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะคล้ายไม้ฟืน และสะดวกในการนำมาใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายอยู่ทั่วไป

การอัดแท่งฟืนเทียมเพื่อการค้าเกิดขึ้นครั้งแรกในโลกที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1930 (พ.ศ. 2473) โดยวิศวกรซึ่งทำงานอยู่ในโรงเลื่อย ชื่อ R.T. Bowling เป็นผู้ประดิษฐ์เครื่องอัดแท่งซึ่งใช้เครื่องอัดแบบเกลียวหรือสกรูด้วยวิธีอัดแห้ง เพื่อกำจัดชีเลื้อยที่เหลืออยู่ในโรงเลื่อยปีละหลายร้อยตัน ซึ่งนอกจากจะเป็นการแก้ปัญหาแล้วยังสามารถสร้างรายได้จากการขายเชื้อเพลิงอัดแท่งได้อีกด้วย สำหรับในประเทศไทยได้มีการนำเครื่องมืออัดแท่งจากต่างประเทศมาใช้ในการผลิตฟืนเทียมหรือเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้อัดแบบเกลียวหรือสกรูเพื่อการค้าเป็นครั้งแรกที่จังหวัดขอนแก่น เมื่อ พ.ศ. 2517 แต่ไม่ประสบความสำเร็จ อย่างไรก็ตามฟืนเทียมก็ยังคงเป็นที่สนใจของโรงเลื่อยต่างๆ มาอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2524 (ชวลิต, 2524) ก็ยังพบว่ามีโรงผลิตฟืนเทียมเพื่อจำหน่ายอยู่บ้าง เช่น การผลิตชีเลื้อยอัดแท่งของโรงเลื่อยจักรช้างเผือก จังหวัดเชียงใหม่ โรงเลื่อย อ.อ.ป. 2 จังหวัดอยุธยา

ในประเทศฟิลิปปินส์ Gonzalo O. Catan ได้ประดิษฐ์ฟืนเทียมขึ้นในปี พ.ศ. 2523 เรียกว่า กรีนชาโคล (green charcoal) โดยนำเอาใบไม้ใบหญ้า ฯลฯ ไปหมักด้วยจุลินทรีย์บางชนิด จนเน่าเปื่อย แล้วจึงนำไปอัดแท่ง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 ซม. แท่งเชื้อเพลิงมีลักษณะเป็นยางเหนียวๆ ติดมือเบา โปร่งจับตัวไม่แน่น หญ้าหมักเปื่อยนี้จะให้ค่าความร้อนสูงกว่าหญ้าธรรมดา เชื้อเพลิงนี้นอกจากจะให้เปลวไฟซึ่งเกิดขึ้นจากก๊าซที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นแล้วยังได้ถ่านอีกด้วย เชื้อเพลิงนี้ให้เปลวไฟสีน้ำเงินคล้ายก๊าซหุงต้ม เป็นเชื้อเพลิงสะอาด เผาไหม้เร็วและมอดเร็วกว่าถ่าน ซึ่งเป็นจุดกำเนิดให้ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พยายามทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือทิ้งเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ โดยใช้และพัฒนาการใช้เทคโนโลยีง่ายๆ เพื่อให้สามารถผลิตเชื้อเพลิงแท่งหรือเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ขึ้นทดแทนไม้ฟืน ซึ่งเรียกว่า เชื้อเพลิงเขียว (green fuel)

การผลิตเชื้อเพลิงเขียวครั้งแรกของภาควิชาพืชสวนในปี พ.ศ. 2526 เริ่มขึ้นจากการนำวัชพืช เศษพืช กิ่งไม้เล็กๆ ที่ยังสด เมื่อนำมาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วอัดลงในกระบอกเหล็ก ด้วย

แท่งเหล็กรูปตัวที พืชจะสามารถอัดตัวเป็นแท่งด้วยตัวของมันเองหลังจากนั้นนำพืชสดอัดไปตากแดดให้แห้งจะได้เชื้อเพลิงสะอาด ซึ่งเมื่อเทียบกับกรีนชาโคล แล้วต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงชีวจะถูกกว่า และให้ความร้อนในการหุงต้มไม้แป้นไม้บางชนิด แต่จะมอดเร็วกว่าถ่านไม้ (วัฒนาและคณะ ,2529)

เทคโนโลยีในการผลิตฟืนเทียม

การผลิตฟืนเทียม หรือเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวล ซึ่งใช้วัตถุดิบจาก เศษพืชหรือวัสดุเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยว (crop residues) วัชพืช (weed) สิ่งเหลือทิ้งหรือสูญเสียจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ หรือแม้แต่ขยะมูลฝอย จะถูกนำมาผ่านกระบวนการ 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ การเตรียมชิ้นวัสดุ การอัด และการทำให้แห้งหรือลดปริมาณความชื้น

1. การเตรียมชิ้นวัสดุ

เนื่องจากการผลิตแท่งฟืนเทียม ใช้หลักการเพิ่มความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวล จึงทำให้ต้องมีการลดขนาดของวัตถุดิบ ซึ่งอาจจะใช้ มีด กรรไกร สับตัด เพื่อให้วัตถุดิบมีขนาดเล็กลง หรือนำไปหมัก แฉ่น้ำ เพื่อให้วัตถุดิบอ่อนนุ่มเพื่อสะดวกแก่การอัด หรืออาจใช้เครื่องย่อยขนาดในกระบวนการผลิตที่มีวัตถุดิบจำนวนมาก โดยทั่วไปชิ้นวัตถุดิบที่จะใช้ในการอัดจะมีขนาดไม่ควรเกินกว่า 25% ของเส้นผ่าศูนย์กลางของฟืนเทียม ชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวในการยึดเกาะกันมากกว่าชิ้นวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่กว่า การใช้วัตถุดิบที่ได้จากชีวมวล ขนาด 6-8 มิลลิเมตร ผสมกับส่วนที่เป็นผง(powdery) 10-20 % เหมาะกับการอัดฟืนเทียมมาก อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก มากๆ หรือต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในกรณีที่จะเพิ่มกำลังการผลิต (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) การย่อยขนาดวัตถุดิบอาจใช้เครื่องมือกลต่างๆ เช่น

1. เครื่องสับแบบวงล้อ เป็นเครื่องสับที่มีใบมีดติดที่ก้านของวงล้อ 2-4 ใบ สามารถนำมาใช้ในการสับพืชสด ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีความชื้นสูงถึง 80 % ก็สามารถจะสับได้

2. เครื่องสับแฮมเมอร์มิล (hammer mill) เป็นเครื่องสับที่มีใบมีดสับอยู่ติดกับแกนที่หมุน และมีตะแกรงรองอยู่ข้างล่าง เมื่อวัตถุดิบถูกสับ วัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรง ก็จะค้างอยู่บนตะแกรง ทำให้ถูกสับซ้ำได้อีก ส่วนที่เล็กกว่าตะแกรงจะผ่านออกจากเครื่องสู่ภาชนะที่รองรับ หรือกระบวนการผลิตต่อไป ตะแกรงที่มีอยู่ในเครื่องสับแบบนี้จะช่วยให้การคัดขนาดชิ้นวัตถุดิบได้ระดับหนึ่งตามขนาดของตะแกรงซึ่งถอดเปลี่ยนได้ แต่เครื่องสับชนิดนี้ไม่เหมาะที่จะใช้กับพืชสด หรือวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง เนื่องจากจะทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของตะแกรง

2. กระบวนการอัดแท่ง

การอัดแท่งฟืนเทียมสามารถอัดได้หลายวิธี คือ

1. อัดสด ซึ่งจะใช้พืชสด ชนิดเดียวกัน อัดตัวของมันเองด้วยสารหรือยางเหนียวๆ ที่มีอยู่ในพืชชนิดนั้น เช่น พืชอาศัยพวกยางเหนียว (stricky materials) ในพืช เช่น เพคติน

(pectin) เยลลาติน (gelatin) ลิกนิน และเรซิน เป็นต้น ในการประสานตัวของมันเอง หรือถ้าในพืชมีปริมาณสารเหนียวๆ ไม่เพียงพอ ก็อาจใช้พืชชนิดอื่นที่มีสารเหนียวกว่า เช่น ไม้ยางบง (ซึ่งเป็นตัวช่วยประสานในกระบวนการผลิตรูป) หรือพญาไร้ใบ ผสมเป็นตัวช่วยประสาน หรืออาจใช้ตัวประสานโดยตรง เช่น แป้งเปียก กากสาเหล้ม กากน้ำตาล มูลสัตว์ ไคลอน เป็นตัวประสานก็ได้

2. อัดพืชหมัก เป็นวิธีการที่ต้องใช้เวลาในการทำให้พืชเกิดการสลายเนื่องจากจุลินทรีย์ โดยอาจทำการหมักทิ้งไว้ 3-4 วัน จนเกิดกลิ่นเหม็นบูดหรือ 3-4 อาทิตย์ เพื่อให้พืชเน่าเปื่อย ทำให้ทำการอัดง่ายขึ้น

3. อัดแห้ง โดยไม่ใช้หรือใช้ตัวประสาน เป็นการนำพืชหรือวัตถุดิบที่แห้งแล้วมาทำการอัด วัสดุแห้งที่เป็นชีวมวลทุกชนิด เมื่อผสมกับตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสม จะสามารถนำมาอัดเป็นแท่งได้ทั้งสิ้น

3. การลดปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิง

ความชื้นของพืชสดที่นำมาเป็นวัตถุดิบจะถูกทำให้ความชื้นลดลงด้วยการสับและความร้อนจากการอัด อย่างไรก็ตามพื้นที่ยืน หรือเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ก็ยังคงมีความชื้นเหลืออยู่มาก ดังนั้นจะต้องมีการลดความชื้นให้แท่งเชื้อเพลิงมีความชื้นประมาณ 5-10% เพราะเมื่อแท่งเชื้อเพลิงที่มีความชื้น 5-10 % เวลาติดไฟจะไม่มีควันรบกวน

การนำแท่งเชื้อเพลิงไปตากแดดเป็นการลดความชื้นด้วยวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด หรือจะใช้ตู้อบแสงอาทิตย์ซึ่งสะดวกในการตากแท่งเชื้อเพลิง เพราะไม่ต้องคอยเก็บในระหว่างวัน หรือช่วงเวลาที่อากาศไม่อำนวย และถ้าหากใช้วัสดุรองรับที่สามารถดูดความร้อนได้ดีจะทำให้แท่งเชื้อเพลิงแห้งเร็วขึ้น การลดปริมาณความชื้นโดยใช้เตาอบสามารถทำได้แต่ก็เป็นการเพิ่มต้นทุนโดยไม่จำเป็น ซึ่งหากจะต้องใช้เตาอบ ก็อาจใช้เตาที่รับความร้อนมาจากเตาเผาขยะหรืออื่นๆ มาใช้เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและต้นทุนการผลิต การทดสอบความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงสามารถทดสอบอย่างง่ายโดย นำแท่งเชื้อเพลิงไปห่อด้วยถุงพลาสติก ปิดปากถุงให้สนิท แล้วนำไปตากแดด สักพักหนึ่ง ถ้าพบว่ามีไอน้ำเกิดขึ้น ควรนำเชื้อเพลิงนั้นกลับไปตากแดดอีกครั้งหนึ่งจนกว่าแท่งเชื้อเพลิงนั้นจะแห้ง

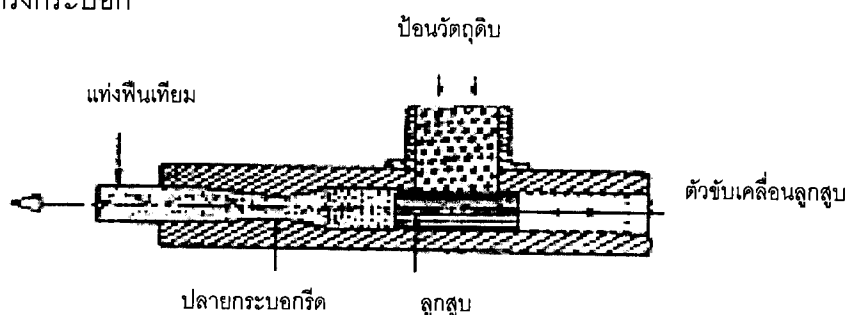
ฟืนเทียมนอกจากจะช่วยประหยัดไม้ฟืนแล้วยังช่วยในการกำจัดขยะทางการเกษตรและอุตสาหกรรมต่างๆ นอกจากนี้ฟืนเทียมยังเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่สามารถทำการเพิ่มศักยภาพด้านอื่นๆ ได้ง่าย เช่นทำให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีกลิ่นหอม โดยใช้ใบเตยเป็นวัตถุดิบ และจากการที่ฟืนเทียมเกิดจากหลักการเพิ่มความหนาแน่น จึงทำให้สามารถนำไปแปรรูปให้เป็นถ่านได้เช่นเดียวกับฟืน ซึ่งนอกจากจะให้ความร้อนได้นานและทนกว่าฟืน เนื่องจากความหนาแน่นสูงกว่าแล้วยัง สามารถนำไปเผาเป็นถ่าน ให้ความร้อนสูงกว่าถ่านไม้บางชนิดด้วย

เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการอัด

1. กระบอกด้า เป็นเครื่องมือที่ง่ายที่สุดสำหรับการอัดพืชสด ซึ่งมีหลักการเกี่ยวกับการตำหมากของคนไทยในสมัยโบราณซึ่งจะประกอบไปด้วยเครื่องมือ คือท่อเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง นำส่วนของเศษพืชที่ได้จากใบ ต้น กิ่ง ไปสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปใส่ในกระบอกด้า กระทุ้งด้วยเหล็กแหลม จนเกิดยางเหนียวทำให้ส่วนของพืชจับเกาะเป็นแท่ง

2. เครื่องอัดโดยใช้แรงคน เป็นเครื่องอย่างง่ายซึ่งดัดแปลงมาจาก เครื่องบดน้ำแข็ง และเครื่องบดเนื้อ สามารถใช้มือหมุน หรือดัดแปลงใช้แรงจากการปั่นจักรยานมาช่วยในการอัด โดยนำส่วนของพืชสด มาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยเครื่องสับแบบมือหมุน หรือจะสับด้วยมีด ใส่ลงในเครื่องอัด เครื่องอัดจะอัดขึ้นส่วนของพืชสับออกมาเป็นแท่ง ๆ คล้ายไส้กรอก

3. เครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ (piston press densification) เครื่องอัดประกอบด้วย ลูกสูบชัก ซึ่งจะทำหน้าที่ดันวัตถุดิบจากช่องป้อน เข้าไปสู่กระบอกรีด ลูกสูบอัดวัตถุดิบเข้าที่ปลายท่อหรือกระบอกอัด ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวรีดรูปกรวย ทำหน้าที่ขับเคลื่อนวัตถุดิบ ผลจากการขับเคลื่อนและขัดสีกับผนังท่อ ของวัตถุดิบทำให้เกิดความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 150-300 °ซ และได้ผลผลิตอัดแท่งเป็นทรงกระบอก

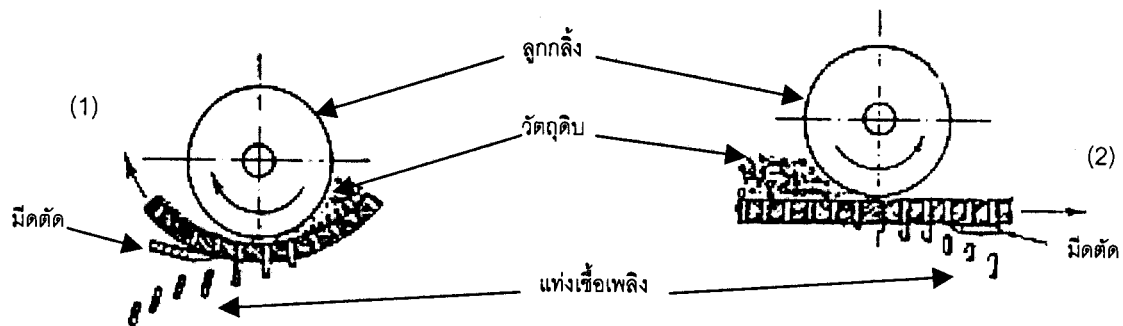


ภาพที่ 18 แสดงรูปแบบการทำงานของเครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบ

4. เครื่องอัดแท่ง แบบลูกกลิ้ง (roll press densification) วัตถุดิบ ต้องผ่านการย่อยให้มีขนาดเล็ก และใช้ตัวประสานเข้ามาช่วยเพราะวัตถุดิบที่ตกลงมาระหว่างลูกกลิ้ง ทั้ง 2 ที่หมุนสวนทางกันทำให้บีบวัตถุดิบแน่นเข้าไปในตัวรองรับแท่งอัด (pillow – shaped briquettes) แต่ช่วงเวลาอัดที่ใช้สั้นมาก ทำให้ยากต่อการยึดติดกันด้วยการหลอมละลายลิกนินและลิกโนเซลลูโลสอย่างเต็มที่ภายใต้สภาวะของอุณหภูมิและแรงอัดที่เกิดขึ้น

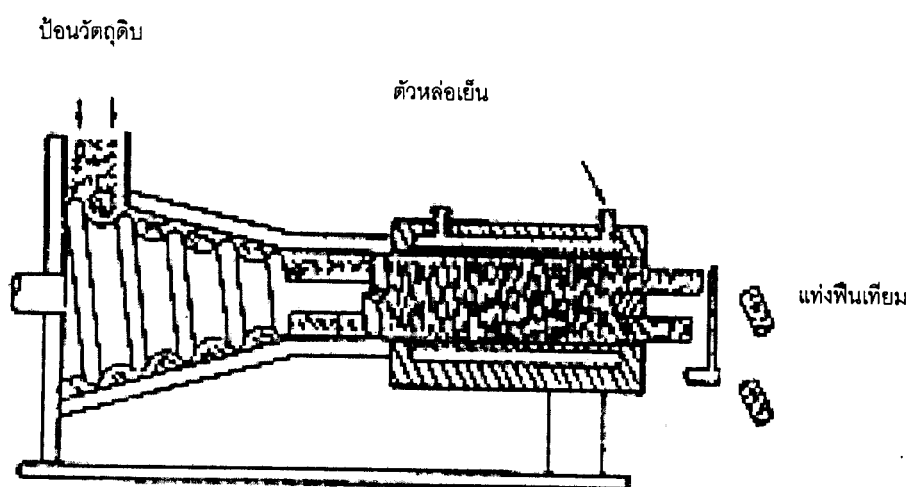
5. เครื่องอัดแท่งแบบเม็ด แท่งเล็ก หรือ เพลเลท (pelletizing press densification) ประกอบด้วยแม่พิมพ์และลูกกลิ้ง (matrix and roller) แรงอัดจากแม่พิมพ์และลูกกลิ้งทำให้เกิดความร้อนจากการขัดสีและทำการอัดวัตถุดิบผ่านแผ่นพิมพ์ที่เจาะรู ไว้ แท่งเชื้อเพลิงจะลุดออกมาเป็นเม็ดหรือแท่งเล็ก แท่งที่ถูกอัดออกมาจะถูกตัดด้วยใบมีดตามขนาดและความยาวที่กำหนด ซึ่งปกติไม่น้อยกว่า 3 ซม. และเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-1.5 ซม. ถ้าต้องการใหญ่กว่านี้ควรใช้การอัด

