

การทดสอบ วัสดุ (แบบทำลาย) ๑



การทดสอบ วัสดุ (แบบทำลาย) ๑





งานก่อสร้างอาคาร ประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือประเภทไม้ก็ตาม วัสดุที่ใช้จะต้องได้มาตรฐานที่ยอมรับได้ เพื่อความแข็งแรงมั่นคงและปลอดภัยสำหรับอาคาร ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง จึงควรมีการทดสอบตัวอย่างว่าถูกต้องตามมาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานต่าง ๆ กำหนดไว้หรือไม่ การทดสอบวัสดุในงานก่อสร้างสามารถทดสอบได้ทั้งคอนกรีต เหล็ก อิฐ ไม้ และอื่น ๆ โดยทดสอบออกมาในรูปของแรงดึง แรงอัด แรงเฉือน แรงดัด แรงฉีก เป็นต้น

หนังสือ การทดสอบวัสดุ (แบบทำลาย) เล่มนี้ ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนในวิชาการทดสอบวัสดุ (Material Testing) ตรงตามหลักสูตรของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล รัตนวิชา 0412-1109 และของกรมอาชีวศึกษา รัตนวิชา 3121-2002 โดยมีเนื้อหาที่เน้นถึงความสำคัญที่ใช้ทดสอบ การตรวจสอบคุณภาพของวัสดุต่าง ๆ ทั้งในภาคทฤษฎีและปฏิบัติ ให้เป็นไปตามมาตรฐานของต่างประเทศ และประเทศไทย เนื้อหาที่กล่าวถึงจะประกอบด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบ ด้วยอุปกรณ์ หรือเครื่องทดสอบ การคำนวณผลการทดสอบและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้คงมีประโยชน์ต่อนักศึกษาและผู้สนใจ หากมีประโยชน์อยู่บ้างขอมอบให้กับผู้สนใจทุกท่าน แต่ถ้าหนังสือเล่มนี้มีสิ่งที่จะต้องแก้ไข ผู้เรียบเรียงขอรับผิดชอบ และจะนำมาแก้ไขปรับปรุงในโอกาสต่อไป

นายอุดมวิทย์ กาญจนวงศ์
แผนกช่างก่อสร้าง
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
วิทยาเขตนนทบุรี



ภาคทฤษฎี	12
บทที่ 1 คอนกรีต	13
บทที่ 2 อิฐและวัสดุก่อ	24
บทที่ 3 ไม้	34
บทที่ 4 เหล็กในงานก่อสร้าง	45
ภาคปฏิบัติ	55
บทที่ 1 บทนำ	56
บทที่ 2 เครื่องทดสอบวัสดุ	60
บทที่ 3 คุณสมบัติทางกลและการทดสอบวัสดุ	67
คอนกรีต	74
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 1 การผสมคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ	79
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 2 การยุบตัวของคอนกรีต	81
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	90
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 4 กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต	108
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 5 กำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต	115
อิฐ	127
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 6 การทดสอบหาค่าความดูดซึมน้ำและแรงอัดของอิฐที่ใช้ในงานก่อสร้าง	134

เหล็ก	142
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 7 การทดสอบแรงดึงของเหล็กเส้นกลม	153
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 8 การทดสอบแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย	171
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 9 การทดสอบแรงดึงสำหรับเหล็กรูปพรรณ	189
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 10 การทดสอบแรงเฉือนของเหล็กเส้นกลม	203
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 11 วิธีทดสอบคุณสมบัติรอยเชื่อม (Welds) ของเหล็กเหนียว	210
ไม้	217
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 12 การทดสอบแรงอัดของไม้ในแนวนานเสี้ยนไม้	228
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 13 วิธีการทดสอบแรงกดตั้งฉากกับเสี้ยนไม้	242
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 14 การทดสอบแรงดัดของไม้	255
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 15 การทดสอบแรงเฉือนของไม้	269
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 16 การทดสอบแรงฉีกของไม้	275
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 17 การหาความชื้นของไม้	280
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 18 การทดสอบความแข็งของไม้	285
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 19 การทดสอบแรงอัดของเสาไม้ขนาดเล็ก	290
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 20 การทดสอบจุดต่อไม้ยึดด้วยสลักเกลียวแนวนานเสี้ยนไม้	297
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 21 การทดสอบจุดต่อยึดด้วยสลักเกลียวตั้งฉากเสี้ยน	307
ใบปฏิบัติการทดสอบที่ 22 การทดสอบแรงเฉือนของกาวยึดไม้อัด	318
หนังสืออ้างอิง	323
ภาคผนวกคอนกรีต	324
ภาคผนวกอิฐก่อสร้างสามัญ	342
ภาคผนวกเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต เหล็กเส้นกลม	356
ภาคผนวกเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต เหล็กข้ออ้อย	369
ภาคผนวกไม้แปรรูป ข้อกำหนดทั่วไป	385

ลักษณะรายวิชา

รหัสและชื่อ

04-121 109 การทดสอบวัสดุ
(Material Testing)

สภาพรายวิชา

วิชาบังคับในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)
สาขาวิชาช่างก่อสร้าง

พื้นฐาน

04-100-101 กลศาสตร์วิศวกรรม

เวลาศึกษา

64 คาบ ใน 16 สัปดาห์ โดยแบ่งเป็นทฤษฎี 1 คาบ/สัปดาห์
ปฏิบัติ 3 คาบ/สัปดาห์ นอกจากนี้นักศึกษาจะต้องใช้เวลานอก
ศึกษาด้วยตนเอง และการทำรายงานผลการทดสอบเพิ่มเติม
อีกสัปดาห์ละไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง

หน่วยกิต

2 หน่วยกิต

จุดมุ่งหมายรายวิชา

1. รู้จุดประสงค์ของการทดสอบวัสดุ
2. รู้ข้อกำหนดมาตรฐานวิธีการทดสอบ
3. เข้าใจถึงพฤติกรรมของวัสดุ เมื่อมีแรงกระทำในลักษณะต่าง ๆ
4. ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้อง
5. ทำการทดสอบวัสดุตามระบุในคำอธิบายรายวิชา
6. ทำรายงานผลการทดสอบได้

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาถึงสถานะของวัสดุเมื่อมีแรงมากระทำในลักษณะต่าง ๆ
มาตรฐานและข้อกำหนดในการทดสอบรวมทั้งปฏิบัติการ
ทดสอบวัสดุประเภทไม้ เหล็ก วัสดุก่อ และวัสดุต่อยึด
โครงสร้างให้ได้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบ
โครงสร้าง

การแบ่งหน่วยแต่ละบทเรียน

หน่วยที่	รายการ	คาบเรียน	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
1	การทดสอบการดูดซึมน้ำกำลังรับแรงกดและแรงดัดของอิฐ	1	3
	1.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	1.2 พฤติกรรมของอิฐเมื่อถูกกระทำโดยแรงอัด แรงดัด		
	1.3 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ		
	1.4 เครื่องมือทดสอบ		
	1.5 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	1.6 รายงานผลการทดสอบ		
2	การทดสอบแรงดึงของเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย	2	6
	2.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	2.2 พฤติกรรมของเหล็กเมื่อถูกกระทำโดยแรงดึง		
	2.3 ลักษณะมาตรฐานที่ใช้ทดสอบและเกณฑ์การชักตัวอย่าง		
	2.4 เครื่องมือทดสอบและการใช้		
	2.5 วิธีการทดสอบและปฏิบัติการทดสอบ		
	2.6 รายงานผลการทดสอบ		
3	การทดสอบแรงเฉือนของเหล็ก	1	3
	3.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ		
	3.2 พฤติกรรมของเหล็กเมื่อถูกแรงเฉือน		
	3.3 เครื่องมือทดสอบ		
	3.4 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	3.5 รายงานผลการทดสอบ		