แท่งแบบลูกบาศก์ (cubing) แทน เครื่องอัดแบบเพทเลท สามารถแบ่งเป็น เครื่องอัดที่ใช้แม่พิมพ์แบบ flat circular matrix และ flat annular matrix



ภาพที่ 19 แสดงเครื่องอัดแท่งแบบเม็ด แท่งเล็กที่ใช้แม่พิมพ์แบบ flat annular matrix (1) และ flat circular matrix (2)

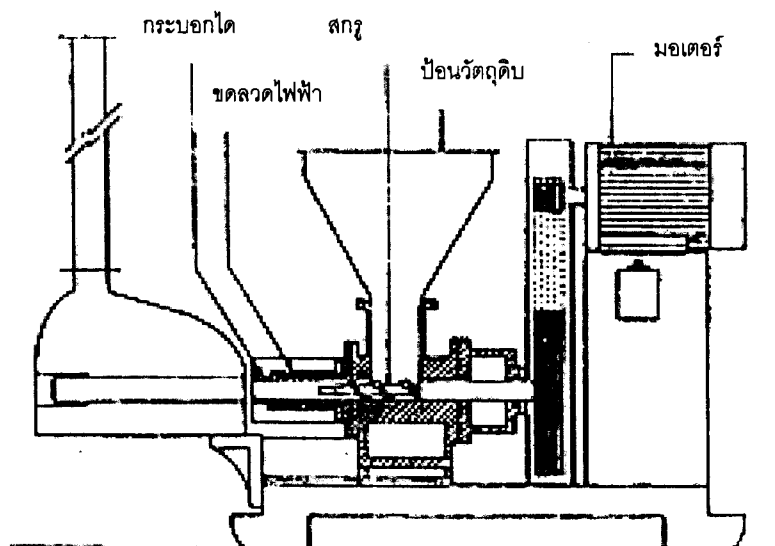
6. เครื่องอัดแท่งใช้สกรู (screw extruder densification) เครื่องอัดแบบนี้จะมีส่วนประกอบหลักคือ สกรูอัด (screw feeder) และ กระบอกลอด หรือกระบอกลอด สกรูอัด (die, screw cylinder) กระบอกรีด (compacting) และหน่วยกำลังซึ่งมักจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ ในการหมุนเกลียวสกรู ทำให้เกิดแรงอัดประมาณ 11,000 - 17,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในกระบอกลอด และจะเกิดความร้อนจากแรงเสียดสีของวัสดุกับเกลียวของสกรูอัด กระบอกลอด และการรีดของกระบอกลอด ซึ่งสามารถผลิตฟืนเทียมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางได้ตั้งแต่ 10-100 มิลลิเมตร อาจแบ่งออกเป็น



ภาพที่ 20 แสดงแนวทางการทำงานของเครื่องอัดแท่งใช้สกรู

6.1 เครื่องอัดสกรู ชนิด เกลียวคู่ (twin-screw extruders) เป็นเครื่องอัดที่มีเกลียว 2 อัน ต่อกับเพลลาที่สวมเข้ากับชิ้นส่วนของเกลียว ที่เปลี่ยนความเร็วในการหมุนได้ เนื่องจากแรงอัด และแรงเสียดสีสูง ทำให้อุณหภูมิของวัตถุดิบสูงถึง 250°C จึงต้องมีส่วนหล่อเย็น ที่กระบอกอัด วัตถุดิบที่ใช้ควรมีขนาด 30-80 มิลลิเมตร และมีความชื้น 25-30% จึงสามารถอัดได้โดยไม่ต้องลด ความชื้นของวัตถุดิบก่อน

6.2 เครื่องอัดสกรู ชนิดมีระบบให้ความร้อน (screw extruder with die heating) การใช้เครื่องอัดชนิดนี้จำเป็นต้องคัดวัสดุ หรือพืชที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการอัดที่มีขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอ และจะต้องมีความชื้นประมาณ 7-12 % โดยปกติ ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสี ระหว่างวัสดุ สกรู และกระบอกได ไม่สูงเพียงพอที่จะทำให้องค์ประกอบของผนังเซลล์ของพืชสลาย ตัวและเชื่อมประสานกันได้ จึงจำเป็นต้องเพิ่มระบบให้ความร้อนแก่กระบอกได ความร้อนนี้จะเป็นส่วนที่เพิ่มจากภายนอก ซึ่งโดยทั่วไปจะต้องใช้ความร้อนสูงเกินกว่า 200°C เพื่อช่วยให้องค์ประกอบของผนังเซลล์ อ่อนตัวและสลาย เป็นตัวเชื่อมประสาน หรืออาจใช้ตัวเชื่อมประสานจาก ภายนอก เช่น แป้งเปียกช่วยในการยึดเกาะติดกัน วัสดุที่ใช้ในการอัดจะถูกอัดจนเป็นเนื้อเดียวกัน และระหว่างที่ทำการอัดจะมีควันเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดการไพโรไลซิสที่ผิวหน้าของฟืนเทียมและ จะได้แท่งฟืนเทียมที่มีความหนัก แน่น (ประมาณ 1,000-1,200 กิโลกรัม/ลบ.เมตร) และแข็งมักจะ จุดติดไฟยากกว่าฟืน เมื่อนำไปใช้จะมีควันมากเช่นเดียวกับฟืน ส่วนใหญ่จะเรียกวิธีการอัดโดยใช้ เครื่องมือชนิดนี้ว่า การอัดร้อน หรือ อัดแห้ง



ภาพที่ 21 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอัดสกรู ชนิดมีระบบให้ความร้อน

6.3 เครื่องอัดสกรู ชนิดไม่มีระบบให้ความร้อน (screw extruder without die heating) มีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องอัดสกรู ชนิดมีระบบให้ความร้อน เครื่องอัดชนิดนี้ใช้ความร้อนจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในกระบอกอัด 100-200 °ซ เพียงอย่างเดียวไม่ต้องใช้ความร้อนจากภายนอกในการช่วยทำให้ลิกนินอ่อนตัว จึงไม่จำเป็นต้องมีระบบให้และคายความร้อน โดยทั่วไปจะใช้อัดพืชที่มีความชื้น 60 % จึงมักเรียกการอัดวิธีนี้ว่า อัดเปียก ชี้นวัสดุที่นำมาใช้อัดไม่จำเป็นต้องบดให้ละเอียด จะคละขนาดกันไปทั้งใหญ่ เล็ก บาง สั้น ก็ได้ ส่วนมากจะใช้พืชที่มียางเหนียวช่วยในการเป็นตัวประสาน หรืออาจใช้ตัวประสานจากภายนอก การรวมตัวอย่างหลวมกันไม่แน่น (ประมาณ 600-800 กิโลกรัม /ลบ.เมตร) แต่ก็แข็งแรงไม่เปราะหรือหักง่าย ช่วยทำให้ติดไฟได้ง่ายกว่า ฟืนเทียมที่ได้จากการอัดแห้ง และเมื่อนำไปทำให้มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 10% ฟืนเทียมที่ได้จะค่อยมีควัน เหมาะกับการนำไปใช้หุงต้ม จึงมักถูกเรียกว่า เชื้อเพลิงเขียว (green fuel)

ตารางที่ 8 แสดงสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเขียวบางชนิด (วัฒนาและคณะ ,2529)

ชนิดของเชื้อเพลิงเขียว	ความชื้น %	ซีไค้ %	สารระเหย %	คาร์บอนเสถียร %	ค่าความร้อน แคลอรี/กรัม
ผักตบชวา + กระดินยักซ์ (1:2)	9.61	6.57	63.79	20.03	3,862.90
ใบสับปะรด + กากส่าเหล้า	5.26	7.835	68.70	18.205	4,112.099
ซังข้าวโพด + กากส่าเหล้า	4.81	8.705	67.23	19.255	4,368.545
ซังข้าวโพด + กากน้ำตาล (6:1.75)	5.605	9.145	66.885	18.365	3,799.55

บทที่ 4

การปรับปรุงคุณภาพไม้พิน

การใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ส่วนมากจะมีปัญหาเรื่องของกลิ่นควัน ซึ่งเป็นสิ่งทำให้ระคายเคืองต่อผู้ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อตาและระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความสกปรกต่อที่อยู่อาศัยและภาชนะที่ใช้ในการหุงต้ม ซึ่งบางครั้งก็ยากที่จะทำความสะอาด ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงแก้ไขควันที่เกิดจากการใช้ไม้พิน โดยแปรรูปพินให้กลายเป็นถ่านเสียก่อน

การทำให้ไม้เป็นถ่านนั้น แตกต่างจากการใช้พลังงานจากไม้พินโดยตรง คือ การแปรรูปไม้พินให้เป็นถ่าน เป็นกระบวนการที่ต้องการผลผลิตที่เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณภาพสูงกว่าไม้พิน หรือที่เรียกว่า ถ่าน (charcoal) มากกว่าต้องการพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ของไม้พิน ในกระบวนการผลิตถ่านจึงจำเป็นต้องจำกัดจำนวนออกซิเจนหรืออากาศที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยการสันดาปให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งจะได้ผลผลิตที่สำคัญ จากการเผาได้แก่ ถ่าน และสารต่าง ๆ มากกว่า 200 ชนิดในรูปของก๊าซ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) อีเทน (C₂H₆) ในรูปของเหลว ได้แก่ น้ำ (H₂O) เมทิลแอลกอฮอล์ (CH₃OH) กรดอะซิติก (CH₃CO₂H) เป็นต้น และน้ำมันดิน (tar) ปริมาณของถ่านที่ได้จากการเผาสามารถหาได้จาก

$$\text{ผลผลิตถ่าน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของถ่านที่ได้}}{\text{น้ำหนักของไม้พิน ที่ใช้ทั้งหมด} - \text{น้ำหนักของส่วนที่ไม่เป็นถ่าน}} \times 100$$

โดยปกติการนำไม้พิน ไปแปรรูปให้เป็นถ่าน จะได้ถ่านเพียงประมาณ 20-30% โดยน้ำหนักของไม้แห้งเท่านั้นหรือประมาณ 33-60% โดยปริมาตร ความแปรปรวนของผลผลิตถ่าน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ลักษณะรูปร่างของไม้ ปริมาณความชื้นของไม้พิน ชนิดของเตาเทคนิคในการเผาและระดับอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้เผา เป็นต้น

ตารางที่ 9 แสดงความแปรปรวนของถ่านที่ได้จากการเผาโดยชนิดเตาที่แตกต่างกัน (วิจิตร, 2542 ลักษณะ, 2542)

ชนิดเชื้อเพลิง	ชนิดของเตา	ผลผลิต (%)	ค่าความร้อนแคลอรี/กรัม	อัตราการเผาไหม้ กรัม/นาที่	ประสิทธิภาพ (%)	งานที่ได้
ข้อไม้ไผ่	เตาดั้งเดิม	33.88	6993	7.22	27.19	2.47
	เตาอิฐ	35.18	7198	7.62	31.98	3.28
ปล้องไม้ไผ่	เตาดั้งเดิม	19.31	7261	5.37	23.54	2.11
	เตาอิฐ	23.83	7308	6.82	27.19	2.68
ไม้เสม็ด	เตาพื้นบ้าน	29.46	6951	7.16	26.68	2.36
	เตาอิฐมาตรฐาน	34.18	7316	6.61	28.81	2.87

สมบัติทางเคมีของถ่านที่แปรสภาพจากไม้พื้น

ตามที่ได้เคยกล่าวมาแล้วว่าองค์ประกอบของผนังเซลล์ของไม้ ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักของโมเลกุล ซึ่งเมื่อไม่เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสจะทำให้คาร์บอนที่มีอยู่เปลี่ยนแปลงไป ปริมาณคาร์บอนที่มีในไม้และของแข็งที่แปรสภาพมาจากไม้หลังเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส เรียกว่า คาร์บอนเสถียร หาได้จาก

$$\text{ปริมาณคาร์บอนเสถียร (\%)} = 100 - [\text{ปริมาณสารระเหย (\%)} + \text{ปริมาณขี้เถ้า (\%)}]$$

โดยทั่วไปถ่านจะมีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 0.2-0.5 ความพรุน 70-75% ความชื้น 1-16% (เฉลี่ยประมาณ 10% ในสภาวะที่ไม่สัมผัสกับน้ำโดยตรง) จุดติดไฟ 240-250°C และค่าความร้อนประมาณ 6,800-7,200 แคลอรีต่อกรัม ต่ำกว่าคาร์บอนลวซึ่งให้ความร้อน 7,900 แคลอรีต่อกรัม ทั้งนี้เนื่องจาก คาร์บอนเสถียรในถ่านไม่ใช่คาร์บอนแท้ๆ ที่บริสุทธิ์ ซึ่งมีอยู่เพียง 80-90 % โดยน้ำหนักและยังมีสิ่งที่ยังหลงเหลืออยู่ ได้แก่ สารที่ระเหยได้ (volatile matter) และขี้เถ้า (ash) ประมาณ 0.5 -10 % (Meyers and Jennings, 1979)

สารระเหยที่พบในถ่าน จะมีอยู่ประมาณ 7-30 %โดยน้ำหนัก ซึ่งน้อยกว่าในไม้มาก และเมื่อนำถ่านไปให้ความร้อนที่ 750°C ในเตาไฟฟ้าจะได้ก๊าซต่างๆ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 9% คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ประมาณ 20% ไฮโดรเจน (H₂) ประมาณ 64% และไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ (C_nH_m) ประมาณ 7%

สำหรับขี้เถ้า (ash) ซึ่งเป็นส่วนของสารอนินทรีย์ (Inorganic constituents) ที่เหลืออยู่หลังจากทำการเผาถ่านที่อุณหภูมิ 950 °C มีประมาณ 0.5-10% ซึ่งจากการตรวจหาสารอนินทรีย์ ในถ่านโดยใช้เครื่องมือ Neutron Activation Analysis (NAA) พบว่ามีสารอนินทรีย์ต่างๆ เช่น Al Ba Br Ca Ce Cl Co Cr Eu Fe K Mg Mn Na Rb Zn Cu Sr V สารอนินทรีย์เหล่านี้

บทที่ 4

การปรับปรุงคุณภาพไม้พิน

การใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ส่วนมากจะมีปัญหาเรื่องของกลิ่นควัน ซึ่งเป็นสิ่งทำให้ระคายเคืองต่อผู้ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อตาและระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความสกปรกต่อที่อยู่อาศัยและภาชนะที่ใช้ในการหุงต้ม ซึ่งบางครั้งก็ยากที่จะทำความสะอาด ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงแก้ไขควันที่เกิดจากการใช้ไม้พิน โดยแปรรูปพินให้กลายเป็นถ่านเสียก่อน

การทำให้ไม้เป็นถ่านนั้น แตกต่างจากการใช้พลังงานจากไม้พินโดยตรง คือ การแปรรูปไม้พินให้เป็นถ่าน เป็นกระบวนการที่ต้องการผลผลิตที่เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณภาพสูงกว่าไม้พิน หรือที่เรียกว่า ถ่าน (charcoal) มากกว่าต้องการพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ของไม้พิน ในกระบวนการผลิตถ่านจึงจำเป็นต้องจำกัดจำนวนออกซิเจนหรืออากาศที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยาการสันดาป ให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งจะได้ผลผลิตที่สำคัญ จากการเผาได้แก่ ถ่าน และสารต่าง ๆ มากกว่า 200 ชนิดในรูปของก๊าซ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) อีเทน (C₂H₆) ในรูปของเหลว ได้แก่ น้ำ (H₂O) เมทิลแอลกอฮอล์ (CH₃OH) กรดอะซิติก (CH₃CO₂H) เป็นต้น และน้ำมันดิน (tar) ปริมาณของถ่านที่ได้จากการเผาสามารถหาได้จาก

$$\text{ผลผลิตถ่าน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของถ่านที่ได้}}{\text{น้ำหนักของไม้พิน ที่ใช้ทั้งหมด} - \text{น้ำหนักของส่วนที่ไม่เป็นถ่าน}} \times 100$$

โดยปกติการนำไม้พิน ไปแปรรูปให้เป็นถ่าน จะได้ถ่านเพียงประมาณ 20-30% โดยน้ำหนักของไม้แห้งเท่านั้นหรือประมาณ 33-60% โดยปริมาตร ความแปรปรวนของผลผลิตถ่าน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ลักษณะรูปร่างของไม้ ปริมาณความชื้นของไม้พิน ชนิดของเตาเทคนิคในการเผาและระดับอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้เผา เป็นต้น

ตารางที่ 9 แสดงความแปรปรวนของถ่านที่ได้จากการเผาโดยชนิดเตาที่แตกต่างกัน (วิจิตร, 2542 ลักษณะไม้, 2542)

ชนิดเชื้อเพลิง	ชนิดของเตา	ผลผลิต (%)	ค่าความร้อน แคลอรี/กรัม	อัตราการเผาไหม้ กรัม/นาที	ประสิทธิภาพ (%)	งานที่ได้
ข้อไม้ไผ่	เตาถังเดี่ยว	33.88	6993	7.22	27.19	2.47
	เตาอิฐ	35.18	7198	7.62	31.98	3.28
ปล้องไม้ไผ่	เตาถังเดี่ยว	19.31	7261	5.37	23.54	2.11
	เตาอิฐ	23.83	7308	6.82	27.19	2.68
ไม้เสม็ด	เตาพื้นบ้าน	29.46	6951	7.16	26.68	2.36
	เตาอิฐมาตรฐาน	34.18	7316	6.61	28.81	2.87