หน่วยที่	รายการ	คาบเรียน	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
4	การทดสอบรอยเชื่อม	2	6
	4.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	4.2 พฤติกรรมของรอยเชื่อมภายใต้แรงกระทำในลักษณะต่าง ๆ		
	4.3 ตัวอย่างสำหรับทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้		
	4.4 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	4.5 รายงานผลการทดสอบ		
5	การทดสอบแรงอัดตั้งฉากเส้นไม้	1	3
	5.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	5.2 พฤติกรรมของไม้เมื่อถูกกระทำโดยแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้น		
	5.3 เครื่องมือทดสอบ		
	5.4 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	5.5 รายงานผลการทดสอบ		
6	การทดสอบแรงอัดในแนวนอนเส้นไม้	1	3
	6.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	6.2 พฤติกรรมของไม้เมื่อถูกกระทำโดยแรงอัดในแนวนอนเส้นไม้		
	6.3 เครื่องมือทดสอบ		
	6.4 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	6.5 รายงานผลการทดสอบ		
7	การทดสอบแรงเฉือนขนานเส้นไม้	1	3
	7.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	7.2 พฤติกรรมของไม้ภายใต้แรงเฉือนขนานเส้นไม้		
	7.3 ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ		
	7.4 เครื่องมือทดสอบ		
	7.5 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	7.6 รายงานผลการทดสอบ		
8	การทดสอบแรงดัดของตัวอย่างไม้	1	3
	8.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	8.2 พฤติกรรมของไม้เมื่อถูกกระทำโดยแรงดัด		
	8.3 ตัวอย่างวัสดุและเครื่องมือที่ใช้		
	8.4 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	8.5 รายงานผลการทดสอบ		

หน่วยที่	รายการ	คาบเรียน	
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ
9	การทดสอบแรงอัดของเสาไม้ขนาดเล็ก	1	3
	9.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	9.2 ทฤษฎีว่าด้วยแรงอัดในเสา		
	9.3 ตัวอย่างวัสดุและเครื่องมือทดสอบ		
	9.4 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	9.5 รายงานผลการทดสอบ		
10	การทดสอบความแข็งของไม้	1	3
	10.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	10.2 ทฤษฎีว่าด้วยการทดสอบความแข็ง		
	10.3 เครื่องมือทดสอบ		
	10.4 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	10.5 รายงานผลการทดสอบ		
11	การทดสอบรอยต่อไม้อัดสลักเกลียว แรงกระทำ ขนานเส้น	1	3
	11.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	11.2 ลักษณะของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในรอยต่อ		
	11.3 เครื่องมือทดสอบ		
	11.4 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	11.5 รายงานผลการทดสอบ		
12	การทดสอบรอยต่อไม้อัดสลักเกลียว แรงกระทำ ตั้งฉากเส้น	1	3
	12.1 จุดประสงค์การทดสอบ		
	12.2 ลักษณะของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในรอยต่อ		
	12.3 เครื่องมือการทดสอบ		
	12.4 วิธีการและปฏิบัติการทดสอบ		
	12.5 รายงานผลการทดสอบ		
รวม		14	42
รวมทั้งสิ้น		56	คาบ

การประเมินผลการเรียน

การประเมินผลการเรียน ดำเนินการดังนี้

1 วิธีการ

รวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินผล แยกเป็น 3 ส่วน โดยแบ่งแยกคะแนนแต่ละส่วนจากคะแนนเต็ม 100 อันประกอบด้วย

- 1.1 งานที่มอบหมาย คือรายงานผลการทดสอบ 30%
- 1.2 กิจนิสัย ความสนใจ และการเข้าร่วมกิจกรรมการเรียน
- 1.3 การสอบแต่ละหน่วยเรียน 60%

โดยจัดคะแนนแต่ละหน่วยเรียนในตารางด้านล่าง

2. เกณฑ์ผ่าน

ผู้ที่สอบผ่านรายวิชานี้จะต้อง

- 2.1 มีคะแนนของงานที่มอบหมาย ไม่น้อยกว่า 60%
- 2.2 เวลาเรียนและการเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนไม่ต่ำกว่า 80%
- 2.3 ต้องสอบผ่านทุก ๆ หน่วยไม่น้อยกว่า 50% หน่วยใดที่ไม่ผ่าน ให้โอกาสสอบแก้ตัว 1 ครั้ง
- 2.4 ผลรวมของคะแนนที่ได้ทั้งหมด ไม่น้อยกว่า 50%

3. เกณฑ์ระดับคะแนน

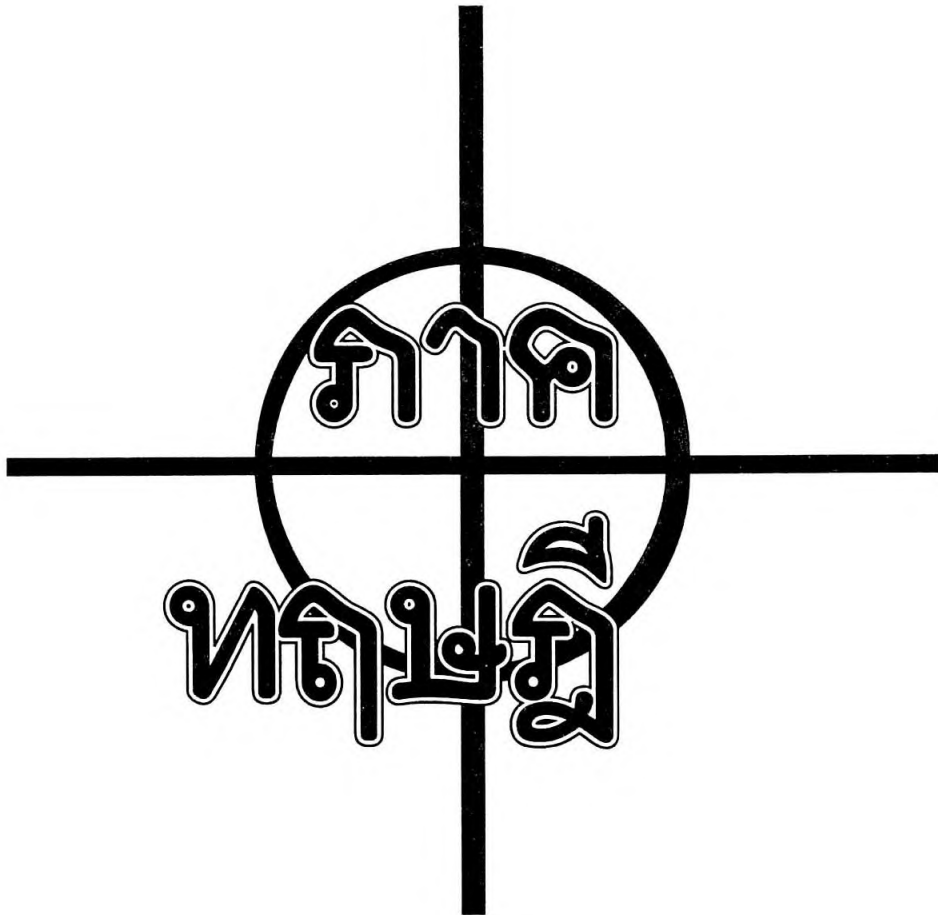
3.1 ผู้ที่ถือว่าสอบผ่านจะต้องได้คะแนนตามระบุในข้อที่ 2

3.2 ผู้ที่สอบผ่านรายวิชาแล้วแบ่งระดับคะแนนดังนี้

คะแนนร้อยละ	50-59	ได้ ง หรือ D
คะแนนร้อยละ	60-69	ได้ ค หรือ C
คะแนนร้อยละ	70-79	ได้ ข หรือ B
คะแนนร้อยละ	80 ขึ้นไป	ได้ ก หรือ A

ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนนและเกณฑ์ผ่าน

เลขที่หน่วย	คะแนนรายหน่วย เกณฑ์ผ่าน และน้ำหนักพฤติกรรม ชื่อหน่วย	คะแนนรายหน่วย	เกณฑ์ผ่านรายหน่วย	น้ำหนักคะแนน					
				พฤติกรรม				ทักษะพิสัย	จิตพิสัย
				ความรู้-จำ	ความเข้าใจ	การนำไปใช้	สูงกว่า		
1	การทดสอบการดูดซึมน้ำ กำลังอัด แรงดัดของอิฐ	4	↑ ↓	1	1	1		1	1
2.	การทดสอบแรงดึงของเหล็ก	6		2	2	1		1	
3.	การทดสอบแรงเฉือนของเหล็ก	4		1	1	1		1	
4.	การทดสอบรอยเชื่อม	6		2	2	1		1	
5.	การทดสอบแรงอัดตั้งฉากเส้น	4		1	1	1		1	
6.	การทดสอบแรงอัดขนานเส้น	6		2	2	1		1	
7	ทดสอบแรงเฉือนขนานเส้น	4		1	1	1		1	
8.	ทดสอบแรงดัดของคานไม้	6		2	2	1		1	
9.	ทดสอบแรงอัดของเสาไม้ขนาดเล็ก	4		1	1	1		1	
10.	ทดสอบความแข็งของไม้	4		1	1	1		1	
11	ทดสอบรอยต่อไม้ด้วยสลักเกลียว แรงกระทำขนานเส้น	6		1	2	2		1	
12.	ทดสอบรอยต่อไม้ด้วยสลักเกลียว แรงกระทำตั้งฉากเส้น	6		1	2	2		1	
ก	รวม	60	30	16	18	14		12	
ข	ผลงานที่มอบหมาย	30							
ค	กิจนิสัยและการเข้าร่วมกิจกรรม	10							
	รวมทั้งสิ้น	100							



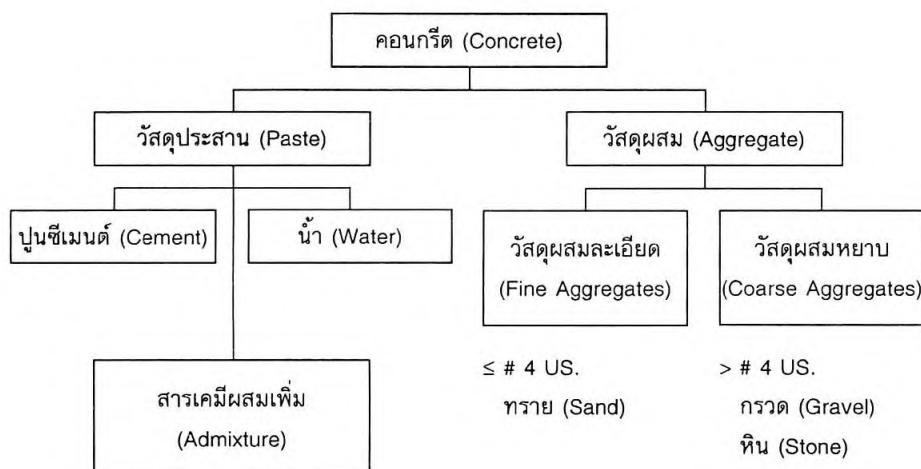


ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานคอนกรีต

ความหมายของคอนกรีต (Definition of Concrete)

คอนกรีต (Concrete) หมายถึง วัสดุที่เกิดจากการผสมผสาน (Mixed) ระหว่าง “วัสดุประสาน” อันเป็นการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำ กับ “วัสดุผสม (Aggregates)” อันได้แก่ ทรายและหินหรือกรวด ดังรูปที่ 1.1 รวมกันอยู่ในสภาวะไม่คืนสภาพ (Plastic) มีความสามารถในการเทได้ (Workability) สูงพอดีในการเทลงในแบบหล่อคอนกรีตตามขนาดและรูปร่างที่ต้องการ จากนั้นจะเกิดกระบวนการทางเคมีที่ทำให้คอนกรีตแข็งตัว และจะยังมีกำลังสูงขึ้นตามอายุของคอนกรีต

คอนกรีตสามารถแยกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นคือ วัสดุประสานหรือบางที่เราอาจเรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Paste) ก็ได้ กับวัสดุผสม โดยทั่วไปแล้ววัสดุประสานหรือซีเมนต์เพสต์นี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับความชื้น (Moisture) เวลา (Time) และอุณหภูมิ (Temperature)



รูปที่ 1.1 แผนภูมิแสดงองค์ประกอบของคอนกรีต

สำหรับรายละเอียดของส่วนประกอบของคอนกรีต จะกล่าวโดยละเอียดต่อไป

ประเภทของคอนกรีต (Type of Concrete)

โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างปัจจุบัน สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภทดังนี้

1. **คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete)** หมายถึง คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมร่วมเป็นส่วนประกอบโดยหล่ออยู่ในเนื้อคอนกรีต ใช้เป็นโครงสร้าง มีประสิทธิภาพสูง มีคุณสมบัติโดดเด่นในเรื่องความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive) และการรับกำลังดึง (Tensile) เพราะตามปกติแล้วคอนกรีตจะมีความสามารถในการรับกำลังอัดแต่จะด้อยในเรื่องกำลังรับแรงดึง ซึ่งใช้เหล็กเสริมมาทำหน้าที่รับแรงดึง อีกทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริมมีโมดูลัสความยืดหยุ่น E (Modulus of Elasticity) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ใกล้เคียงกันนั่นเอง ปัจจุบันกว่าร้อยละ 80 ของอาคารทั้งหมดใช้คอนกรีตประเภทนี้

2. **คอนกรีตล้วน (Plain Concrete)** หมายถึง คอนกรีตที่ไม่มีวัสดุใด ๆ ปะปนในส่วนประกอบของคอนกรีตเลย นั่นคือ จะมีเพียงวัสดุประสานและวัสดุผสม ปกติแล้วคอนกรีตประเภทนี้จะใช้เป็นโครงสร้างที่รับแรงอัดปริมาณมาก ๆ เช่น กำแพงกันดินพัง (Gravity Wall) ซึ่งใช้น้ำหนักของตัวกำแพงต้านทานแรงดันของดิน หรือใช้เป็นฐานของเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มักจะพบในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เป็นต้น

3. **คอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete)** หมายถึง คอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้รับการให้ความเค้นแก่ตัวเหล็กเสริมและคอนกรีตโดยที่ยังไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำ สามารถทำได้โดยการดึงเหล็กเสริมให้ค้างไว้ในคอนกรีต ในกรณีเช่นนี้จะเกิดความเค้นดึง (Tensile Stress) ที่เหล็กเสริมและความเค้นอัด (Compressive Stress) ที่คอนกรีต ทำให้ความสามารถของคอนกรีตประเภทนี้มีสูงมากขึ้นสามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบร่วมกับคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งในส่วนของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ไม่มากและไม่น้อยจนเกินไป นอกจากนี้ยังอาจมีการเพิ่มสารเคมีผสมเพิ่ม (Admixture) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตอีกด้วย

คอนกรีตอัดแรงสามารถแบ่งย่อยได้ตามวิธีการอัดแรงเป็น 2 ประเภทคือ คอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กก่อน (Pre-Tensioned Concrete) และคอนกรีตอัดแรงแบบดึงเหล็กทีหลัง (Post Tensioned Concrete)

องค์ประกอบของคอนกรีต (Component of Concrete)

องค์ประกอบของคอนกรีตนั้นมีหลายประเภทที่ต้องผสมผสานกัน ดังรูปที่ 1.1 โดยมีรายละเอียดขององค์ประกอบของคอนกรีตดังนี้