สมบัติทางเคมีของถ่านที่แปรสภาพจากไม้พื้น

ตามที่ได้เคยกล่าวมาแล้วว่าองค์ประกอบของผนังเซลล์ของไม้ ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักของโมเลกุล ซึ่งเมื่อไม้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสจะทำให้คาร์บอนที่มีอยู่เปลี่ยนแปลงไป ปริมาณคาร์บอนที่มีในไม้และของแข็งที่แปรสภาพมาจากไม้หลังเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส เรียกว่า คาร์บอนเสถียร หาได้จาก

$$\text{ปริมาณคาร์บอนเสถียร (\%)} = 100 - [\text{ปริมาณสารระเหย (\%)} + \text{ปริมาณขี้เถ้า (\%)}]$$

โดยทั่วไปถ่านจะมีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 0.2-0.5 ความพรุน 70-75% ความชื้น 1-16% (เฉลี่ยประมาณ 10% ในสภาวะที่ไม่สัมผัสกับน้ำโดยตรง) จุดติดไฟ 240-250°C และค่าความร้อนประมาณ 6,800-7,200 แคลอรีต่อกรัม ต่ำกว่าคาร์บอนล้วนซึ่งให้ความร้อน 7,900 แคลอรีต่อกรัม ทั้งนี้เนื่องจาก คาร์บอนเสถียรในถ่านไม่ใช่คาร์บอนแท้ๆ ที่บริสุทธิ์ ซึ่งมีอยู่เพียง 80-90 % โดยน้ำหนักและยังมีสิ่งที่ยังหลงเหลืออยู่ ได้แก่ สารที่ระเหยได้ (volatile matter) และขี้เถ้า (ash) ประมาณ 0.5 -10 % (Meyers and Jennings, 1979)

สารระเหยที่พบในถ่าน จะมีอยู่ประมาณ 7-30 % โดยน้ำหนัก ซึ่งน้อยกว่าในไม้มาก และเมื่อนำถ่านไปให้ความร้อนที่ 750°C ในเตาไฟฟ้าจะได้ก๊าซต่างๆ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 9% คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ประมาณ 20% ไฮโดรเจน (H₂) ประมาณ 64% และไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ (C_nH_m) ประมาณ 7%

สำหรับขี้เถ้า (ash) ซึ่งเป็นส่วนของสารอนินทรีย์ (Inorganic constituents) ที่เหลืออยู่หลังจากทำการเผาถ่านที่อุณหภูมิ 950 °C มีประมาณ 0.5-10% ซึ่งจากการตรวจสอบหาสารอนินทรีย์ ในถ่านโดยใช้เครื่องมือ Neutron Activation Analysis (NAA) พบว่ามีสารอนินทรีย์ต่างๆ เช่น Al Ba Br Ca Ce Cl Co Cr Eu Fe K Mg Mn Na Rb Zn Cu Sr V สารอนินทรีย์เหล่านี้

จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นปกติโดยตรงกับอุณหภูมิที่ใช้เผาไหม้ และอาจพบในรูปของสารประกอบต่างๆ ในซีเมนต์ SiO_2 15-25 % CaO 25-30 % MgO 6-7 % Al_2O_3 2-4 % Fe_2O_3 3-5 % Mn 0.5 % Na_2O 1-2 % K_2O 10-15 % P (as P_2O_5) 1-3 % S 0.05-0.06 % (Meyers and Jennings, 1979) ปริมาณของซีเมนต์และชนิดของสาร อนินทรีย์ในซีเมนต์มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพและผลผลิตในการเผาถ่าน การใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง ตลอดจนการนำซีเมนต์ไปใช้ประโยชน์ในทางทางการเกษตร อย่างไรก็ตามเป็นที่เข้าใจกันว่าปริมาณของสาร อนินทรีย์ แม้นไม้ชนิดเดียวกันก็อาจแปรปรวนได้มากเนื่องมาจากท้องถิ่น ไม้ขึ้นอยู่

การเผาไม้ด้วยความร้อนในที่อบอุ่นอากาศ จะทำให้มีปริมาณคาร์บอนเสถียรเพิ่มมากขึ้น ถ่านที่ใช้ในการค้าจะมีปริมาณคาร์บอนไม่ต่ำกว่า 80 % แต่ถ้าทำการเผาที่อุณหภูมิต่ำเกินไป คือ $300-350^{\circ}\text{C}$ จะได้เชื้อเพลิงแข็งจากไม้ที่มีปริมาณคาร์บอนเสถียรในถ่านต่ำกว่า 65 % เช่น การเผาไม้ยูคาลิปตัสที่อุณหภูมิ 300°C ในเตาไฟฟ้า แม้ว่าจะใช้เวลาในการเผาเพิ่มขึ้นก็ไม่สามารถทำให้ได้ผลผลิตที่มีคาร์บอนเสถียรสูงถึง 80 % ในเตาในทางกลับกัน ถ้าหากเพิ่มอุณหภูมิในการเผา จะทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณคาร์บอนเสถียรสูงขึ้นได้และการที่ถ่านไม้มีปริมาณคาร์บอนเสถียรสูงขึ้นส่งผลให้ความร้อนของการสันดาปของถ่านไม้ สูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 10 แสดงค่าสมบัติทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัสที่เปลี่ยนไปหลังจากการเผาในเตาไฟฟ้า (วิชนี, 2540 ข.)

สมบัติทางเคมี	ก่อนเผา	หลังเผาที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)			
		200	300	400	500
สารระเหย (%)	87.2	82	42.5	30	19.0
ปริมาณซีเมนต์ (%)	0.07	0.28	0.84	1.4	1.28
คาร์บอนเสถียร (%)	12.73	17.72	56.66	68.6	79.72
ความร้อน ของการสันดาป(แคลอรี/กรัม)	4,183	4,350	6,250	6,600	7,200
ปริมาณผลผลิต (%)	100	91	49	34.5	27

ตารางที่ 11 แสดงค่าสมบัติทางเคมีของไม้ยูคาลิปตัสที่เปลี่ยนไปหลังจากการเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 300° ซ ที่เวลาต่าง ๆ กัน (วิชณี, 2540 ก.)

สมบัติทางเคมี	ก่อนเผา	หลังเผาที่เวลา (นาที)				
		30	60	120	180	240
สารระเหย (%)	87.2	76	42.5	41	40	39.5
ปริมาณขี้เถ้า (%)	0.07	0.8	0.84	0.64	0.86	1.04
คาร์บอนเสถียร (%)	12.73	23.2	56.66	58.36	59.14	59.46
ความร้อน ของการสันดาป(แคลอรี/กรัม)	4,183	5,600	6,250	6,250	6,250	6,250
ปริมาณผลผลิต (%)	100	57	49	46	46	47

ตารางที่ 12 แสดงค่าความร้อนของการสันดาปของไม้โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata* Bl.) และโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata* Poir.) และถ่าน ที่ได้จากการเผาด้วยเตาอิฐก่อ ในท้องที่อำเภอกระบุรี จังหวัดพังงา (ธีระชัย, 2528)

ชนิดไม้และถ่าน	ค่าความร้อนที่สภาวะอบแห้ง (แคลอรี/กรัม)	
	ไม้	ถ่าน
โกงกางใบเล็ก	4712.57	6684.47
กิ่งโกงกางใบเล็ก	4594.18	6599.46
รากโกงกางใบเล็ก	4598.91	6686.57
โกงกางใบใหญ่	4759.62	7118.05
กิ่งโกงกางใบใหญ่	4708.91	6772.00
รากโกงกางใบใหญ่	4536.29	7487.25

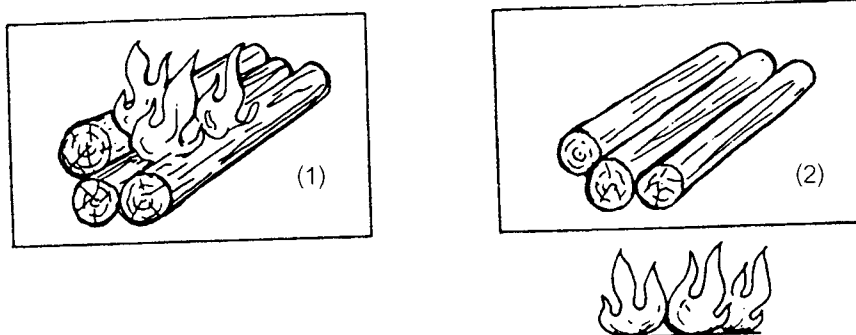
เครื่องมือที่ใช้ในการแปรสภาพไม้พิน การแปรสภาพไม้พินให้เป็นถ่านสามารถทำได้ โดยใช้

1. เตาถ่านหรืออบ (retort or oven method) โดยการนำไม้บรรจุในท่อเหล็ก หรือเตาอบที่ปิดมิดชิด แล้วให้ความร้อนจากภายนอกเพื่ออบไม้ให้เป็นถ่านโดยไม่มีอากาศเข้า เตาชนิดนี้มีราคาสูง และมีต้นทุนในการผลิตสูง ถ่านที่ได้จะมีคุณภาพดี มีปริมาณคาร์บอนเสถียรสูง จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ถลุงเหล็ก

2. เตาเฟอร์เนส (furnace method) เป็นการเคลื่อนไม้ผ่านช่องว่างภายในเตาซึ่งได้รับความร้อนภายใต้สภาวะที่ควบคุม เป็นเตาที่พบมากในห้องปฏิบัติการ

3. เตาเผา (kiln method) โดยการเผาไหม้ที่จะทำให้เป็นถ่านในเตาให้ติดไฟบางส่วน เพื่อนำความร้อนนี้ไปเปลี่ยนไม้ให้เป็นถ่าน

จะเห็นว่าเตากลั่นหรืออบ และเตาเฟอร์แนซ เป็นเครื่องมือที่ใช้ความร้อนจากภายนอก มาทำให้ไม้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อให้องค์ประกอบทางเคมีของไม้สลายตัว เกิดสารระเหยต่างๆ มากมายหลายชนิด สารระเหยเหล่านี้ไม่ถูกเผาไหม้โดยเปลวไฟทำให้สามารถเก็บมาใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้ กระบวนการนี้ เรียกว่า การกลั่นทำลายไม้ (destructive distillation) ซึ่งผลผลิตหลักที่ได้จะเป็น ก๊าซและของเหลว เช่น กรดน้ำส้ม เมทิลแอลกอฮอล์ กรดฟอร์มิก ส่วนถ่านเป็นผลผลิตรองหรือ วัตถุพลอยได้ (by product) แต่อย่างไรก็ดี ถ่านที่ได้จากการกลั่นทำลายไม้นั้น ก็มีค่าความร้อนของการสันดาปและปริมาณคาร์บอนเสถียรสูง เช่น การกลั่นทำลายไม้กระถินณรงค์ที่ โดยใช้ เตาเฟอร์แนซ ที่อุณหภูมิ 400°C จะได้ถ่าน 30.74 % และถ่านที่ได้นั้นมีค่าปริมาณคาร์บอนเสถียร 70.26 % ให้ค่าความร้อนของการสันดาปเพิ่มขึ้นจาก 4,387 แคลอรี/กรัม เป็น 5,414 แคลอรี/กรัม (ทัศนีย์ และคณะ, 2524)



ภาพที่ 22 แสดงลักษณะจำลองของการให้ความร้อนในเตาเผา (1) และในเตากลั่นหรืออบ (2)

สำหรับการใช้เตาเผาในการแปรรูปไม้ให้เป็นถ่านแม้จะใช้หลักการเดียวกันกับการกลั่นทำลายไม้ คือ จะต้องทำให้ไม้มีอุณหภูมิสูง เพื่อจะให้องค์ประกอบทางเคมีของไม้สลายตัว แต่การใช้เตาเผาจะใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของไม้ในเตา จึงเป็นการยากที่จะเก็บก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นในเตาเผา เนื่องจากก๊าซจะถูกเผาไหม้ด้วยเปลวไฟภายในเตา และแม้ว่าการใช้เตาเผาจะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ยากกว่าเตากลั่นหรืออบ และเตาเฟอร์แนซ ก็ตาม แต่ในการแปรรูปไม้ให้เป็นถ่านก็ยังคงนิยมที่จะใช้เตาเผา เนื่องจาก เป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายในเรื่องของค่าเครื่องมือและค่าประกอบการต่ำ เตาเผาถ่านที่ใช้อยู่ทั่วไปอาจมีรูปแบบต่างๆ กันออกไป แบ่งออกเป็น

1. เตาถาวร ได้แก่ เตาดินเหนียว เตาอิฐ มักจะใช้ในอุตสาหกรรมผลิตถ่าน เพราะ เป็นเตาที่ให้ผลผลิตสูง โดยปกติจะให้ผลผลิตประมาณ 35 % ในขณะที่มีค่าลงทุนต่ำ และหาวัสดุในการก่อสร้างเตาได้ง่าย

2. เตาไม้ถาวร ได้แก่ เตาแลกเปลี่ยน เตาซีเลื่อยกลบ เตาดินกลบ เป็นเตาที่มักใช้ในการเผาถ่านเพื่อใช้สอย เพราะ เกือบจะไม่มีต้นทุนในการก่อสร้างเตา และวิธีการก่อสร้างเตาก็ไม่ยุ่งยาก เพียงแต่ขุดหลุม ลงไปในดิน เพื่อใส่ไม้ฟืนแล้วนำวัสดุต่างๆ เช่น ซีเลื่อย กลบ ดิน หญ้า มากลบแล้วเผา ก็จะได้ถ่าน เตาประเภทนี้จะให้ผลผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเตาดินกลบจะเป็นเตาที่ให้ผลผลิตถ่านต่ำสุด คือ 10 %

3. เตาเคลื่อนที่ได้ ได้แก่ เตามาร์คไฟว์ และเตาถังน้ำมันแบบต่างๆ เป็นเตาที่สะดวกในการใช้งานเพราะสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในที่ต่างๆ ได้

การแปรรูปไม้ฟืนหรือเชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวลให้เป็นถ่าน โดยใช้เตาต่างชนิดกัน หรือวิธีแตกต่างกันจะทำให้ผลผลิตปริมาณต่างกันและผลผลิตมีค่าความร้อนรวมทั้งประสิทธิภาพในการใช้งานแตกต่างกันไป ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพในการแปรรูปให้เป็นถ่านไม่เท่ากัน ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพ } \% = \frac{Hg_c \times M_c}{Hg_w (M_{OD} + M_F - M_{NC})}$$

Hg_c หมายถึง ค่าความร้อนของถ่าน มีหน่วยเป็น แคลอรี/กรัม

M_c หมายถึง น้ำหนักถ่านก้อน มีหน่วยเป็น กรัม

Hg_w หมายถึง ค่าความร้อนของไม้ฟืนหรือเชื้อเพลิงที่นำมาแปรรูป มีหน่วยเป็น แคลอรี/กรัม

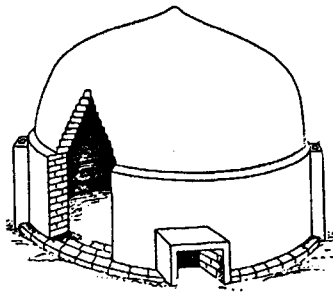
M_{OD} หมายถึง น้ำหนักอบแห้งของไม้ฟืน หรือเชื้อเพลิงที่นำมาแปรรูป มีหน่วยเป็น กรัม

M_F หมายถึง น้ำหนักฟืนหน้าเตาที่ใช้ มีหน่วยเป็น กรัม

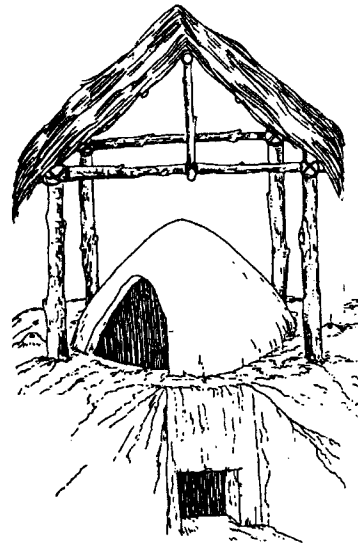
M_{NC} หมายถึง น้ำหนักของสันถ่าน หรือหัวถ่าน มีหน่วยเป็น กรัม

ตารางที่ 13 แสดงผลผลิตและประสิทธิภาพในการผลิตถ่านจากเตาชนิดต่างๆ (ปรีชา และคณะ, 2526)

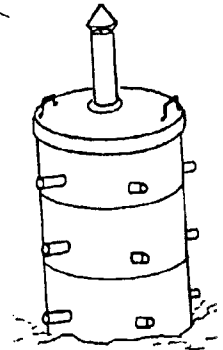
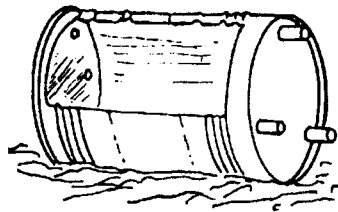
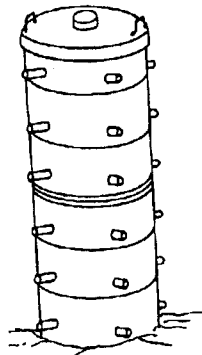
ชนิดของเตา	ผลผลิตถ่าน (%)	ประสิทธิภาพ(%)
มาร์คไฟว์	31.3	47.6
ทองก้า	22.7	36.9
ถังเดี่ยว	23	38.3
ถังคู่	23.9	39.0
แลกเปลี่ยน	22	43
ดินกลบ	19	36
ดินเหนียวก่อ	30	49
อิฐ	33	42



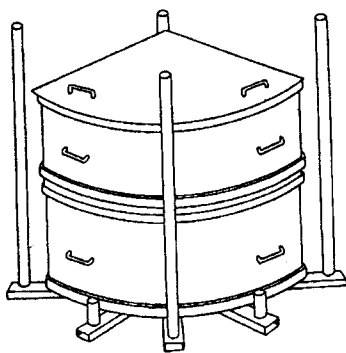
เตาอิฐก่อ



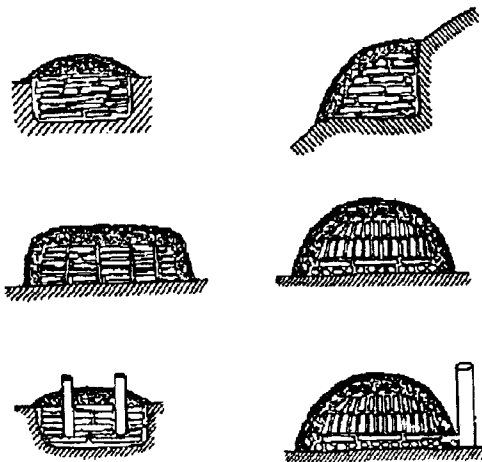
เตาดินเหนียว



เตาดังน้ำมันแบบต่าง ๆ



เตามาร์คไฟ



เตาดินกลบแบบต่าง ๆ

ภาพที่ 23 แสดงรูปแบบต่างๆ ของเตาเผา

การเกิดปฏิกิริยาในการแปรรูปไม้ให้เป็นถ่าน

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การแปรรูปไม้ให้เป็นถ่าน จะต้องใช้ความร้อนมาทำให้องค์ประกอบทางเคมีของไม้สลายตัว แต่เนื่องจากไม้เป็นวัตถุที่มีโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีที่สลับซับซ้อน กระบวนการในการที่ไม้แปรสภาพเป็นถ่านจึงแบ่งออกได้ดังนี้

1. การให้ความร้อนระยะแรก พลังงานความร้อนที่ให้แก่ไม้ในระยะแรกนี้จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำอุ่มและน้ำซบที่หลงเหลืออยู่ภายในเซลล์ไม้ ระเหยออกมา ทำให้ความชื้นของไม้ค่อย ๆ ลดลง เช่นเดียวกับการอบไม้ แต่จะไม่มีน้ำที่เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างไม้เจือปนออกมาเลย การคายความชื้นของไม้พื้น (dehydration) จะใช้เวลามากหรือน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นเริ่มต้นของไม้พื้น ขนาดของไม้พื้น และคุณสมบัติเฉพาะในการแห้งของไม้พื้นชนิดนั้น ๆ ซึ่งหากว่ามีการผึ่งไม้พื้นให้มีความชื้นน้อยลงก่อนเผา ก็จะช่วยลดระยะเวลาในการเผาถ่านได้ อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานความร้อนที่จะต้องใช้ไล่ความชื้นออกไปจากไม้ด้วย พลังงานความร้อนนั้นนอกจากจะทำให้ความชื้นในไม้พื้นระเหยออกมาแล้ว ยังทำให้สารระเหยที่ระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ระเหยออกมาพร้อม ๆ กับความชื้น ซึ่งจะสังเกตปรากฏการณ์ นี้ได้จาก ควันสีขาวของไอน้ำมีที่ลอยออกมาจากเตาเผา

ในการแปรรูปไม้พื้นในเตาเผา ความร้อนที่ใช้ในการทำไม้พื้นมีความชื้นลดลงได้จากการจุดไฟ เพื่อให้บางส่วนของไม้ที่จะทำถ่านเกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ และเกิดความร้อนเพียงพอที่จะไล่ความชื้นออกจากไม้ส่วนที่ยังไม่ไหม้ ดังนั้น ถ้าระยะคายความชื้นของไม้เวลานานจะทำให้ส่วนของไม้ที่ถูกเผาไหม้เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดส่วนของไม้ที่ถูกเผาไหม้เป็นชิ้นเล็กเพิ่มขึ้นด้วย จึงเป็นเหตุให้ผลผลิต ในการแปรรูปไม้พื้น หรือถ่านต่ำลง

2. ระยะที่สองการเกิดเป็นถ่าน (carbonisation) หลังจากความชื้นถูกระเหยออกไปจากไม้จนหมดแล้ว อุณหภูมิจะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งหากปล่อยให้การเผาไหม้นั้นสมบูรณ์ก็จะเกิดเปลวไฟและความร้อนเช่นเดียวกับการสันดาปโดยทั่วไป แต่ในกระบวนการแปรรูปไม้พื้นให้เป็นถ่าน จำเป็นจะต้องมีการจำกัดปริมาณของอากาศ ไม่ให้มีมากเพียงพอจะเกิดการสันดาป เพื่อให้เกิดปรากฏการณ์กลั่นทำลายไม้ ซึ่งไม้พื้นจะกลายเป็นถ่านในที่สุด การเกิดการกลั่นทำลายไม้ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

ปฏิกิริยาความร้อน (thermal reaction) ที่เกิดขึ้นในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 150- 180 °ซ หรือต่ำกว่า 200 °ซ จะเกิด ไพโรไลซิสของเฮมิเซลลูโลสและพวกลิวคานที่ระเหยได้บางชนิดจะถูกไล่ออกไปพร้อมทั้งเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิก และกรดอะซิติกบ้างเล็กน้อย ที่อุณหภูมิ 280 - 350 °ซ จะเกิดไพโรไลซิสของเซลลูโลส ส่วนไพโรไลซิสของลิกนินจะเริ่มที่ 280 °ซ และจะเพิ่มมากขึ้นสูงสุดระหว่าง 350 - 400 °ซ และจะสมบูรณ์ที่ ที่ระหว่าง 450-500 °ซ ช่วงของการแปรสภาพเป็นถ่านจะมีความสำคัญ เพราะถ้าหากควบคุมให้มีการแปรสภาพเป็นถ่านอย่างรวดเร็ว

ที่อุณหภูมิต่ำจะได้ถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนเสถียร 60-80 % และปริมาณสารระเหยสูง ทำให้ถ่านที่ได้จุดติดไฟง่าย เหมาะสำหรับใช้ในครัวเรือน แต่ถ้าทำให้ไม้แปรสภาพเป็นถ่านอย่างช้าๆ โดยใช้อุณหภูมิสูง จะได้ถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนเสถียร 80-90 % และมีสารระเหยหลงเหลืออยู่น้อย ถ่านที่ได้จึงเหมาะสำหรับไปใช้ในอุตสาหกรรม ในขณะเดียวกันถ้าต้องการให้ได้ผลผลิตถ่านสูง จะต้องควบคุมให้มีการแปรสภาพเป็นถ่านอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิต่ำ ในกรณีนี้จะทำค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้นด้วย

การแปรสภาพเป็นถ่าน ไม้พื้จะค่อย ๆ เริ่มเปลี่ยนแปลงสภาพจากที่ผิวไม้ไปสู่ส่วนในของไม้ การเคลื่อนที่ของความร้อนในชั้นไม้พื้ซึ่งสามารถอธิบายโดยกำหนดเขตอุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้

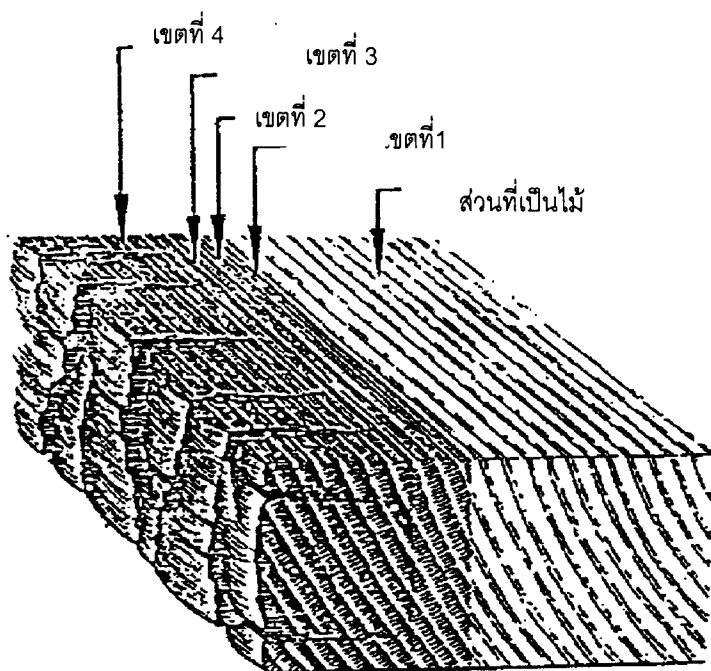
1. การแปรสภาพไม้ให้เป็นถ่านจะเกิดขึ้นที่ผิวไม้ก่อน ที่อุณหภูมิ ต่ำกว่า 200°C ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากที่ไม้ระเหยความชื้นออกไปหมดแล้ว ชั้นไม้ส่วนที่เป็นผิวจะเป็นส่วนที่แห้งที่สุด จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการระเหยของน้ำในส่วนของที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซีของคาร์โบไฮเดรตและลิกนินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำออกมา ชั้นไม้ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะถูกกำหนดให้เป็น เขตที่ 1

2. เมื่อเขตที่ 1 มีอุณหภูมิสูงกว่า 200°C ผิวไม้ที่เคยเป็นเขตที่ 1 จะถูกกำหนดให้เป็น เขตที่ 2 ซึ่งยังคงใช้พลังงานความร้อนจากภายนอก (endothermic reaction) ในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะเริ่มเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส อย่างช้า ๆ กับองค์ประกอบของผนังเซลล์ ในช่วงอุณหภูมิ $200-280^{\circ}\text{C}$ และส่วนที่อยู่ถัดเข้าไปจะกลายเป็นเขตที่ 1 แทน เนื่องจากส่วนในของชั้นไม้มีอุณหภูมิสูงขึ้น

3. เมื่อให้ความร้อนต่อไปอุณหภูมิของผิวไม้จะเพิ่มขึ้นสูงกว่า 280°C ที่ผิวไม้จะกลายเป็น เขตที่ 3 ในเขตนี้เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสจะรุนแรงขึ้น เมื่ออุณหภูมิอยู่ระหว่าง $280-500^{\circ}\text{C}$ และในช่วงนี้เองที่มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาจากไม้ (exothermic reaction) เป็นเหตุให้อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นถ่านและก๊าซที่ได้จากปฏิกิริยาไพโรไลซิส ได้แก่ ไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ การเกิดปฏิกิริยาการปลดปล่อยพลังงานความร้อน หรือ คายความร้อน จะเกิดขึ้นในไม้ใบกว้าง ที่อุณหภูมิ ต่ำกว่าไม้ใบแคบ เนื่องมาจากปริมาณของเพนโตเซนในไม้ใบกว้างที่สูงกว่าไม้ใบแคบ

ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากเขตที่ 2 เป็นเขตที่ 3 อุณหภูมิในเขตที่ 1 ก็จะสูงขึ้นจนกลายเป็นเขตที่ 2 และส่วนที่อยู่ถัดเข้าไปในไม้จะกลายเป็นเขตที่ 1

4. เมื่อผิวของไม้พื้มีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่า 500°C ผิวไม้จะเปลี่ยนแปลงเป็นถ่านที่สมบูรณ์ และจะเกิดก๊าซที่ติดไฟ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน ฟอรัลดีไฮด์ และก๊าซไฮโดรคาร์บอน เป็นเขตสุดท้าย หรือเขตที่ 4 อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง $500-600^{\circ}\text{C}$ ในขณะที่ผิวไม้กลายเป็นถ่าน ส่วนในของไม้ก็มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย จนกลายเป็นเขตที่ 1 เขตที่ 1 จะกลายเป็นเขตที่ 2 และเขตที่ 2 จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นเขตที่ 3



ภาพที่ 24 แสดงการเกิดเขตอุณหภูมิต่าง ๆ ของชิ้นไม้พื้น

การที่ชิ้นไม้พื้นจะกลายเป็นถ่าน ที่สมบูรณ์นั้น บริเวณส่วนในสุดจะต้องมีอุณหภูมิ สูงกว่า 400°C ดังนั้นการเผาถ่านไม้โดยทั่วไปจะใช้ไม้ที่มีขนาดเล็กเพราะจะแปรสภาพให้เป็นถ่านได้ง่ายกว่าไม้ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งในทางปฏิบัติขนาดของไม้ที่ใช้เผาถ่านจะมีความยาวประมาณ 30-50 ซม. และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 30 ซม. ถ้าหากไม้มีขนาดใหญ่และเป็นไม้ที่แห้งยากควรทำการผ่าซีก ๆ เสียก่อน เพื่อให้ไม้กลายเป็นถ่านได้เร็วขึ้น

ถ่านไม้ที่เกิดขึ้นเป็นผลสืบเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาการกลั่นทำลายที่สมบูรณ์ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดการกลั่นทำลายไม้ สังเกตได้จาก ลักษณะของควัน ซึ่งพอจะสังเกตสีของควันที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

ควันเป็นสีขาว แต่ยังไม่หนามาก และไม่มียากลื่นจนแสบจมูก เป็นช่วงที่ความร้อนได้ ความชื้นออกจากไม้ ระยะนี้ต้องคอยใส่ฟืนหน้าเตาอยู่เรื่อยๆ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 8-12 ชั่วโมง

ควันเป็นสีขาวหนาทึบ มียากลื่นจนแสบจมูก กลิ่นที่เกิดขึ้นเป็นกลิ่นของกรดน้ำส้ม ซึ่งจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิประมาณ $180-200^{\circ}\text{C}$ บอกให้รู้ว่าไม้พื้นส่วนบนเริ่มกลายเป็นถ่าน ซึ่งถ้าหากทำการเผาถ่านโดยใช้เตาเผา ก็จะมีการทำการลดหรือหยุดการสันดาป โดยจำกัดเชื้อเพลิง และอากาศลง ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 15-25 ชั่วโมง และปริมาณควันจะหนาทึบขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิในเตาเผาสูงขึ้น ควันขาวหนาทึบที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยก๊าซต่างๆ รวมทั้งไอน้ำมันดินมากมาย

ควันเป็นสีเทา เริ่มจะมียางไม้สีดำที่เรียกว่าน้ำมันดิน (tar) เกิดขึ้นจับที่ปล่องควัน แสดงว่าไม้เริ่มกลายเป็นถ่านประมาณ 2 ใน 3 ของเตา ช่วงนี้ใช้เวลาอีก 5-10 ชั่วโมง

ควันเป็นสีฟ้า หรือสีน้ำเงินอ่อน จะสังเกตเห็นว่ายางไม้สีดำเริ่มแห้ง แสดงว่าไม้ใกล้จะกลายเป็นถ่านที่สมบูรณ์แล้ว

ควันใส ซึ่งถ้าเอาไฟฉายส่องลงไปจะมองเห็นกันปล่องชัดเจนแสดงให้เห็นว่าไม้กลายเป็นถ่านหมดแล้ว

ในทางทฤษฎี ถ้าควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงกว่า 500°C จะได้ผลผลิตและคุณภาพของถ่านสูงขึ้น จึงถือได้ว่าปฏิกิริยาช่วงนี้สำคัญมาก ถ้าส่วนในของชิ้นไม้กลายเป็นถ่านไม่หมดก่อนที่อุณหภูมิในเขตที่ 4 จะสูงกว่า 500°C ไม้ส่วนนอกซึ่งกลายเป็นถ่านแล้วจะทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ซึมออกมาจากภายใน ซึ่งเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวของก๊าซกับคาร์บอนของถ่าน ทำให้ส่วนที่เป็นถ่านแล้วเกิดสลายตัวไปบางส่วน ส่งผลให้ได้ผลผลิตของถ่านต่ำลง และได้ก๊าซต่างๆ เพิ่มขึ้นอีก ปฏิกิริยาการเกิดปฏิกิริยาขั้นนี้สามารถจะสังเกตได้จากการเกิดควันที่มีสีฟ้าอ่อนจางๆ มีลักษณะบางเบา เนื่องมาจากการสันดาปของถ่าน และการสลายตัวของก๊าซออกจากไม้ซึ่งจะมีปริมาณน้อยมาก หากปล่อยให้มีความชื้นเข้าไปทำปฏิกิริยาสันดาปต่อไปอีกถ่านจะเกิดการสันดาปกลายเป็นขี้เถ้ามาก จึงจำเป็นต้องปิดกันมิให้มีความชื้นเข้าไปในระบบได้ เมื่อไม่มีความชื้นปฏิกิริยาต่างๆ ก็หยุดและอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงจนถึงอุณหภูมิปกติ ในกระบวนการแปรรูปไม้ให้เป็นถ่านโดยใช้เตาเผา เรียกว่าการปิดเตา โดยจะทำการปิดปล่องควันทุกปล่อง พร้อมๆ กับการอุดรอยแตกทั่วให้สนิท ซึ่งอาจใช้น้ำมันดินค่อยไล่ให้ทั่วบนตัวเตา ซึ่งจะทำให้เตาค่อยๆ เย็นลง ระยะเวลาที่ถ่านในเตาเผาเย็นลงขึ้นอยู่กับอัตราการนำความร้อนผ่านผนังเตาเผาออกข้างนอก ถ้าผนังเตาทำด้วยเหล็กซึ่งเป็นตัวนำที่ดี ถ่านจะเย็นลงรวดเร็วมาก ถ้าผนังเตาทำด้วยอิฐก็เย็นช้าหน่อย เตาที่มีขนาดเล็กเย็นลงได้รวดเร็วกว่าเตาขนาดใหญ่ การเปิดเตาเพื่อเอาถ่านออกมาใช้จะกระทำได้เมื่อเตาถ่านเย็นลงถึงประมาณ $60-70^{\circ}\text{C}$ เพราะถ้าเปิดเตาในขณะที่ถ่านยังมีอุณหภูมิสูงกว่านี้ สัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ ถ่านจะลุกเป็นไฟขึ้นเองได้อีก (spontaneous combustion)

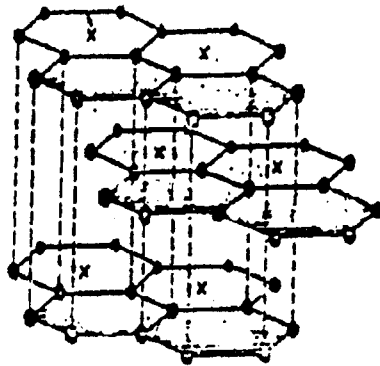
ลักษณะที่เปลี่ยนไปของไม้เมื่อกลายเป็นถ่านไม้