1. **ปูนซีเมนต์ (Cements)** หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด (Clinker) ซึ่งได้จากการเผาแคลเซียมและอะลูมิเนียมซิลิเกตจนเป็นผงละเอียด สามารถทำปฏิกิริยาความร้อนกับน้ำแล้วจับตัวกันเหนียวแน่น เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ดังนั้นจึงสามารถเรียกชื่อได้อีกชื่อหนึ่งว่า ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Cement) หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) อันเป็นชื่อเกาะปอร์ตแลนด์ในประเทศอังกฤษ ซึ่งมีหินที่มีลึคล้ายปูนซีเมนต์

- ประเภทของปูนซีเมนต์ (Type of Cement)** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (มอก.) ได้แบ่งประเภทของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์เป็นประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภทดังต่อไปนี้
- ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1** เป็นปูนซีเมนต์ธรรมดาทั่วไป (Ordinary Cement) ใช้ในการผสม (Type I Cement) คอนกรีตเพื่อใช้เป็นโครงสร้างทั่วไปที่ไม่มีความพิเศษใด ๆ หรือใช้ทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ
- ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 2** เป็นปูนซีเมนต์ดัดแปลง (Modified Cement) ใช้ในการผสมคอนกรีต (Type II Cement) ที่ต้องการให้เกิดความร้อนและมีความสามารถทนทานซัลเฟตได้ในระดับต่ำถึงปานกลาง ยกตัวอย่างเช่น กำแพงกันดินหนา ๆ (Retaining Wall) ท่อคอนกรีต ดอมือสะพาน เป็นต้น
- ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3** เป็นปูนซีเมนต์กำลังสูง (High-Early Strength Cement) หรือเรียก (Type III Cement) อีกชื่อว่าซูเปอร์ซีเมนต์ (Super Cement) แตกต่างกับปูนซีเมนต์ธรรมดาตรงที่เนื้อมีความละเอียดมากกว่า ทั้งยังมีการเติมสารเร่งการก่อตัวและมีรูปแบบในการเผาเม็ดปูนที่ละเอียดมากขึ้น ใช้ในการผสมคอนกรีตที่ต้องการให้แบ่งตัวเร็ว เช่น เสาเข็ม คานและเสาที่ต้องถอดแบบเร็ว ๆ เป็นต้น
- ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 4** เป็นปูนซีเมนต์ความร้อนต่ำ (Low-Heat Cement) ใช้ในงานก่อสร้าง (Type IV Cement) ที่ใช้คอนกรีตหนา เนื่องจากขณะที่คอนกรีตเริ่มมีการแข็งตัวอุณหภูมิจะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่น เช่น การก่อสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ เป็นต้น
- ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5** เป็นปูนซีเมนต์ทนทานซัลเฟต (Sulfate-Resistant Cement) ใช้ในการผสมคอนกรีตที่ใช้เป็นโครงสร้างที่มีการกระทำของซัลเฟตสูง ๆ เช่น ในน้ำหรือดินที่เป็นด่าง แต่จะมีระยะเวลาในการก่อตัวช้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ช่วยให้ประหยัดเวลาได้มากขึ้น เช่น พื้นสำเร็จรูปที่นิยมนำมาวางบนคานคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วจึงเททับหน้า (Topping) หรือในกรณีของสะพานลอย เป็นต้น

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ส่งผลให้เกิดความร้อน และมีความเหนียวพอที่จะยึดวัสดุผสมต่าง ๆ ให้ติดกันได้ ความร้อนดังกล่าวเรียกว่า “ความร้อนไฮเดรชัน” (Heat of Hydration) ปกติจะมีค่าความร้อน 85-100 แคลอรี/กรัม

ความร้อนนี้บางส่วนจะมีการระเหยออกจากเนื้อคอนกรีต และความร้อนส่วนใหญ่จะยังคงค้างอยู่ในเนื้อคอนกรีต เป็นเหตุให้คอนกรีตเสียความแข็งแรง เกิดการแตกร้าวได้ ดังนั้นการบ่มคอนกรีตซึ่งเป็นการป้องกันการสูญเสียน้ำของคอนกรีตจึงมีความสำคัญมากทีเดียว

อนึ่งปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้ จะหยุดการทำปฏิกิริยาเมื่อน้ำมีการระเหยออกจากวัสดุประสาน หรือซีเมนต์เพสต์หมดแล้ว ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย เนื่องจากว่าคอนกรีตเมื่อแห้งแล้วภายในผิวคอนกรีตเองซีเมนต์ยังคงทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไป โดยอาศัยความชื้นจากสภาวะแวดล้อม

ต่าง ๆ เช่น น้ำใต้ดิน ฝนตก เป็นต้น ดังนั้นปฏิกิริยาไฮเดรชันภายในคอนกรีตภายในสภาวะแวดล้อมธรรมดาทั่วไป จึงยังคงดำเนินต่อไปเป็นเวลายาวนาน

2. วัสดุผสม (Aggregates) หมายถึง แร่ธาตุเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยาใด ๆ เมื่อได้รับความชื้น อาจได้จากธรรมชาติ เช่น หิน ททราย หรือเป็นวัสดุที่มนุษย์ผลิตขึ้น เช่น ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก เพื่อใช้เป็นส่วนผสมส่วนใหญ่ในเนื้อคอนกรีต ซึ่งมีค่าประมาณ 75-80% ของเนื้อคอนกรีต ช่วยลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตเนื่องจากราคาของวัสดุผสมมีค่าน้อยกว่าซีเมนต์เฟสท์มาก

ประเภทของวัสดุผสม (Type of Aggregates) โดยทั่วไปแล้วเราจะแบ่งประเภทของวัสดุผสมตามขนาดของวัสดุผสมในการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันเบอร์ 4 เป็น 2 ประเภทดังนี้

1 **วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate)** คือวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. สามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันเบอร์ 4 ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม. เพราะถ้าเล็กกว่าจำนวนดังกล่าวถือว่าเป็นดินเหนียว (Clays) หรือฝุ่น (Silt) วัสดุผสมละเอียดนี้ได้แก่ ททราย (Sand) ซึ่งมีทั้งทรายน้ำจืด และทรายน้ำเค็ม

2 **วัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregate)** คือวัสดุที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไป นั่นคือไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันเบอร์ 4 ได้ วัสดุผสมหยาบนี้ได้แก่ กรวด (Gravel) และหิน (Stone) ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเพียงหินเท่านั้น

ประเภทของหิน (Type of Stone) โดยปกติการแบ่งประเภทของหินจะมีวิธีการแบ่งซึ่งได้รับความนิยม 2 แบบ ได้แก่

- 1 แบ่งทางธรณีวิทยา
2. แบ่งทางกายภาพ

1 **การแบ่งประเภทของหินทางธรณีวิทยา** ปกติจะแบ่งเป็น 3 ประเภทดังรูปที่ 1.2 ได้แก่

1.1 **หินอัคนี (Igneous Rocks)** ซึ่งเกิดจากการแข็งตัวของเหลวหรือกึ่งเหลว มีเนื้อแข็งแกร่งเป็นก้อนเดียวโดยไม่ต้องอาศัยวัสดุประสานใด ๆ ตัวของหินประเภทนี้ได้แก่ หินแกรนิต หินบะซอลท์ หินลาวา และหินเซียว

1.2 **หินชั้น (Sedimentary Rocks)** ซึ่งเกิดจากการแข็งตัว วัสดุที่ถูกพัฒนามาและเกิดกระบวนการทับถม โดยได้รับอิทธิพลจากลม น้ำและน้ำแข็ง เป็นต้น ตัวอย่างหินประเภทนี้ได้แก่ หินปูน หินทราย และหินดินดาน

1.3 **หินแปร (Metamorphic Rocks)** ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอย่างช้า ๆ ของหินอัคนีและหินชั้น โดยได้รับอิทธิพลจากความร้อน น้ำ ความดัน ตลอดจนอิทธิพลทางกายภาพอื่น ๆ ตัวอย่างของหินประเภทนี้ได้แก่ หินอ่อน หินชนวน หินไนส์

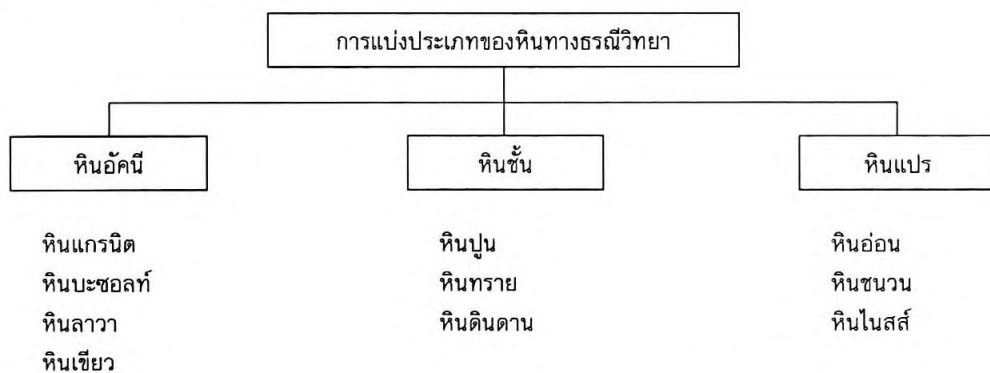
2. **การแบ่งประเภทของหินทางกายภาพ** เป็นการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างดังรูปที่ 1.3 ของหินขนาดใหญ่ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.1 **หินไม่เป็นชั้น (Unstratified Rocks)** โครงสร้างของหินไม่เป็นชั้นนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะโครงสร้างวัสดุเม็ด (Aggregate) และเม็ดผลึก (Crystalline Grains) ซึ่งจับตัวกันแน่น ตัวอย่างของหินประเภทนี้ได้แก่ หินแกรนิต หินบะซอลท์ หินลาวา หินดับเบิล

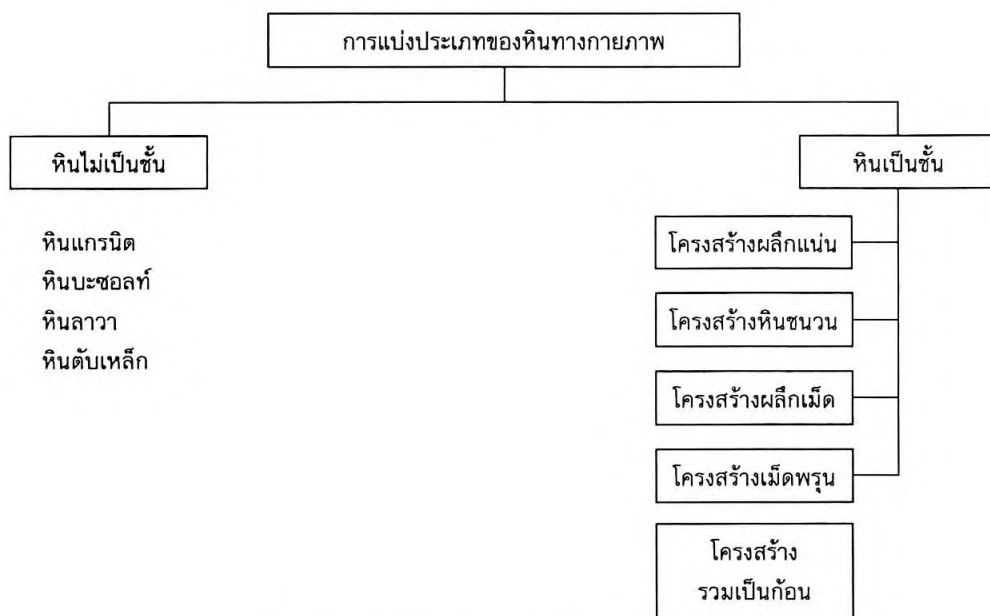
2.2 หินเป็นชั้น (Stratified Rocks) การแบ่งประเภทของหินเป็นชั้นนี้ แบ่งตามลักษณะของโครงสร้างทางกายภาพ แยกย่อยได้อีก 5 ประเภทได้แก่

- 1) โครงสร้างแบบผลึกแน่น (Compact Crystalline Structure) ได้แก่ หินอ่อน
- 2) โครงสร้างแบบหินชนวน (Slaty Structure) ได้แก่ หินดินดานและหินชนวน
- 3) โครงสร้างแบบผลึกเม็ด (Granular Crystalline Structure) ได้แก่ หินปูนน้ำเงิน
- 4) โครงสร้างเม็ดพรุน (Porous Granular Structure) ได้แก่ หินที่มีลักษณะคล้ายเปลือกหอย และประสานติดกันดี

5) โครงสร้างแบบรวมกันเป็นก้อน (Conglomerate Structure) ได้แก่ หินที่มีลักษณะของหินฝังตัวรวมอยู่ในมวลของหินอีกก้อนหนึ่ง



รูปที่ 1.2 แผนภาพการแบ่งประเภทของหินทางธรณีวิทยา



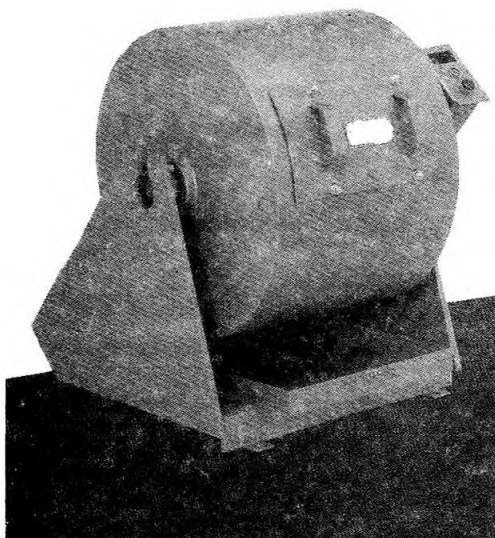
รูปที่ 1.3 แผนภาพการแบ่งประเภทของหินทางกายภาพ

สมบัติของวัสดุผสม (Properties of Aggregates) สมบัติของวัสดุผสมที่จะนำมาใช้ผสมคอนกรีต ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. **มีความแข็งแรง (Strength)** สามารถรับกำลังแรงอัดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต ซึ่งโดยปกติแล้ววัสดุผสมที่ไม่ถูกกระทำให้แปรสภาพตามดินฟ้าอากาศ สามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงกว่าคอนกรีตอยู่แล้ว

2. **มีความทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasion Resistance)** อันเป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพของวัสดุผสมที่นำมาใช้ในคอนกรีต สำหรับงานที่ต้องการสมบัติของคอนกรีตในด้านที่ทนต่อการกระแทกและเสียดสี เช่น พื้น หรือถนน เป็นต้น

การทดสอบสมบัติด้านความทนทานต่อการสึกหรอของวัสดุผสมหยาบ สามารถทำได้โดยวิธีทดสอบการสึกหรอลอสแอนเจลีส (Los Angeles Abrasion Test) ซึ่งอาศัยเครื่องหมายทดสอบการสึกหรอลอสแอนเจลีส (Los Angeles Abrasion Machine) ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 เครื่องทดสอบการสึกหรอลอสแอนเจลีส

การทดสอบการสึกหรอลอสแอนเจลีส เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบที่สูญเสียไปในการทดสอบ กับขีดกำหนดตามค่าที่ต้องการตามมาตรฐาน

3. **มีรูปร่างและผิวที่เหมาะสม (Particle Shape & Surface Texture)** อันเป็นตัวควบคุมความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต วัสดุผสมจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงลักษณะแบบเรียวยาวเป็นแผ่นยาว (Flat & Elongate Particle) เนื่องจากลักษณะดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์เพื่อเป็นตัวประสานวัสดุมากกว่าปกติ อีกทั้งกำลังและแรงยึดเหนี่ยวก็ลดลงไปเช่นกัน จำเป็นต้องใช้วัสดุผสมที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม มีแฉะ มีคม เพื่อใช้ยึดเหนี่ยวซีเมนต์เฟสท์อันเป็นตัวประสานวัสดุผสม