ถ้ามองทางด้านหน้าตัดของถ่านที่ได้จากการแปรรูปไม้พื้น จะเห็นรอยแตกทางด้านรัศมี ซึ่งอาจมีน้ำมันดินหรือวัตถุพลอยได้อย่างอื่นที่ได้จากการเผาไม้ติดค้างอยู่ในช่องว่างของเซลล์บ้าง ส่วนพวกสารแทรกเดิมที่อุดอยู่ภายในพอร์ (pore) ถูกไหม้เกรียมจนเปราะหลุดหายไปบ้าง

ลักษณะโครงสร้างของผนังเซลล์ซึ่งเดิมในไม้พื้นจะแบ่งออกเป็น ผนังเซลล์ปฐมภูมิ และทุติยภูมิ ซึ่งประกอบด้วย S_1 S_2 S_3 นั้น เมื่อกลายเป็นถ่านไม้ผนังเซลล์ปฐมภูมิและทุติยภูมิจะถูกทำลายไปกลายเป็นผนังเซลล์ที่มีเนื้อเดียวกัน และสารเชื่อมระหว่างเซลล์ (middle lamella) ก็จะละลายติดกับผนังเซลล์ ทำให้เกิดช่องว่างโดยรอบเซลล์ขึ้น ขนาดและความหนาของแต่ละ

เซลล์ก็ลดลงด้วย อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีลักษณะเดิมของผนังเซลล์ที่พอสังเกตเห็นได้คือหลุมผนังเซลล์ (pit) แต่เยื่อบาง (margo) ถูกทำลายไป เหลือแต่ปมเยื่อ (torus) ติดอยู่ ขนาดของปากหลุมผนังเซลล์ก็เล็กลงด้วย สำหรับหลุมผนังเซลล์ชนิด aspirated ปมเยื่อจะเชื่อมติดกับผนังเซลล์และอุดปากหลุมไว้

ถ้าดูที่ผนังเซลล์จะเห็นว่าลักษณะของผิวเดิมที่เป็นโครงสร้างเส้นใยหายไป กลายเป็นผนังเรียบที่ไม่เป็นระเบียบ (amorphous structure) องค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ ซึ่งแต่เดิมประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ แต่เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปไม้พื้ทำให้ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน สลายตัว คาร์บอนที่เหลืออยู่เนื่องจากการ สลายตัวของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จะมีการจับตัวกันใหม่กลายเป็นของแข็งที่มีโครงสร้างคล้าย ๆ แกรไฟท์เรียกว่า “ถ่าน” และถึงแม้ องค์ประกอบทางเคมีของไม้จะสลายตัวเนื่องจากความร้อน แต่ถ่านไม้ก็ยังคงรักษาลักษณะทางกายวิภาค (Anatomical features) ของไม้ดั้งเดิมที่นำมาเผาได้ และเพียงพอที่จะวินิจฉัยว่าเป็นไม้ชนิดใด



ภาพที่ 25 แสดงโครงสร้างของแกรไฟท์ แต่ละชั้นโมเลกุล ประกอบด้วย คาร์บอนยึดกันแข็งแรงมาก ระหว่างชั้นยึดกันไม่แข็งแรงนัก

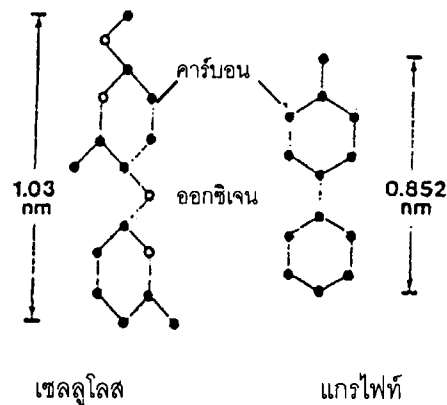
คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงเมื่อไม้กลายเป็นถ่าน

วัตถุประสงค์หลักที่นำไม้พื้ไปแปรรูปให้เป็นถ่าน ก็เพื่อให้มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงที่ดีขึ้น ถ่านที่ได้ นอกจากมีปริมาณคาร์บอนเสถียร ค่าความร้อนของการสันดาปสูงขึ้นแล้ว ยังมีปริมาณสารระเหยลดลงอีกด้วย ซึ่งทำให้ไม่เกิดควันและกลิ่นเมื่อนำไปใช้งาน การที่ถ่านไม้มีโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีที่เปลี่ยนไปส่งผลให้ถ่านไม้มีคุณสมบัติอื่นๆ ที่เปลี่ยนไปอีกได้แก่

1. การสูญเสียมวล (mass loss) ในการแปรรูปไม้ให้เป็นถ่าน มวลของไม้จะสูญเสียไปประมาณ 65 – 70 % ของน้ำหนักไม้แห้ง เนื่องจากการสูญเสียความชื้นและองค์ประกอบทางเคมี

ไป การสลายตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารแทรก ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลในการสูญเสียมวลทั้งสิ้น การผลิตถ่านที่ดีจะช่วยให้การสูญเสียมวลน้อยลง

2. การเปลี่ยนแปลงขนาด ลักษณะโครงสร้างของผนังเซลล์ถูกเปลี่ยนแปลง ตลอดจนขนาดและความหนาของแต่ละเซลล์ก็ลดลง ทำให้ถ่านที่ได้จากการแปรรูปไม้พื้มีการหดตัวทั้ง 3 ด้าน คือทางด้านสัมผัส (tangential) ทางด้านรัศมี (radial) และทางด้านยาว (longitudinal) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหดตัวทางด้านยาว (longitudinal) ซึ่งเกิดขึ้นมากกว่าการหดตัวของไม้ธรรมชาติ จากสภาพสดถึงอบแห้งเกือบ 100 เท่า เนื่องจากโมเลกุลเซลลูโลสของไม้สูญเสียออกซิเจนระหว่างหน่วยกลูโคส และจับกันใหม่ด้วยโควาเลนต์พันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนเมื่อกลายเป็นถ่าน และเกิดโครงสร้างใหม่ที่มีลักษณะคล้ายโมเลกุลของแกรไฟท์ (graphite) ซึ่งมีความยาวน้อยกว่าความยาวของเซลลูโลส

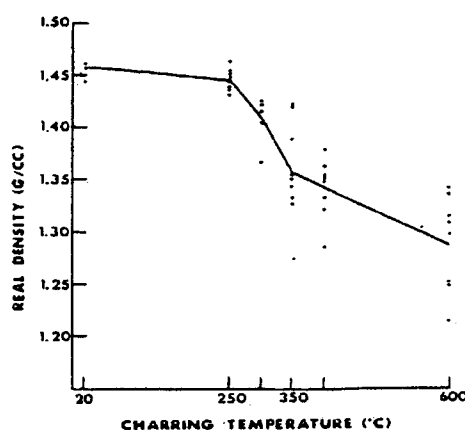


ภาพที่ 26 แสดงลักษณะโครงสร้างและความยาวของสองหน่วยโมเลกุลของเซลลูโลส และแกรไฟท์

3. ความพรุน (Porosity) การที่ผนังเซลล์ปฐมภูมิและทุติยภูมิจะถูกทำลายไปกลายเป็นผนังเซลล์ที่มีเนื้อเดียวกัน ขนาดและความหนาของแต่ละเซลล์ลดลง ในขณะเดียวกันสารเชื่อมระหว่างเซลล์ (middle lamella) ก็ละลายติดกับผนังเซลล์ ทำให้เกิดช่องว่างโดยรอบเซลล์ขึ้น ทำให้เมื่อไม้กลายเป็นถ่านจึงมีรูพรุนเพิ่มขึ้น

4 การเปลี่ยนแปลงความแน่น ถ่านที่ผลิตจากพื้สดมีแนวโน้มจะมีความหนาแน่นสูงกว่าถ่านที่ผลิตจากพื้แห้ง (ปรีชาและคณะ, 2526) อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นของถ่านที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าไม้พื้ เนื่องจากจากการที่ไม้สูญเสียมวล (ข้อ 1) และถ่านก็มีความพรุนเพิ่มขึ้น (ข้อ 3) พร้อมๆ กับการเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้เนื่องจากการเผาถ่าน (ข้อ 2) ทำให้ความแน่นของถ่านเปลี่ยนไปด้วย ในสภาพการกลั่นทำถ่านไม้ที่ขาดออกซิเจนและอัตราการระเหยของก๊าซเป็นไปอย่างรวดเร็ว ความแน่นของถ่านที่ได้จะค่อยๆ ลดลงขณะที่อุณหภูมิที่ใช้เผาเพิ่มขึ้น อัตราการลด

จะมากที่สุดระหว่าง 250-350°ซ เมื่อจัดผลกระทบของความพรุนออกไปโดยเปรียบเทียบ น้ำหนักอบแห้งกับปริมาตรที่แท้จริงของเนื้อถ่าน (ไม่รวมถึงช่องอากาศ) ก็จะได้ความแน่นแท้จริง (real density) ของถ่าน ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแท้จริงของเนื้อถ่านกับอุณหภูมิที่ใช้เผา ที่อัตราเพิ่มความร้อน 1°ซ ต่อนาที ได้แสดงไว้ในภาพที่ 27 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการลดของความแน่นแท้จริงจะมากที่สุดระหว่างอุณหภูมิ 250-350 °ซ เช่นกัน



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงความแน่นแท้จริงของเนื้อถ่าน (เจลี่ยจากไม้หลายชนิด) ตามอุณหภูมิที่ใช้เผา ที่อัตราการเพิ่มความร้อน 1°ซ ต่อนาที (Cutter et al., 1981)

5. การดูดคายความชื้น (sorption characteristics) จากการเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีในถ่าน ทำให้จุดหมด (fiber saturation point) ของถ่านที่เผา ณ อุณหภูมิ 400 และ 600°ซ มีประมาณ 14-15% ซึ่งน้อยกว่าไม้ธรรมชาติทั่วไปประมาณ 50% การดูดและคายความชื้นของถ่านมีลักษณะใกล้เคียงกับไม้ แต่เมื่อปริมาณความชื้นในอากาศมีมาก หรือความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 30 % ถ่านจะดูดและคายความชื้นน้อยกว่าไม้ จะเห็นได้ว่าความสามารถในการดูดและคายความชื้นของถ่านลดลง ต่อเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ที่ 80 % ความชื้นในอากาศอาจจะเข้าไปเกาะในรูพรุนของถ่านซึ่งมีมากกว่าไม้ได้เพิ่มขึ้น

6. ความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistivity) คุณสมบัติของไม้โดยทั่วไปจะเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเมื่อมีความชื้นน้อย และจะต้านกระแสไฟฟ้าได้ดีที่สุด เมื่อไม่มีความชื้นอยู่ในไม้เลย (ค่าความต้านทานไฟฟ้า = 10^{17} ถึง 10^{18} โอห์ม-ซม.) ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าดีเทียบเท่ากับฉนวนไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในขณะนี้ เช่น แผ่นเบคัลไลท์ (bakelite) ซึ่งใช้เป็นแผงต่อวงจรไฟฟ้า เมื่อไม้ได้รับความร้อนจนเกิดการสลายตัวของโครงสร้างองค์ประกอบ ทางเคมี ทำให้ความเป็นฉนวนดังกล่าวจะลดลงอย่างรวดเร็วตามอุณหภูมิที่ใช้เผา การเผาไม้ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ถ่านที่ได้มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำจึงสามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าถ่านที่เผาโดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งถ่าน

ไม้ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิใกล้ 900°ซ สามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าวัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบทุกชนิด คุณสมบัติที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีของถ่านไม้ ทำให้สามารถใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ตรวจดูโครงสร้างของถ่านได้โดยตรง โดยไม่ต้องนำตัวอย่างถ่านไปเคลือบโลหะอย่างที่ต้องทำกับตัวอย่างไม้ หรือตัวอย่างวัสดุอื่นที่ไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า

คุณสมบัติในการใช้งานของถ่าน

ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงแข็งอีกชนิดหนึ่งที่มีผู้นิยมไปใช้ในการหุงต้มในครัวเรือน เนื่องจากไม่มีควันเกิดขึ้นในระหว่างใช้งาน หรืออาจนำไปใช้ในการถลุงเหล็กเนื่องจากปริมาณกำมะถันอยู่น้อยมาก ทำเกิดอากาศเป็นพิษน้อยลง การเผาถ่านด้วยกรรมวิธีที่ต่างกันที่ต่างกัน ความร้อนในเตาสูงต่ำต่างกัน ทำให้ถ่านมีคุณภาพต่างกัน หรือแม้แต่การเผาไม้พืชนชนิดเดียวกันในเตาเดียวกันยังพบว่า ปริมาณคาร์บอนเสถียรของถ่านภายในเตาเดียวกันจะมีค่าแตกต่างกัน ตามความสูงของเตาได้ เช่นบริเวณส่วนบนเตา มีคาร์บอนเสถียร 85 % กลางเตา 80% และส่วนล่างของเตา มี 75-79 % ดังนั้นถ่านที่ได้จากแหล่งผลิต และชนิดไม้ที่ต่างกันจึงมีคุณภาพที่ต่างกัน ถ่านไม้ที่เป็นที่ประสงค์ของตลาด ควรเป็นถ่านที่มีน้ำหนักความหนาแน่นสูง ให้ค่าความร้อนสูง ก้อนถ่านแข็งแรง ไม่ปรียุ่ยหรือเป็นผงง่าย มีขี้เถ้าและควันน้อย ซึ่งโดยปกติถ่านที่มีปริมาณสารระเหยอยู่น้อยกว่า 25%จะเป็นถ่านที่ไม่มีควัน หลังจากติดแล้วคุไฟอยู่ได้นานหรือมอดไฟช้า ไม่ควรมีการระเบิดหรือแตกปะทุขณะติดไฟ มีปริมาณความชื้นต่ำและมีสิ่งเจือปนอื่นๆ อยู่น้อย มีความแกร่ง มีสีมันวาว เคาะแล้วมีเสียงดังกังวาน

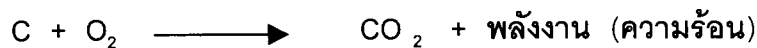
โดยทั่วไปถ่านที่ใช้ในครัวเรือนควรที่จะเป็นมีปริมาณคาร์บอนเสถียรไม่สูงนักเพราะถ่านที่มีปริมาณ คาร์บอนเสถียรมาก จะให้ค่าความร้อนสูง แต่จะมอดไฟเร็วกว่าถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนเสถียรต่ำกว่า ในการเลือกซื้อหาถ่านมาใช้ในครัวเรือนนั้น อาจเลือกซื้อถ่านจากลักษณะที่สังเกตได้ชัดเจน คือ

1. ควรเป็นถ่านหนัก หรือมีความหนาแน่นสูง เพราะถ่านที่เบา จะมอดเร็วกว่าและมักจะให้พลังงานความร้อนต่อหน่วยปริมาตรน้อยกว่าถ่านที่หนัก
2. มีความแกร่ง ไม่แตกยุ่ย มีสีมันวาว เคาะแล้วมีเสียงดังกังวาน เพราะลักษณะเหล่านี้บ่งบอกให้รู้ว่า ถ่านนั้นผ่านกระบวนการเผาถ่านมาอย่างสมบูรณ์ทั้งก้อน ไม่ใช่สันถ่าน ซึ่งหากนำไปใช้งานแล้วจะเกิดควันน้อยกว่าถ่านดิบ หรือสันถ่าน
3. ไม่เป็นถ่านที่มีความชื้นสูง หรือถ่านเปียก เพราะจะทำให้ติดไฟยาก มีควันมากและให้ปริมาณความร้อนต่ำ

บทที่ 5

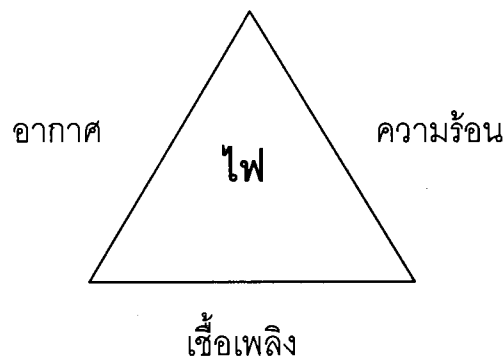
การใช้พลังงานจากไม้ฟืน

การจะทำให้พืชหรือส่วนต่าง ๆ ของพืช ไม่ว่าจะเป็น ฟืน เศษไม้ ใบไม้ เศษไม้ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ปลดปล่อยพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่เก็บไว้ กลับคืนมาในรูปของแสงและความร้อน สามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ทำให้รวดเร็วที่สุด คือ การเผาไหม้โดยตรง (direct combustion) หรือ การสันดาปโดยการเติมออกซิเจนกลับเข้าไปในปฏิกิริยา ไม้ก็จะสลายตัวกลับคืนไปเป็นน้ำ กับ คาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยพลังงานความร้อนออกมาให้มนุษย์ใช้ประโยชน์



ซึ่งมนุษย์รู้จักใช้พลังงานความร้อนจากพืชมาตั้งแต่ มนุษย์เริ่มรู้จักใช้ไฟ โดยการนำไม้มาเป็นเชื้อเพลิง ที่เราเรียกว่า ฟืน

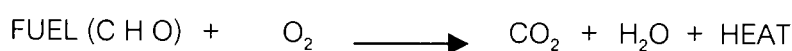
ไฟจะเกิดขึ้นได้ จะประกอบด้วยองค์ประกอบ สำคัญ 3 ประการได้แก่ อากาศ เชื้อเพลิง และ ความร้อน ซึ่งแสดงได้ด้วย สามเหลี่ยมไฟ (fire triangle) ซึ่งถ้าองค์ประกอบไม่ครบ ก็จะไม่เกิดเปลวไฟขึ้น และจะไม่เกิดการสันดาป



ภาพที่ 28 แสดงสามเหลี่ยมไฟ ซึ่งประกอบด้วย เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อน