4. **มีความสะอาด (Cleanness)** เนื่องจากสารเจือปนต่าง ๆ เช่น เศษไม้ เปลือกหอยปูน ถ่าน ฝุ่น โคลน ฯลฯ ล้วนแต่เป็นเหตุให้คอนกรีตมีสมรรถภาพลดลงเพราะความทนทานและแรงยึดเหนี่ยวลดลง บางครั้งอาจทำให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหายไปเลยก็ได้

ปริมาณสารเจือปนในวัสดุผสมสามารถกำหนดตามตารางที่ 1 1

ตารางที่ 1 1 ปริมาณสารเจือปนในวัสดุผสมที่ยอมให้เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

ประเภทของสารเจือปน	วัสดุผสมละเอียด	วัสดุผสมหยาบ
ดินเหนียว (Clay)	1.00	0.25
ฝุ่น (Silt) ที่ลอดผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 200	5.00	1.00
วัสดุจำพวกถ่านหิน เปลือกหอย ฯลฯ	0.5-1.0	0.5-1.0
วัสดุจำพวกรากไม้ เศษไม้ ฯลฯ	0.25	5.00

การทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติของหินนี้ โดยทั่วไปจะใช้การทดสอบโดยวิธีการวิเคราะห์ส่วนและโดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Gradation Test by Sieves Analysis) อาศัยชุดตะแกรงมาตรฐานแบบสั่นเหวี่ยง (Aggregate Shaker) ดังแสดงในรูปที่ 1.5 จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ในกราฟแบบ Semi-log จะทำให้ทราบขนาดการคละตัวของหินว่ามีความคละตัวดีเพียงใด โดยจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานดังตารางที่ 1.2 และ 1.3



รูปที่ 1.5 ชุดตะแกรงมาตรฐานแบบสั่นเหวี่ยง (Aggregate Shaker)

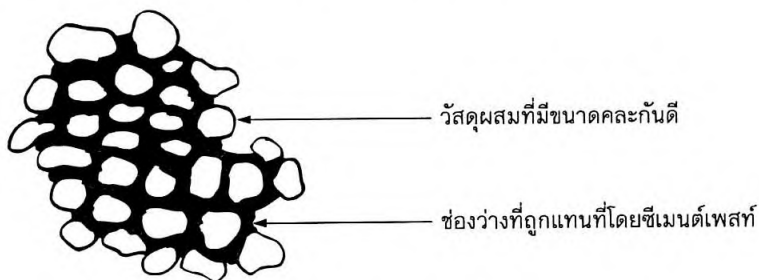
ตารางที่ 1.2 ข้อกำหนดส่วนขนาดการคละตัวของวัสดุผสม (ASTM C33)

ขนาดตะแกรง	ร้อยละผสมที่ตัวบนตะแกรง				
	ทราย	หิน			
		No. 4 - $\frac{3}{4}$ นิ้ว	No. 4 - 1 นิ้ว	No. 4 - $1\frac{1}{2}$ นิ้ว	No. 4 - 2 นิ้ว
2 นิ้ว				0	0-5
1 1/2 นิ้ว			0	0-5	
1 นิ้ว		0	0-5		30-65
3/4 นิ้ว		0-10		30-65	
1/2 นิ้ว			40-75		70-90
3/8 นิ้ว	0	45-80		70-90	

ตารางที่ 1.3 ข้อกำหนดส่วนขนาดการคละตัวของวัสดุผสม (ASTM C33) (ต่อ)

ขนาดตะแกรง	ร้อยละผสมที่ตัวบนตะแกรง				
	ทราย	หิน			
		No. 4 - $\frac{3}{4}$ นิ้ว	No. 4 - 1 นิ้ว	No. 4 - $1\frac{1}{2}$ นิ้ว	No. 4 - 2 นิ้ว
No.4	0-50	90-100	90-100	95-100	95-100
No.8	0-20	95-100	95-100		
No.18	15-50				
No.30	40-75				
No.50	70-90				
No.100	90-98				

5. มีขนาดส่วนคละ (Gradation) ตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งต้องมีการไล่เรียงของขนาดของวัสดุผสม เนื่องจากจะช่วยให้การเรียงตัวของวัสดุผสมดีขึ้น แน่นขึ้น มีช่องว่างน้อยลง ทำให้ปริมาณซีเมนต์เฟสท์ลดลง ทำให้คอนกรีตมีราคาประหยัดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 ลักษณะการยัดเหนียวของวัสดุผสมในเนื้อคอนกรีต

การทดสอบจะทดลองโดยวิธีการวิเคราะห์ส่วนคละจากการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

3. น้ำ (Water) หมายถึง ส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้เป็นตัวทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันภายในเนื้อคอนกรีต

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องมีความสะอาดพอสมควร ปกติต้องมีความชื้นไม่เกิน 2,000 ส่วนในล้าน และต้องปราศจากกรดและด่างรวมไปถึงสารปนเปื้อนอื่น อันมีผลกระทบต่อวัสดุผสมและปูนซีเมนต์ ซึ่งปริมาณของสารปนเปื้อนที่ยอมให้ของน้ำดังแสดงในตารางที่ 1.4

นอกจากน้ำจะใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตแล้ว ยังมีส่วนสำคัญในการทำหน้าที่บ่มคอนกรีต เพื่อป้องกันคอนกรีตสูญเสียความชื้น อันจะส่งผลให้เกิดผลเสียต่อสมบัติของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สมบัติความแข็งแรงของคอนกรีต ในส่วนของหน้าที่ของน้ำในการผสมคอนกรีตสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

- 1 ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งทำให้ปูนซีเมนต์กลายเป็นซีเมนต์เพสต์เพื่อยึดเกาะวัสดุผสม
2. ทำให้วัสดุผสมเปียกเพื่อให้ปูนซีเมนต์จับกับผิวของวัสดุผสมได้ตลอดพื้นผิว
3. ทำให้การผสมคอนกรีตมีความสะดวกขึ้น เกิดความชื้นเหลว มีความสามารถในการเทได้พอสมควร อันทำให้การปฏิบัติงานในการหล่อคอนกรีตง่ายและเกิดประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1.4 ปริมาณของสารปนเปื้อนที่ยอมให้ของน้ำ

ประเภทของสารปนเปื้อน	ปริมาณที่ยอมให้ (ppm.)
เกลือของแร่เหล็ก	40,000
แมกนีเซียมซัลเฟต, แมกนีเซียมคลอไรด์	40,000
โซเดียมคลอไรด์	20,000
โซเดียมซัลเฟต	10,000
ไบคาร์บอเนต, โซเดียมคาร์บอเนต	1,000
แคลเซียมคาร์บอเนต, แมกนีเซียมคาร์บอเนต	400
น้ำทะเล	35,000
กรด	10,000
ฝุ่น, อนุภาคลอยตัว, สารแขวนลอย	2,000
น้ำเสียจากอุตสาหกรรม	4,000
น้ำโสโครก	400
ตะไคร่น้ำ	1,000
น้ำตาล	500
น้ำมัน	2% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์
โซเดียมไฮดรอกไซด์	1% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

หมายเหตุ ppm. หมายถึงปริมาณส่วนต่อล้านส่วน

สารเคมีผสมเพิ่ม (Admixture)

สารเคมีผสมเพิ่ม หมายถึง สารเคมีในส่วนของวัสดุประสานที่นอกเหนือไปจากน้ำและปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมรวมลงไปคอนกรีต ไม่ว่าขณะผสมหรือผสมเสร็จแล้วเพื่อเพิ่มเติมสมบัติพิเศษแก่คอนกรีต ให้คอนกรีตมีคุณภาพและถูกต้องตามข้อกำหนดพิเศษ (Specials Specification) ของงานก่อสร้าง เช่น เร่งการก่อตัว หน่วงการก่อตัว เพิ่มความร้อน เป็นต้น