ถ้าทดลองจุดไม้ขีดแล้วนำไปเผากระดาษที่เปียก จะพบว่า กระดาษไม่ติดไฟ แต่ถ้าใช้กระดาษแห้ง ก็เกิดการจุดติดไฟ (ignite) ปรากฏการณ์เช่นนี้สามารถอธิบายโดยใช้สามเหลี่ยมไฟได้ คือ เหตุที่กระดาษเปียกไม่ติดไฟ ก็เนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากไม้ขีดไม่สูงพอที่จะทำให้กระดาษเปียกติดไฟ สำหรับเหตุผลที่กระดาษแห้งลุกติดไฟ เพราะ มีองค์ประกอบในการเกิดไฟครบ 3 อย่าง คือ กระดาษแห้งเป็นเชื้อเพลิง ไม้ขีดเป็นตัวให้ความร้อนที่สูงพอที่กระดาษจะติดไฟ และการลุกไหม้นั้นเกิดขึ้นในขณะที่มีออกซิเจนเพียงพอ ซึ่งถ้าหากกระดาษไหม้ไฟไปทั้งหมดและ ไม่มีการเพิ่มกระดาษซึ่งเป็นเชื้อเพลิง ไฟก็จะดับและเช่นเดียวกันหากมีการจำกัดอากาศโดยการนำดินมาทับกระดาษที่ติดไฟอยู่ ไฟก็จะดับเช่นกัน เนื่องจากขาดออกซิเจน

โดยปกติ การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงจะเกิดขึ้นเมื่อมีการให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิงจนถึงจุดลุกไหม้ (คือประมาณ 300 องศาเซลเซียส) ในที่มีอากาศ หรือ ออกซิเจนที่เพียงพอ หรือที่เรียกว่า การสันดาป ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการสันดาป คือปฏิกิริยาการรวมตัวของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว พร้อมกับเกิดแสงและการคาย ความร้อน และการสันดาปที่สมบูรณ์นั้นจะเกิดขึ้นในที่ที่มีออกซิเจนมากพอ แล้วเกิดเป็น คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเท่านั้น

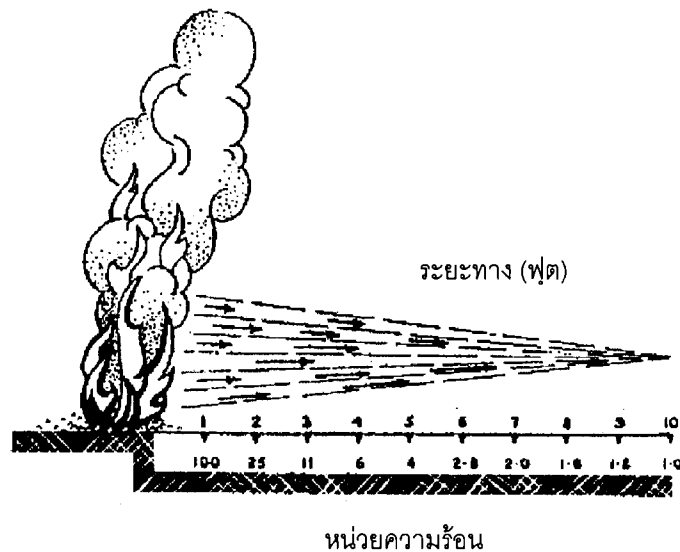


แต่การสันดาปของไม้พื้นั้น แตกต่างจากวัสดุทั่วไป เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีสารอินทรีย์หลายชนิดเป็นองค์ประกอบ และมีโครงสร้างที่สลับซับซ้อน การสันดาปของไม้ เริ่มต้นจากการให้ความร้อนจากภายนอกมาเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ไม้ การให้ความร้อนแก่ไม้อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C (องศาเซลเซียส) แต่มากกว่าอุณหภูมิห้อง ในสภาวะปกติ ความร้อนเหล่านี้จะทำให้ความชื้นของไม้ที่อยู่ในผนังเซลล์ระเหยออกมา ซึ่งทำให้ไม้แห้งขึ้นเท่านั้น ยังไม่ปฏิกิริยาเคมีอย่างใดๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 100-150°C จะเริ่มมีการเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญ แต่เป็นไปอย่างช้า ๆ

ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 150-200°C จะเริ่มมีก๊าซเกิดขึ้น ซึ่งเป็นส่วนผสมของก๊าซที่ไม่ติดไฟ คือคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 70 % และก๊าซที่ติดไฟคาร์บอนมอนอกไซด์ ประมาณ 30% ต่อเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 175°C ไม้จะเริ่มมีสีน้ำตาล และยังมีการเกิดก๊าซต่อไปอย่างช้าๆ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจะให้พลังงานความร้อนประมาณ 1,200 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร (kcal/m³)

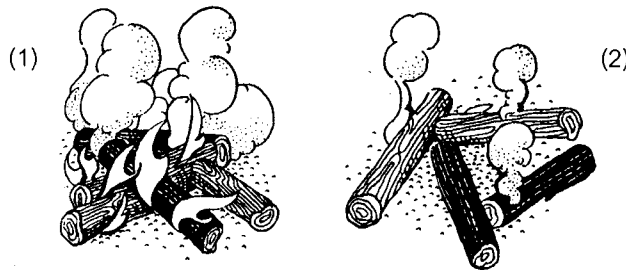
ที่อุณหภูมิสูงกว่า 275°C ก๊าซจะเกิดได้เร็วขึ้นและมีจำนวนมาก ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มมากขึ้น ในช่วงนี้จะเกิดจะปฏิกิริยาของคาร์โบไฮเดรต และปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของไม้ ซึ่งจะให้สารระเหยที่ได้จากเซ่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และเมธานอล เป็นต้น สารระเหยอาจเป็นก๊าซที่ติดไฟและทำให้เกิดการลุกไหม้ ซึ่งจะทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นมีค่าความร้อนสูงขึ้น มากกว่า 4,000 กิโลแคลอรี ต่อลูกบาศก์เมตร ปฏิกิริยาจะเริ่มเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic) ซึ่งทำให้สีของไม้จะเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลดำ ก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแก่ไม้จะติดไฟในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 225-260°C ซึ่งจะให้ เปลวไฟที่ ต่อเนื่อง (sustained flame) และไม้ก็จะลุกไหม้ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 260-290°C เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะกระจายจากบริเวณผิวหน้าของชิ้นไม้ แล้วนำความร้อนไปยังส่วนที่ยังไม่เกิดการสันดาป อาจกล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการสันดาปของไม้ เกิดจากการแปรสภาพ ลิกโนเซลลูโลส ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของไม้ด้วยความร้อน มนุษย์ได้นำความร้อนที่ได้จากการสันดาป หรือจากการเกิดเปลวไฟไปใช้ เพื่อทำให้เกิดความอบอุ่น การหุงต้ม และประกอบอาหารต่างๆ ตลอดจนใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนสามารถเคลื่อนหรือกระจายไปสู่วัตถุที่ต้องการได้ 3 ลักษณะ คือ

1. การแผ่รังสีความร้อน (radiation) เป็นการเคลื่อนตัวจากแหล่งกำเนิดไปสู่วัตถุที่ต้องการโดยไม่มีตัวกลาง เช่นเดียวกับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ความร้อนที่วัตถุได้รับจากการแผ่รังสีความร้อน จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับวัตถุ ปริมาณความร้อนที่วัตถุได้รับจะเป็นปฏิกิริยาผกผันกับกำลังสองของระยะทาง เช่น ถ้าวัตถุอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดความร้อนหรือไฟ 1 ฟุต รับปริมาณความร้อนได้ 100 หน่วย วัตถุที่อยู่ห่างออกไป 2 ฟุต จากไฟ จะรับปริมาณความร้อนได้เพียง 25 หน่วย และถ้าเชื้อเพลิงอยู่ห่างออกไป 10 ฟุต จะรับปริมาณความร้อนได้เพียง 1 หน่วย โดยที่จำนวนหน่วยความร้อนที่วัตถุได้รับจะแปรผกผันตามความรุนแรงของแหล่งกำเนิด แต่อัตราการลดลงของปริมาณความร้อนจะเป็นไปในอัตราเดียวกัน



ภาพที่ 29 แสดงผลของระยะทางในการแผ่รังสีความร้อน ที่มีต่อปริมาณความร้อน

การที่นำไม้พืนมาให้อยู่ชิดติดกันจำนวนมากจะทำให้เกิดไฟที่มีปริมาณความร้อนสูงหรืออาจเรียกว่าการไหมไฟ ปริมาณความร้อนที่สูงนี้เนื่องจากไม้พืนที่ติดไฟแล้วแผ่รังสีความร้อนไปยังไม้พืนอื่นๆ ที่อยู่ชิดติดกันได้มาก ในทางกลับกันถ้าแยกเชื้อเพลิงออกไป ความรุนแรงของไฟก็จะลดลง และไฟก็จะมอดลงอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 30 แสดงเปรียบเทียบลักษณะการติดไฟของไม้พืน

2. การพาความร้อน (convection) เป็นการเคลื่อนตัวของความร้อนโดยมีอากาศเป็นตัวกลาง ซึ่งจะช่วยเพิ่มอุณหภูมิให้กับวัตถุ โดยการสัมผัสกับอากาศที่ร้อน ทำให้อุณหภูมิร้อนขึ้น ช่วยเพิ่มสภาวะการติดไฟ โดยปกติอากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น เพราะมีน้ำหนักเบากว่าอากาศเย็น ดังนั้นวัตถุที่อยู่เหนือแหล่งกำเนิดความร้อนจึงมักจะได้รับปริมาณความร้อนมากกว่าวัตถุที่อยู่ด้านล่างหรือที่อยู่ต่ำกว่าในระยะเดียวกัน และเพราะอากาศร้อนมีน้ำหนักเบาลมจึงมีส่วนช่วยในการพาความร้อนเป็นอย่างมาก

3. การนำความร้อน (conduction) โดยปกติไม้จะมีคุณสมบัติ เป็นตัวนำความร้อนที่เลว ไม้จะนำความร้อนได้สูงขึ้น เมื่อมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ทดสอบได้จากการนำไม้ที่มีขนาดและความยาวเท่า ๆ กัน อันหนึ่งแห้ง อีกอันหนึ่งสดหรือมีความชื้นมากกว่า ให้ความร้อนที่ปลายข้างหนึ่ง และใช้มือจับปลายไม้อีกข้างหนึ่งไว้ จะรู้สึกได้ว่า มือที่จับปลายไม้ที่แห้งจะร้อนช้ากว่ามือที่จับปลายไม้ที่ชื้นกว่า

ระบบการสันดาป

ไม้ฟืน ถ่าน วัสดุเหลือใช้เหลือทิ้งทางการเกษตร หรือ เชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่ถูกนำมาแปรรูปให้เกิดพลังงานความร้อนโดยกระบวนการสันดาป ซึ่งมีปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณเชื้อเพลิง การหมุนเวียนของอากาศ อุณหภูมิ และเวลา ถ้าหากควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสมกับชนิดของเชื้อเพลิงและวัตถุประสงค์ในการใช้งานแล้ว ก็จะช่วยให้อรรถิภาพในการสันดาปดีขึ้น

ปริมาณเชื้อเพลิง เมื่อกำหนดให้ใช้ปริมาตรของเชื้อเพลิงเท่าๆ กัน โดยปกติแล้ว เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงย่อมให้ปริมาณความร้อนมากกว่าเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า ดังนั้นในสภาวะเดียวกัน การใช้เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าจึงจำเป็นต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงกว่า เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการใช้งานเท่า ๆ กัน การเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงจะทำให้ปริมาณความร้อนมากตามไปด้วย แต่ถ้าหากมีปริมาณเชื้อเพลิงมากเกินไป ในที่ที่มีพื้นที่จำกัดและการหมุนเวียนของอากาศไม่ดี ปฏิกริยาการสันดาปก็อาจหยุดลงได้ เนื่องจากขาดอากาศหรือออกซิเจน และเพราะการสันดาปจะเกิดขึ้นที่ผิวของเชื้อเพลิง การเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงอาจถือได้ว่าเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสันดาปจึงทำให้เกิดปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันหากทำให้เชื้อเพลิงมีขนาดเล็ก ในที่ที่มีอากาศเพียงพอ และทำให้เชื้อเพลิงเหล่านั้นได้สัมผัสอากาศโดยทั่วถึงสม่ำเสมอ ก็จะเป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะช่วยให้ปริมาณความร้อนมากขึ้น

เวลา การที่เชื้อเพลิงจะรวมตัวกับออกซิเจน จะต้องใช้เวลาที่นานพอที่จะทำให้เกิดการสันดาป ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการสันดาปของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความหนาแน่น ไม้ฟืนที่มีความหนาแน่นต่ำ จุดและติดไฟได้ง่ายกว่า แต่มีอัตราการเผาไหม้สูงกว่า ไม้ฟืนที่มีความหนาแน่นสูง ไม้ฟืนที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าจึงใช้เวลาในการที่

จะเกิดการสันดาปสั้นกว่า ความชื้นเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น เชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงทำให้ต้องใช้เวลาในการที่เกิดการสันดาปมากกว่าเชื้อเพลิงที่แห้งกว่า เนื่องจากต้องใช้เวลาในการระเหยความชื้นออกไป

อุณหภูมิ การสันดาปของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด จะใช้อุณหภูมิในการลุกติดไฟแตกต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างและองค์ประกอบของไม้ฟืน เช่น ไม้ฟืนที่มีสารแทรกชนิดที่ติดไฟได้ดี หรือมีความหนาแน่นต่ำกว่า ก็จะติดไฟ หรือเกิดการสันดาปได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำ นอกจากนี้ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในไม้ฟืนยังทำให้ไม้ฟืนมีค่าความร้อนจำเพาะสูงขึ้น ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้อุณหภูมิที่จะทำให้ไม้ฟืนเกิดการสันดาปนั้นสูงตามไปด้วย เพราะต้องใช้ปริมาณความร้อนส่วนหนึ่งไปใช้ในการระเหยน้ำ

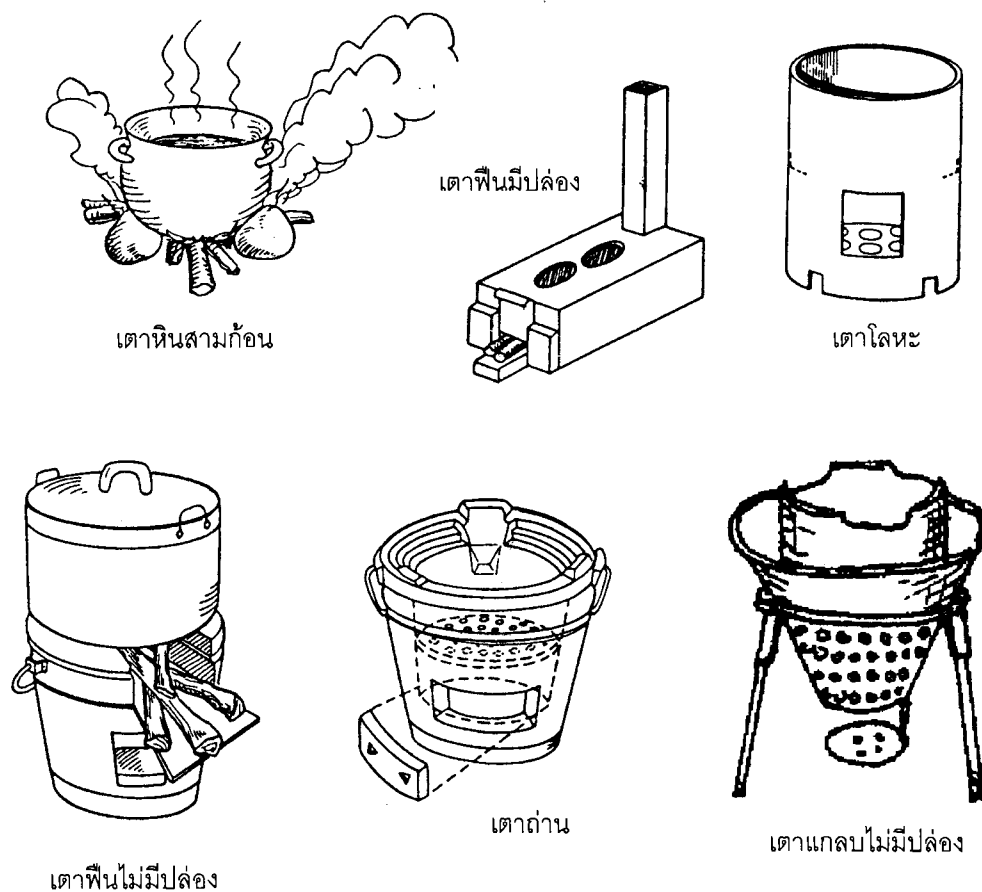
การหมุนเวียนของกระแสอากาศ เป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่จะใช้ในการสันดาป ควบคู่ไปกับการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศให้เป็นไปอย่างทั่วถึง โดยปกติอากาศที่ร้อนกว่าจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศที่เย็นกว่าซึ่งมีปริมาตรเท่ากัน อากาศร้อนจึงลอยขึ้นสู่เบื้องบน และอากาศเย็นก็จะเข้ามาแทนที่พร้อมๆ กับนำออกซิเจนเข้ามาในปฏิกิริยาการสันดาป การเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากการความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศ เรียกว่า ลม (wind) ซึ่งจะมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการเกิดการสันดาปของแหล่งกำเนิดความร้อน ทำให้แหล่งกำเนิดความร้อนมีปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้น และยังช่วยพัดเป่าไฟไปสู่วัตถุซึ่งจะเป็นการช่วยลดระยะทางจากเปลวไฟถึงวัตถุ ส่งผลให้การแผ่รังสีความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันลมก็ช่วยในการพาความร้อนอีกด้วย ในทางกลับกันถ้าปริมาณของลมมาก ทำให้การพาความร้อนเกิดขึ้นไม่ต่อเนื่อง หรืออากาศที่เย็นกว่าเข้ามาปริมาณมากจนทำให้อุณหภูมิต่ำลงกว่าอุณหภูมิที่ติดไฟ ก็เป็นผลให้การสันดาปสิ้นสุดลงได้

จากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาทำให้มีการค้นหาอุปกรณ์และวิธีการที่ดีที่สุดที่จะทำให้เกิดการสันดาปเพื่อให้เชื้อเพลิงแข็งปลดปล่อยพลังงานออกมามากที่สุดและสามารถนำพลังงานที่ได้นั้นไปใช้ โดยให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด ลักษณะการสันดาปของไม้ฟืน แบ่งออกเป็น การสันดาปไม้บนรังผึ้ง (grate burner) และการสันดาปไม้บนอากาศ (suspension burner)