ประเภทของสารเคมีผสมเพิ่ม

สารเคมีผสมเพิ่มที่นิยมใช้ผสมในคอนกรีตปกติมี 4 ประเภทดังต่อไปนี้

1. สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อเร่งการก่อตัว (Accelerators) เป็นตัวทำปฏิกิริยากับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีการก่อตัวและแข็งตัวเร็วกว่าปกติ ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดในช่วงแรกมีค่าสูงกว่าปกติ จึงใช้ในงานคอนกรีตที่ต้องการถอดแบบเร็ว และสามารถรับแรงอัดได้เร็ว เช่น การทำเสาเข็มเจาะ เสาและพื้นคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น

สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อเร่งการก่อตัวที่นิยมใช้ ได้แก่

- โซเดียมซิลิเกต
- แคลเซียมคลอไรด์

2. สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อลดการก่อตัว (Retarders) เป็นตัวทำปฏิกิริยากับคอนกรีต ทำให้คอนกรีตก่อตัวและแข็งตัวช้ากว่าปกติประมาณ 1-2 ชั่วโมง มักพบในกรณีของคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งต้องมีการบรรทุกจากโรงงานไปยังสถานที่ก่อสร้าง บางครั้งมีระยะทางไกลรวมถึงความขัดข้องทางการจราจร อย่างไรก็ตาม คอนกรีตที่มีการผสมสารเคมีผสมเพิ่มเพื่อลดการก่อตัวนี้ มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตในช่วงแรก (1-3 วันแรก) ลดลงไปพอสมควร แต่จะมีกำลังสูงดังเดิมในระยะหลัง เนื่องจากว่าสารเคมีผสมเพิ่มเพื่อลดการก่อตัวจะทำปฏิกิริยาทำให้มีการลดปริมาณน้ำลงประมาณ 5-15% และเมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดก็จะมีค่าเท่ากับคอนกรีตธรรมดาเช่นเดิม

สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อลดการก่อตัวที่นิยมใช้ ได้แก่

- แคลเซียมซัลเฟต
- คาร์โบไฮเดรต
- กรดเกลือลิทโมสโซลโฟนิค
- กรดเกลือไฮดรอกซีเลตคาร์โบซิลิก
- น้ำตาล

3. สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entraining Admixture) เป็นตัวทำปฏิกิริยากับคอนกรีต ช่วยให้มีฟองอากาศขนาดเล็ก ๆ ซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น กระจายปนอยู่ในเนื้อของคอนกรีตประมาณ 3-6% โดยฟองอากาศเหล่านี้ไม่สามารถทะลุสัมผัสกันได้

การเกิดฟองอากาศดังกล่าวมีผลทำให้คอนกรีตเหลวมาก สามารถหล่อขึ้นรูปได้ง่ายแม้ว่าจะผสมน้ำน้อย และยังป้องกันน้ำในคอนกรีตแข็งตัวก่อนที่คอนกรีตจะเริ่มก่อตัว ซึ่งมักพบในประเทศตะวันตกที่มีสภาพภูมิอากาศหนาวเย็นมาก ๆ ทำให้น้ำในคอนกรีตจับตัวเป็นน้ำแข็งและทำให้คอนกรีตเกิดความเสียหาย

อย่างไรก็ตาม คอนกรีตมีการผสมสารเคมีผสมเพิ่มเพื่อกักกระจายฟองอากาศนี้ จะมีผลทำให้คอนกรีตมีกำลังต่ำลงไปพอสมควร และอีกประการหนึ่งที่สำคัญคือ ต้องระมัดระวังในการใช้เครื่องเขย่าหรือเครื่องจี้คอนกรีตในกรณีเทลงในแบบหล่อคอนกรีต เนื่องจากการใช้เครื่องเขย่าอาจทำให้ฟองอากาศลดน้อยลงไปเกือบร้อยละ 50 ที่เดียว

สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อกักกระจายฟองอากาศที่นิยมใช้ ได้แก่

- สารเคมีที่สกัดจากยางไม้
- กรดที่สกัดจากยางไม้
- ไฮลัตว์
- น้ำมันพืชบางชนิด

4. สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อลดปริมาณน้ำ (Water-Reducing Admixture) เป็นตัวทำปฏิกิริยากับคอนกรีตเพื่อลดปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีต เพื่อให้คอนกรีตเหลวขึ้น

สมบัติที่สำคัญของส่วนผสมคอนกรีต

ในการหาส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐาน จำเป็นมากที่จะต้องทราบสมบัติต่าง ๆ ของส่วนผสมคอนกรีตเสียก่อนดังนี้

ก) ปูนซีเมนต์ (Cement)

ความถ่วงจำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 (โดยทั่วไปทางบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์ได้ทดสอบค่าไว้แล้ว ประมาณ 3.15)

ข) วัสดุผสม (Aggregates)

ขนาดคละ ตามมาตรฐาน ASTM C33

ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C125

ความถ่วงจำเพาะ

1) ทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128

2) หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127

ความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C70 และ C566

หน่วยน้ำหนักของหิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C29



ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอิฐและวัสดุก่อ

ความหมายของอิฐและวัสดุก่อ (Definition of Brick & Build Materials)

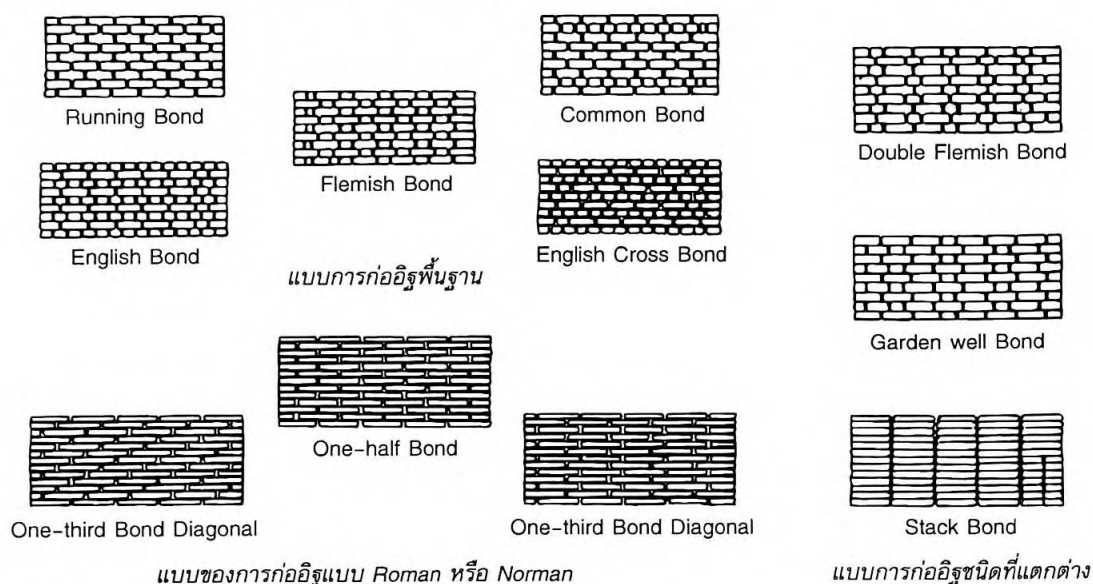
อิฐและวัสดุก่อ (Brick & Build Materials) หมายถึง วัสดุที่ผลิตเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบประเภทผนัง (Wall) ของอาคารทั่วไป ดังนั้นกำลังของอิฐจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณามากนัก ถือว่าเป็นส่วนประกอบขององค์อาคารเท่านั้นไม่ใช่โครงสร้างหลัก