การหุงต้มอาหาร มีลักษณะคล้ายกับการสันดาปไม้บนรังผึ้ง โดยใช้เตาฟืน เตาถ่าน หรือเตาแก๊ส คือการสันดาปจะเกิดขึ้นบนรังผึ้ง และผิวหน้าของเชื้อเพลิงแข็งจะค่อยๆ ถูกเผาไหม้ ไปจนกลายเป็นขี้เถ้า ส่วนสันดาปบนอากาศ เป็นวิธีการที่ต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะ จึงมักใช้ในอุตสาหกรรม ที่ต้องการใช้ปริมาณความร้อนมาก การสันดาปบนอากาศนี้จำเป็นต้องใช้ปริมาณอากาศมากควบคู่ไปกับการใช้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กกว่า 2 มม. และมีความชื้นต่ำกว่า 15 % เพื่อให้เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ในขณะที่ไม้ลอยตัวอยู่ในอากาศ

การใช้พลังงานจากไม้ฟืนในการหุงต้มอาหาร

ในปัจจุบัน การหุงต้มอาหารของคนไทยได้พัฒนารูปแบบไปใช้อุปกรณ์ที่สะดวก สะอาด เช่น แก๊สธรรมชาติ ไฟฟ้า คลื่นไมโครเวฟ แต่ก็มีคนไทยอีกไม่น้อยที่ยังคงใช้เตาอั้งโล่ หรือเตาที่ใช้ ไม้ฟืน และถ่าน เนื่องจากวัฒนธรรมในการประกอบอาหารชนิดนั้น ๆ เช่น การปิ้งย่าง รมควัน หรือสภาพแวดล้อมความเป็นอยู่ ของผู้ใช้



ภาพที่ 31 แสดงตัวอย่างของเตาหุงต้มแบบต่าง ๆ

เตากปม 1 และเตากปม 2

เตาอั้งโล่ นับเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดในการหุงต้มอาหารที่ใช้ไม้ฟืนและถ่าน ซึ่งจะมีขนาดใหญ่หรือเล็กก็ได้ ตามแต่วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน เตาอั้งโล่โดยทั่วไปจะ ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ช่องใส่เชื้อเพลิง รังผึ้ง ฉนวนเตา ประตูลมเข้า เสา ส่วนประกอบ ต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิง ในปัจจุบันมีการผลิตเตาอั้งโล่ซึ่งใช้กับ ฟืน เรียก เตาหุงต้มฟืน หรือเตาฟืน และเตาอั้งโล่ที่ใช้กับถ่าน เรียก เตาหุงต้มถ่าน หรือ เตาถ่าน ซึ่งถือว่าเป็นเตาหุงต้มชีวมวลที่ผู้นิยมใช้กันทั่วไปอย่างแพร่หลาย เตาที่ผลิตจากแหล่งต่างกันอาจ

มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ขึ้นกับการออกแบบและความพิถีพิถัน ความชำนาญของผู้ผลิต สำหรับผู้ใช้หรือผู้บริโภคมักจะเลือกหาซื้อเตาที่มีลักษณะดังนี้

1. เนื่องจากเตาจะถูกใช้งานวันละ 2-3 ครั้งต่อวัน ดังนั้นผู้บริโภคจึงต้องการเตาที่มีความแข็งแรงทนทานต่อสภาพการใช้งาน ซึ่งหากเตาที่มีความทนทานผู้ใช้ก็จะไม่สิ้นเปลืองในการที่จะต้องเปลี่ยนเตาอยู่บ่อย ๆ

2. ต้องมีความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ในครัวเรือน การใช้เตาชีวมวลอาจใช้ควบคู่ไปกับเตาก๊าซ เตาไฟฟ้า ซึ่งหากเตาชีวมวลมีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ก็จะช่วยให้ผู้ใช้สะดวกในการเก็บรักษาและนำออกมาใช้ หรือเคลื่อนย้ายไปใช้ตามสถานที่ต่าง ๆ ตามประสงค์ได้

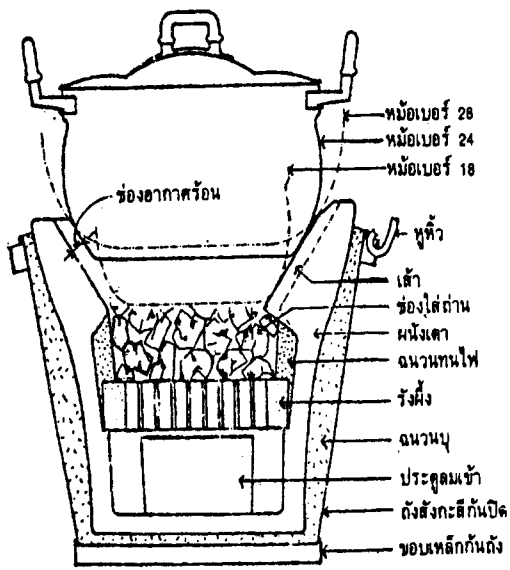
3. ควรเป็นเตาที่ช่วยให้การจุดติดไฟง่าย และถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะ หรือวัตถุที่ต้องการให้ความร้อนได้รวดเร็ว เก็บความร้อนได้มากและนาน มีอัตราการสูญเสียความร้อนน้อย เพื่อที่จะได้ไม่ต้องเติมเชื้อเพลิงบ่อย ๆ ซึ่งจะช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่าย เชื้อเพลิง และพลังงาน

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการหุงต้มมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกัน และมีความหลากหลาย ดังนั้นเตาที่ดีก็ควรจะต้องมีปากเตาที่สามารถรองรับภาชนะในการหุงต้มได้หลากหลาย

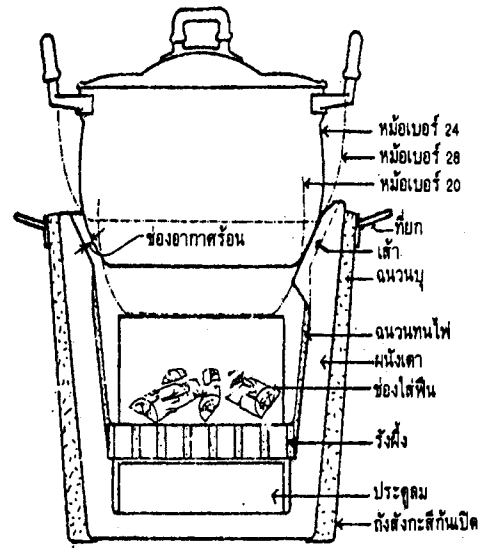
กรมป่าไม้ได้ศึกษาและพัฒนาเตาพื้นและเตาถ่าน เพื่อให้ได้เตาที่มีคุณภาพและประหยัดพลังงาน ซึ่งจะส่งผลให้การใช้ไม้พื้นและถ่านไม้ มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และเป็นประโยชน์ต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยิ่ง และผลจากการศึกษาพบว่า ส่วนต่างๆ ของเตา มีผลต่อความร้อน และการเดือดของน้ำ เช่น เตาถ่าน ระยะทางระหว่างรังผึ้งของถึงกันหม้อ ถ้ามากจะทำให้เพิ่มระยะเวลาที่น้ำจะเดือดมากขึ้น ความหนาของผนังเตา เส้นผ่าศูนย์กลางภายในเตา ถ้ามากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานและลดเวลาที่ทำให้น้ำเดือด แต่ก็เพิ่มต้นทุนในการผลิตและน้ำหนักเตา ซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับเตาพื้นและเตาถ่านได้แสดงไว้ในตารางที่ 14 และสำหรับเตา กปม 1 เตา กปม 2 ถือได้ว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภค ในการเลือกใช้เตาที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งเป็นเตาที่ออกแบบมาใช้งานเฉพาะคือ เตา กปม 1 เป็นเตาที่ใช้กับถ่านไม้ จะมีขอบเตาเรียบ น้ำหนักเตา 10 กิโลกรัม มีเส้าสูง 1 ซม. และมีประสิทธิภาพในการใช้งาน 34 % สำหรับเตา กปม 2 เป็นเตาที่ออกแบบใช้กับฟืนโดยเฉพาะ มีขอบเตาเรียบ น้ำหนักเตา 8 กิโลกรัม เส้าสูง 1 ซม. และมีประสิทธิภาพการใช้งาน 26 % ลักษณะโดยทั่วไปของเตาทั้ง 2 ชนิดแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 14 แสดงลักษณะที่ดีของเตาถ่านและเตาฟืน ซึ่งได้จากการวิจัยเกี่ยวกับตัวแปรภายในของเตาหุงต้ม

ส่วนประกอบของเตา	เตาหุงต้มฟืน	เตาหุงต้มถ่าน
ปากเตา	เส้นผ่าศูนย์กลาง 25-27 ซม. ด้านในลาดลึก สามารถวาง กระทะและหม้อได้หลายขนาด	ด้านในลาดลึก สามารถวาง กระทะและหม้อได้หลายขนาด (ตั้งแต่ เบอร์ 16-32.)
ช่องอากาศร้อนออก	0.8-1.0 ซม.	0.5-1 ซม.
ความสูงจากรังผึ้งถึงกัน หม้อ	10-12 ซม.	10-20 ซม.
เส้วางภาชนะ	ลาดรับกับขอบเตา และมี ความสูงตั้งฉากไม่เกิน 1 ซม.	ลาดรับกับขอบเตา และมี ความสูงตั้งฉากไม่เกิน 1 ซม.
ช่องเชื้อเพลิง	ไม่ควรกว้างเกินไป ประมาณ 8-9 x 15-16 ซม.	1500-1700 ซม. ³ หรือจุ ถ่านได้ 400-500 กรัม
น้ำหนักเตา	ไม่ควรเกิน 10 กิโลกรัม	ไม่ควรเกิน 10 กิโลกรัม
ผนังเตาและฉนวน	-	ไม่บางจนเกินไป (ไม่ควรต่ำกว่า 5 ซม.)
รังผึ้ง	เส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 18 ซม. รูรังผึ้ง 1.7-1.8 ซม. มีประมาณ 37 รูขึ้นไป ความหนารังผึ้ง 2.5-3.0 ซม.	เส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 15-17 ซม. รูรังผึ้ง 1.2 -1.4 ซม. มีประมาณ 60 -50 รูขึ้นไป ความหนารังผึ้ง 2.5-4.0 ซม.
ประตูลม	-	6-7 x10 ซม. และมีฝาปิด ควบคุมปริมาณอากาศเข้าได้
ขอบเตา	-	สูงกว่าก้นภาชนะที่วางเสมอ ป้องกันลมพัดผ่านพาความร้อนออกไป



กปม. 1 (เตาถ่าน)



กปม. 2 (เตาฟืน)

ภาพที่ 32 แสดงลักษณะของเตา กปม. 1 และ กปม. 2

ตารางที่ 15 แสดงลักษณะของเตาหุงต้มพื้น และเตาหุงต้มถ่าน ของกรมป่าไม้

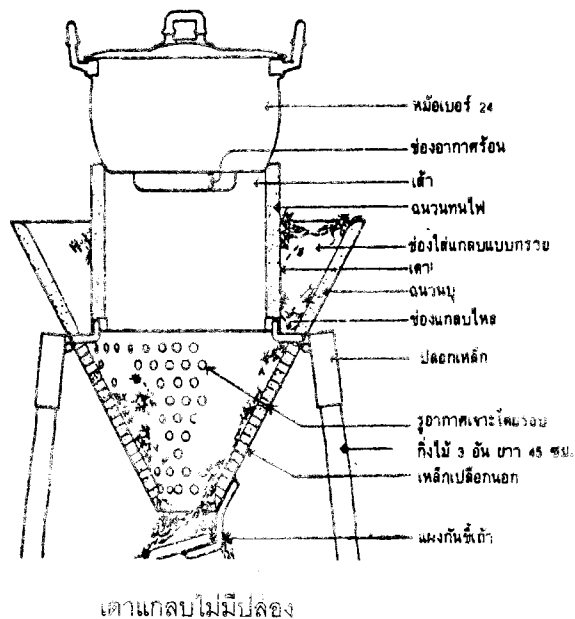
ลักษณะส่วนประกอบ	เตาหุงต้มถ่าน (กปม 1)	เตาหุงต้มพื้น (กปม.2)
น้ำหนัก ตัวเตาเปลือย	5.9 กก.	6.9 กก.
ประกอบเสร็จ	10.1 กก.	9.8 กก.
ส่วนสูงของเตา	25.0 ซม.	23.5 ซม.
ความหนาของผนังเตา ตัวเตาเปลือย	2.0 ซม.	2.0 ซม.
ประกอบเสร็จ	5.3 ซม.	5.3 ซม.
ปากเตา เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก	30 ซม.	28.0 ซม.
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	26.5 ซม.	24.0 ซม.
ฐานเตา เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก	19.0 ซม.	25.0 ซม.
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	16.0 ซม.	21.0 ซม.
ส่วนสูงจากผิวของรังผึ้งถึงปากเตา	15.0 ซม.	13.5 ซม.
ส่วนสูงจากปากเตาที่ลาดทำรองรับภาชนะ	6.5 ซม.	-
เส้นผ่าศูนย์กลางภายในที่รองรับภาชนะ	16-32 ซม.	18-32 ซม.
ปริมาตรของช่องสันดาป	1.24-2.00 ลิตร	3,040 ลบ.ซม.
รังผึ้ง เส้นผ่าศูนย์กลาง	17.5 ซม.	21.0 ซม.
ความหนา	4.0 ซม.	3.0 ซม.
มวล	0.7 กก.	0.9 ซม.
ขนาดรู	1.2-1.4 ซม.	1.6 ซม.
จำนวนรู	61 รู.	37 รู.
ความหนาของฉนวน	1.0 ซม.	
ช่องอากาศร้อนออก	1 ซม.	1.0 ซม.
ช่องอากาศเย็นเข้าและเปียกไถ่	55 ตร.ซม.	4x 12.5 ซม.
ความหนาของผนังเตาหลังจากใส่ฉนวน และกรอบโลหะ เฉลี่ย	5.2 ซม.	-
ช่องใส่ฟืน	-	9x12.5 ซม.

เตาฟืนที่ออกแบบมาจากเตาถ่าน เพื่อให้ใช้ได้ทั้งถ่านและฟืนนั้น การดัดแปลงมาใช้กับฟืนจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานลดลงจากเดิม 5-10 % เช่นถ่านาเตาอั้งโล่ที่ใช้กับถ่านซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้งาน 24.13 % เมื่อนำมาใช้กับฟืนแทนถ่าน จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานลดลงเหลือเพียง 14 % เท่านั้น (นิยมและธีระ, 2527) ดังนั้นการเลือกใช้เตาหุงต้มที่เหมาะสมก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน

ตารางที่ 16 แสดงปริมาณความร้อน ประสิทธิภาพ อัตราการเผาไหม้ และงานที่ได้ของถ่านเปลือกทุเรียนที่ใช้กับเตากปม 1 และเตากปม 2 (วิชณี, 2544 ข.)

ชนิดของเตา	ปริมาณความร้อน แคลอรี/กรัม	ประสิทธิภาพ %	อัตราการเผาไหม้ กรัม/นาทีก	งานที่ได้
กปม 1 (เตาถ่าน)	1,232.65	20.89	7.78	1.20
กปม 2 (เตาฟืน)	986.03	16.59	9.50	1.04

นอกเหนือจากเตาฟืนและเตาถ่านประสิทธิภาพสูง แล้วกรมป่าไม้ยังได้ทำการศึกษาเตาซึ่งสามารถนำไปใช้กับวัสดุเหลือทิ้งเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีขนาดเล็ก อย่างเช่น แกลบ เพื่อให้มีการใช้พลังงานจากไม้ฟืนและวัสดุทดแทนไม้ฟืน เป็นไปอย่างประหยัดและคุ้มค่า มากที่สุด



ภาพที่ 33 แสดงลักษณะของเตาแกลบไม่มีปล่อง

การนำไม้พิน หรือเชื้อเพลิงแข็ง มาแปรรูปให้เกิดพลังงานเพื่อใช้ในครัวเรือน โดยใช้เตาแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพในการใช้งาน (heat utilization efficiency) แตกต่างกัน ประสิทธิภาพการใช้นี้ เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับทั้งหมด กับปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ให้ ซึ่งสามารถหาได้จากการนำเชื้อเพลิงไปใช้ต้มน้ำ 3700 กรัม ในหม้ออลูมิเนียมเบอร์ 24 ที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งจะทราบถึงความสามารถของเชื้อเพลิงในการต้มน้ำว่า จะใช้ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือดมากน้อยเท่าไร และหลังจากน้ำเดือดแล้วปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงสามารถทำให้น้ำระเหยไปมากน้อยเพียงใด โดยทำการเปิดฝาม้อแล้วต้มต่อไปอีก 30 นาที หลังจากสิ้นสุดการต้มน้ำ มีปริมาณเชื้อเพลิงเหลืออยู่เท่าไร อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมากหรือน้อยอย่างไร ซึ่งโดยปกติเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นต่ำหรือเชื้อเพลิงเบา จะมีอัตราการเผาไหม้สูงกว่าเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงหรือเชื้อเพลิงหนัก และจะส่งผลให้งานที่ได้ ของเชื้อเพลิงแตกต่างกัน การประเมินค่าต่าง ๆ ดังกล่าวสามารถคำนวณจาก

$$1. \text{ ประสิทธิภาพการใช้งาน (HU) \% } = \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับทั้งหมด}}{\text{ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ให้}} \times 100$$

$$\text{ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับทั้งหมด} = MC_p(T_2 - T_1) + (M - M_1)L$$

$$M = \text{น้ำหนักของน้ำ, กรัม}$$

$$C_p = \text{ความร้อนจำเพาะของน้ำ} = 1 \text{ แคลอรี/กรัม-องศาเซลเซียส}$$

$$T_2 = \text{อุณหภูมิของน้ำเดือด, องศาเซลเซียส}$$

$$T_1 = \text{อุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟ, องศาเซลเซียส}$$

$$M_1 = \text{น้ำหนักของน้ำที่เหลืออยู่, กรัม}$$

$$L = \text{ความร้อนแฝงของน้ำ มีค่า 540 แคลอรี/กรัม}$$

$$\text{ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ให้} = M_f H$$

$$M_f = \text{น้ำหนักเชื้อเพลิง, กรัม}$$

$$H = \text{ค่าความร้อนสันดาปของเชื้อเพลิง}$$

$$2. \text{ อัตราการเผาไหม้} = \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด(สุทธิ)}}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ในการใช้งาน(เผาไหม้)}}$$

$$3. \text{ งานที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป}}{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ไปทั้งหมด(สุทธิ)}}$$

ตารางที่ 17 แสดงตัวอย่างการประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงบางชนิด (มาลีและ
คณะ, 2539 วิจิตร,2542 วิชนี,2544)

ชนิดของเชื้อเพลิง	ชนิดเตา	ประสิทธิภาพการใช้งาน %	อัตราการเผาไหม้ กรัม/นาทึ	งานที่ได้
ถ่านสีเสียดแก่น	กปม.1	28.63	7.57	2.58
ถ่านสะเดาเทียม	กปม.1	29.69	7.2	2.71
ถ่านยูคาลิปตัส	กปม.1	28.58	6.31	2.42
ฟืนเปลือกทุเรียน	กปม. 2	21.27	20.83	1.12
ถ่านเปลือกทุเรียน	กปม.1	20.89	7.78	1.20
ถ่านข้อไม้ไผ่	กปม.1	31.98	7.62	3.28
ถ่านปล้องไม้ไผ่	กปม. 1	27.19	6.82	2.68

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารทางวิชาการเรื่อง ไม้พิน จะไม่สามารถปิดเล่มและนำออกเผยแพร่ได้ถ้าหากขาดบุคคลต่างๆ ที่จะได้กล่าวนามต่อไปนี้

1. คณะอนุกรรมการ กำหนดมาตรฐานและรับรองคุณภาพผลงานทางวิชาการด้านป่าไม้ทุกท่านที่ได้สละเวลาในการตรวจสอบเพื่อให้เอกสารฉบับนี้ได้มาตรฐานถูกต้องตามระเบียบของกรมป่าไม้

2. คุณวินัย ปัญญาธัญญะ หัวหน้ากลุ่มพัฒนาพลังงานป่าไม้ ซึ่งได้กรุณาเป็น reviewer และให้ข้อเสนอแนะต่างๆ

3. คุณศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์ คุณทรงศนีย์ กิตติรัตน์ตระการ คุณชูจิตร อนันตโชค ที่ช่วยพิสูจน์อักษร และคุณประชัน แก้วบ้านฝาย ซึ่งได้ช่วยจัดพิมพ์รูปเล่มจนแล้วเสร็จ

4. ผู้เสียภาษีอากรฯ และรัฐบาลไทย ที่สนับสนุนรายได้ประจำเดือน ซึ่งส่วนหนึ่งถูกนำมาใช้จัดพิมพ์เอกสารฉบับนี้

5. บิดา มารดา คณาจารย์และวิทยากรที่สนับสนุนให้ผู้เขียนได้มีโอกาสทางการศึกษา และสามารถนำความรู้ต่างๆ มาประมวลให้เกิดเป็นเอกสารฉบับนี้

6. ญาติ มิตร ผู้ร่วมงานและผู้บังคับบัญชา ที่ช่วยเป็นกำลังใจอย่างดียิ่งเสมอมา

ซึ่งผู้เขียนต้องขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ และที่ขาดไม่ได้คือ ต้องขอบคุณทุกๆ ท่านที่ได้โปรดหยิบหนังสือเล่มนี้มาอ่าน เพราะทำให้เอกสารทางวิชาการฉบับนี้มีคุณค่าเพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

- กองกานดา ชยาฤต. 2541. คู่มือจำแนกพรรณไม้. ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้
หอพรรณไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 235 น.
- กลุ่มป้องกันรักษาเนื้อไม้. 2539. การป้องกันและกำจัดศัตรูทำลายไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิต
ผลป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้. 2541. โครงการวิจัยเพื่อปรับปรุงและส่งเสริมการใช้เตาหุงต้มที่ใช้
วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการ
ป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 31 น.
- _____. 2542. โครงการวิจัยเพื่อปรับปรุงและส่งเสริมการใช้แท่งเชื้อเพลิงชีว.
ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 20 น.
- จเร สดการ. 2526. อนุกรมวิธานของพืชพลังงานและแนวทางการผลิตที่จะเป็นไปได้ในอนาคต
รายงานการสัมมนา เรื่อง พืชพลังงานและวัสดุเหลือใช้การเกษตร. กรมวิชาการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 132-140 น.
- จำลอง เพ็งคล้าย และรัชชัย สันติสุข. 2519. พฤกษศาสตร์ป่าไม้เบื้องต้น. งานพฤกษศาสตร์
กองบำรุง กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 93 น.
- ขวลิต โหล่คุณสมบัติ. 2524. รายงานเกี่ยวกับแท่งชีเลื้อยและลิกไนท์อัด ในท้องที่ จังหวัด อุดรฯ
ลำปาง และเชียงใหม่ การประชุมการป่าไม้ สาขาวนผลิตภัณฑ์ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
170-185 น.
- ณรงค์ โทณานนท์, ศิริ เจือวิจิตรจันทร์, สุชาติ ไทยเพชร, และศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์. 2528. ไม้เนื้อ
แข็งของประเทศไทย. ฝ่ายวิจัยไม้ชั้นพื้นฐาน กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
127 น.
- _____. 2531. ลักษณะโครงสร้างของไม้และการตรวจพิสูจน์. กองวิจัยผลิต
ผลป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 85 น.
- ณรงค์ โทณานนท์. 2536. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเรื่องไม้. กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้,
กรุงเทพฯ. 73 น.
- ทรรศนีย์ กิติรัตนตระกูล. 2529. ปฏิกริยาไฟโรไลซิสของไม้ยูคาลิปตัสพันธุ์คามาลดูลเลนซิส วิทยา
นิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ รัตวานิช, เบญจวรรณ คฤห์พัฒนา และฐจิตร อนันตโชค. 2524. การกลั่นทำลายไม้
กระถินณรงค์. การประชุมการป่าไม้ สาขาวนผลิตภัณฑ์ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. น.169

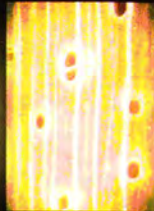
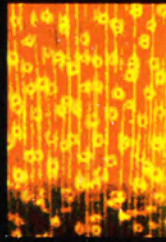
- ทัศนีย์ รัตติวานิช, อรรณพ อภิชาติบุตร, เพ็ญศรี อติวรรณพัฒน์ และรัตนนา หม่อมณี. 2530. องค์ประกอบทางเคมีของไม้บางชนิดในประเทศไทย. กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 31 น.
- เทียมใจ คมกฤต. 2523. กายวิภาคของพฤษภ. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 268 น.
- ธีระชัย จันทระเสนา. 2528. การผลิตถ่านและคุณภาพของถ่านจากไม้ป่าชายเลนโดยใช้เตาอิฐขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นรา พัทธจักรวรรพ. 2524. เชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุเหลือใช้. การประชุมสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง เตาเศรษฐกิจและเชื้อเพลิงถ่าน โครงการเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อการศึกษาสถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, กรุงเทพฯ. น. 25-27.
- นิยม จัทรเทพา. 2527. คู่มือการก่อสร้างเตาผลิตถ่านและวิธีการผลิตตามแบบของกองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพฯ. 76 น.
- นิยม จัทรเทพา และ ธีระ มนัสธรรม. 2527. คู่มือการผลิตและใช้เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง. สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, กรุงเทพฯ. 72น.
- บุญนำ เกียวข้อง. 2528. กลศาสตร์ของไม้และวัสดุที่มีไม้เป็นองค์ประกอบ. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 147 น.
- บุญนำ เกียวข้อง, ปรีชา เกียรติกระจาย และ อรุณ ชมชาญ. 2524. พลังงานจากไม้ (3) ทฤษฎีการทำถ่านลักษณะและคุณสมบัติของถ่าน. การประชุมการป่าไม้ สาขาวนผลิตภัณฑ์ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. น.186-212
- ปรีชา เกียรติกระจาย. 2526. เคมีของเนื้อไม้. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2529. เทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานจากไม้. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 259 น.
- ปรีชา เกียรติกระจาย, สมรัตน์ ยินดีพิธ, อรุณ ชมชาญ, วินัย ปัญญาธัญญะ และประมุข ทิชากร. 2525. การปรับปรุงเทคโนโลยีในการเผาถ่านโดยใช้เตาดินเหนียวก่อและเตาอิฐสำหรับชนบท. รายงานการสัมมนา เรื่อง พืชพลังงานและวัสดุเหลือใช้การเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. น 32-42.
- ปญญ์ ศรีอรุณ. 2519. การผึ่งและอบไม้. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 149 น.

- พงศ์โสโน. 2513. ลักษณะโครงสร้างของไม้. กองค้นคว้า กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 94 น.
- พงษ์ทิพย์ โกเมศโสภา และธนาธิ เสือวรรณศรี. 2534. เคมีอินทรีย์พื้นฐาน. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดบุ๊กส์, กรุงเทพฯ. 487น.
- ภูวดล บุตรรัตน์. 2543. โครงสร้างภายในของพืช. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพฯ. 57น.
- มนัส แซ่เล่า. 2528. การศึกษาการทำเชื้อเพลิงชีวจากพืชบางชนิด. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. น. 153 – 188.
- มาลี ภาณุภา, วินัย ปัญญาธัญญะ และสิริลักษณ์ ตาตะยานนท์. 2539. ศักยภาพทางด้านพลังงานและการเปรียบเทียบผลผลิตถ่านของไม้เทียม ไม้สีเสียดแก่น และไม้ยูคาลิปตัส จากเตาเผาถ่าน 3 ชนิด. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 31 น.
- ยศนันท์ พรหมโชติ. 2541. เชื้อราทำลายไม้. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 260 น.
- ลักษมี สุทธิวิไลรัตน์. 2542. การเปรียบเทียบผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้งานถ่านไม้เสม็ดด้วยวิธีการเผาแบบพื้นบ้านกับวิธีการเผาตามมาตรฐานกรมป่าไม้. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 31 น.
- วัฒนา เสถียรสวัสดิ์ และวิหวัธ บัวจันทร์. 2526. แนวทางการนำพืชและพืชน้ำมันชนิดต่างๆ เป็นพลังงาน โครงการวิจัยพืชเพื่อการพลังงานทดแทนและอุตสาหกรรม รายงานการสัมมนา เรื่อง พืชพลังงานและวัสดุเหลือใช้การเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์, กรุงเทพฯ. 141-146 น.
-
- 2527. กรีนฟิวอัลเชื้อเพลิงทดแทนฟืนและถ่าน. การประชุมวิชาการเทคโนโลยีเกษตรสำหรับปัจจุบันและอนาคต กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 13 น.
- วัฒนา เสถียรสวัสดิ์, วิหวัธ บัวจันทร์, ขวลิต เทพลักษณ์เลขา, เรณู เขี่ยมธนาภรณ์, เดชา สายรวมญาติ และศรีวนา นิมูลชาติ. 2529. รายงานวิจัยเรื่องเชื้อเพลิงชีว (โครงการเชื้อเพลิงชีว) ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 68 น.
- วันเพ็ญ ภูติจันทร์. 2534. พฤกษศาสตร์. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 264 น.
- วิจิตร อ่องสมหวัง. 2542. การศึกษาผลผลิต ค่าความร้อนของการสันดาปและประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านไม้ไผ่สีสุก. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 15 น.
- วิชณี บุญญะปฎิภาค. 2540 ก. เวลาที่เหมาะสมในการกลั่นทำลายไม้ยูคาลิปตัส. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้, ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้, สำนักวิชาการป่าไม้, กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 7 น.

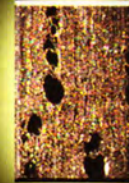
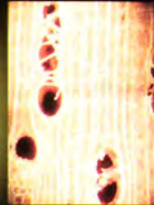
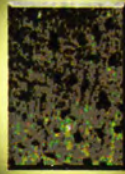
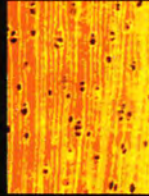
- _____ 2540 ข. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการกลั่นทำลายไม้ยูคาลิปตัส. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 8 น.
- _____ 2544 ก. ผลของสารแทรกที่มีต่อค่าความร้อนของไม้ปาฟรุ 7 ชนิด. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 7 น.
- วิชนี บุญญะปฏิภาค. 2544 ข. เชื้อเพลิงจากเปลือกทุเรียน. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 7 น.
- วินัย ปัญญาธัญญะ. 2541. เทคโนโลยีการผลิตถ่าน สำหรับชนบท. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 70 น.
- วิรัช ชื่นวาริน. 2523. ความสัมพันธ์ระหว่างไม้กับของไหล. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 256 น.
- วีระชัย สุรินทร์ และพงษ์พันธ์ แสนจัน. 2541. เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวแบบสกรู. โครงการวิศวกรรมศาสตร์ ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ. 80 น.
- วีระจักร แดงประเสริฐ. 2524. แท่งเชื้อเพลิงเศรษฐกิจ. การประชุมสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง เศรษฐกิจและเชื้อเพลิงถ่าน. โครงการเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อการศึกษาสถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. กรุงเทพฯ. น.1-3.
- ศิริพร ไชยพินนา, ทวีพงศ์ สุตรภาษานนท์ และดวงใจ บุญไธ้. 2542. รายงานผลการวิจัย เรื่อง การศึกษาอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกผลไม้. กรณีเปลือกสับปะรดและเปลือกกล้วย สถาบันราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา, กรุงเทพฯ. 69 น.
- สมเกียรติ สุทธิรัตน์. 2542. การผลิตถ่านจากเศษเหลือจากการทำไม้และสวนป่า. วารสารประสิทธิภาพพลังงาน ปีที่ 9 ฉบับที่ 45 เมษายน -มิถุนายน 2542. น.73-75.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2538. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 203 น.
- สมสุข มัจฉาชีพ. 2531. อาณาจักรสิ่งมีชีวิต เล่ม 1 อาณาจักรโมเนอรา อาณาจักรโปรติสตา อาณาจักรพืช สำนักพิมพ์แพรววิทยา, กรุงเทพฯ. 137 น.
- สิทธิศักดิ์ แซ่ลิ้ม, อุเทน แซ่เกวียง และทองศักดิ์ ศรีอุไร. 2542. การศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ปริญญาพนธ์ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น, กรุงเทพฯ. 182 น.

- สรรเสริญ เจริญศรี และเพ็ญศรี นามประเสริฐ. 2520. การวิเคราะห์ทางเคมีของไม้ 111 ชนิด. การประชุมทางวิชาการป่าไม้ สาขานวนผลิตภัณฑ์ ปี 2520. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 221 น.
- อภิรักษ์ พลอดเปลี่ยว. 2523. ความรู้เรื่องไฟฟ้า. เล่ม 1 (ไฟฟ้าเบื้องต้น) ฝ่ายควบคุมไฟฟ้า กองจัดการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 40 น.
- อรุณ ชมชาญ และวินัย ปัญญารัตนุญ. 2524. พลังงานจากไม้ (4) การประเมินศักยภาพพลังงานจากไม้. การประชุมการป่าไม้ สาขานวนผลิตภัณฑ์ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. น. 213-228.
- อำนาจ คอวนิช. 2520. บทความเรื่องเตาเผาถ่านเคลือบที่แบบ Mark V. องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 7 น.
- _____. 2522. บทความเรื่องถ่านไม้. องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. 6น.
- อุไรวรรณ พูลสิน. 2542. คุณคิดอย่างไรกับเทคโนโลยีการผลิต Producer gas เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง. รายงานสัมมนา หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ. 52 น.
- Anonymous. 1985. Fuelwood and charcoal preparation. International Labour Office. Geneva. 119 p.
- Bonner, J. and A. W. Galston. 1952. Principles of Plant Physiology. W.H. Freeman and Company, San Francisco. 499 p.
- Browning, B.L. 1963. The Chemistry of wood. Interscience Publishers, New York. 689 p.
- Cutter, B.E. and E.A. Jr. McGinnes. 1981. A note on density change patterns in charred wood, Wood and Fiber. 13 (1) 39-44.
- FAO. 1998. Images of Wood and Biomass Energy in industries in Thailand. the FAO Regional Wood Energy Development programme in Asia, Bangkok. 127 p.
- Haygreen, J.G. and J.L. Bowyer. 1989. Forest products and wood science. Iowa state university press. Ames. 500 p.
- Kollmann, F.P. and A., Jr. Wilfred. Côté. 1968. Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, New York. 592 p.
- Luke R.H. 1961. Bush fire control in Australia. Hodder and Stoughton Melbourne. 136 p.

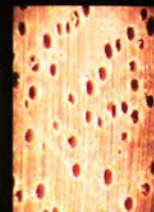
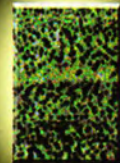
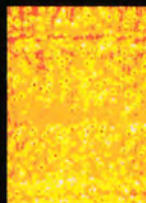
- Magnus Pettersson. 1999. Briquetting of biomass : A compilation of techniques and machinery. Students' reports master of science in forestry University of Agricultural Science Swedish. 17 p.
- Meyers H. and R.F. Jennings. 1979. Charcoal Ironmaking. United Nations Industrial Development Organization, Vienna. 289 p
- Panshin A.J., Zeeuw Carl De and Brown, H.P. 1964. Textbook of Wood Technology, Vol. 1. McGraw-Hill Book Company, New York. 643 p.
- Slocum D.H., McGinnes E.A. and McKown Jr. 1978. Elemental analysis of oak and hickory charcoal using neutron activation analysis, Wood and Fiber. 10(3) :200-209 p.
- Walker J.C.F., Butterfield B.G., Langrish T.A.G., Harris J.M., and Uprichard J.M. 1993. Primary Wood Processing. Chapman & Hall London. 595 p.



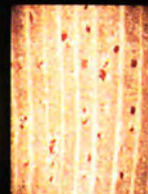
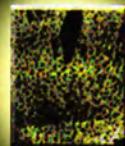
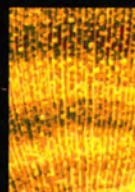
กระถินยักษ์ (*Leucaena leucocephala* de Wit.)



ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.)



ยูคาลิปตัส คามาลดูลენซิส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)



โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata* Bl.)

ภาพเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างด้านหน้าตัดของไม้ และด้านไม้ใบกว้าง

จากรายงานการวิจัยเรื่อง ลักษณะโครงสร้างด้านหน้าตัดของไม้ใบกว้างบางชนิด เมื่อแปรสภาพเป็นถ่าน