การใช้อิฐและวัสดุก่อเป็นส่วนประกอบขององค์อาคารนั้น เหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่งนั้นคือ เพื่อดกแต่งอาคารให้สวยงาม และการปกป้องทรัพย์สินที่เก็บไว้ภายในอาคาร

รูปแบบของอาคารก่ออิฐเป็นผนังของอาคารมี 2 ลักษณะ ได้แก่

1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน ได้แก่ การก่อผนังจนเต็มแผ่นด้วยอิฐ จากนั้นจึงทำการฉาบปูนให้ผิวเรียบสม่ำเสมอ แล้วจึงทาสีให้สวยงาม พบมากในอาคารบ้านเรือนในปัจจุบัน

2. ผนังก่ออิฐโชว์แนว ได้แก่ การก่อผนังจนเต็มแผ่นด้วยอิฐ จากนั้นมีการเซาะร่องแนวรอยต่อเพื่อให้แนวรอยต่อของอิฐเป็นรูปแบบต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.1



แบบของการก่ออิฐแบบ Roman หรือ Norman

แบบการก่ออิฐชนิดที่แตกต่าง

รูปที่ 2.1 ภาพรูปแบบของการก่ออิฐโชว์แนว

ประเภทของอิฐและวัสดุก่อ (Type of Brick & Build Material)

โดยปกติอิฐและวัสดุก่อจะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. อิฐ
2. วัสดุก่อ

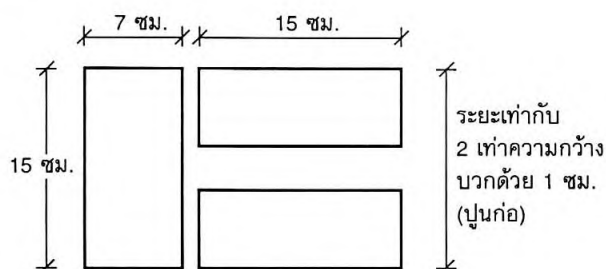
1. **อิฐ (Brick)** ประเภทของอิฐยังสามารถแยกย่อยได้อีก 4 ชนิดได้แก่

1.1 **อิฐมอญ** เป็นอิฐที่ได้จากการใช้วัสดุจำพวกดินเหนียวหรือดินดาน มาผสมกับทราย และซีเมนต์แล้วผสมเข้าด้วยกัน และมีขั้นตอนการผลิตดังแสดงเป็นแผนภาพในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภาพขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ

ขนาดของอิฐมอญ มีขนาดต่าง ๆ กันแล้วแต่ความนิยม ในสมัยกรุงศรีอยุธยาอิฐจะมีขนาดใหญ่กว่าในปัจจุบันมาก ขนาดของอิฐที่เผาในปัจจุบันมีขนาดกว้าง 7 ซม. ยาวประมาณ 15-15.5 ซม. หนาประมาณ 3.5-4 ซม. ขนาดของอิฐที่ดีต้องมีความยาวเป็นสองเท่าของความกว้าง ($L = 2D$) บวกกับระยะปูนก่อประมาณ 1 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 2.3

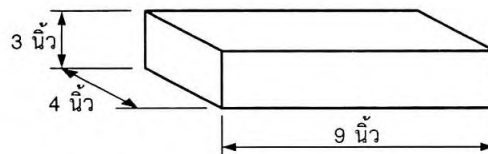


รูปที่ 2.3 ขนาดของอิฐมอญโดยทั่วไป

1.2 อิฐมาตรฐาน ได้แก่ อิฐบางปะกง (บปก.) อิฐบางบัวทอง (บบท.) และอิฐสยาม (cm) มีขั้นตอนการผลิตคล้ายกับอิฐมอญ เพียงแต่รูปร่างและขั้นตอนการอัดรูปจะเป็นไปอย่างมีมาตรฐาน และระบบการเผาสมบูรณ์แบบกว่า

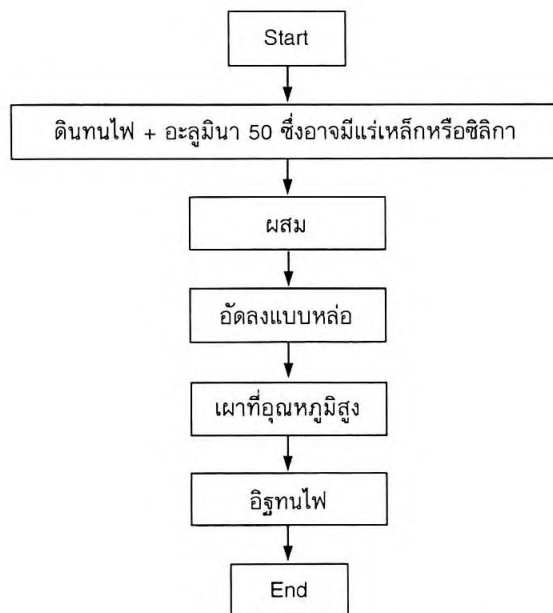
ลักษณะของอิฐมาตรฐานนี้จะมีลักษณะผิวเรียบ สวยงาม ขนาดได้มาตรฐานมากกว่าอิฐมอญอีกด้วย

ขนาดของอิฐมาตรฐาน อิฐมาตรฐานที่ใช้ในงานก่อสร้างโดยทั่วไปแล้ว ขนาดที่ผลิตออกมาจากเครื่องจะมีหน่วยเป็นนิ้ว (Inch) มีขนาดยาว 9 นิ้ว กว้าง 4 นิ้ว และหนา 3 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีน้ำหนักก้อนละ 0.25 กก.



รูปที่ 2.4 ขนาดของอิฐมาตรฐาน

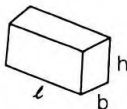
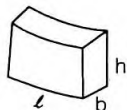
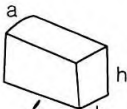
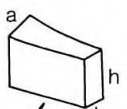
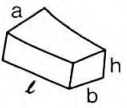
1.3 อิฐทนไฟ เป็นวัสดุที่ใช้ในกรณีพิเศษ และต้องการสภาพของอาคารที่ทนความร้อนจากเพลิงและแสงแดดสูงโดยไม่เกิดความเสียหาย เช่น เตาเผาอิฐ เมาเผาศพ เป็นต้น และมีขั้นตอนการผลิตดังแสดงเป็นแผนภาพในรูปที่ 2.5

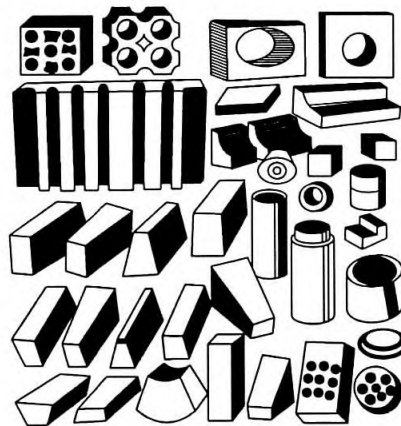


รูปที่ 2.5 แผนภาพขั้นตอนการผลิตอิฐทนไฟ

ขนาดของอิฐทนไฟ โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งขนาดของอิฐทนไฟตามรูปร่างลักษณะ 5 แบบ ได้แก่ อิฐทนไฟแบบสี่เหลี่ยม, อิฐทนไฟแบบสี่เหลี่ยมบาง, อิฐทนไฟแบบกลีบส้ม, อิฐทนไฟแบบหัวขวาน และอิฐทนไฟแบบลิ้ม ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดของอิฐทนไฟแบบต่าง ๆ

รายละเอียด รูปร่าง	เบอร์อิฐ	ขนาดเป็น มม.				รัศมีนอก เป็น มม.	น้ำหนักโดยประมาณเป็น กก. ต่อก้อน								
		a	b	h	l		เค-30	เค-35	เค-38	เค-43	เค-50	เควาย-55	เค-60	ปี-75	ปี-80
สี่เหลี่ยม 	เอสที-76		76	115	230		4.1	4.2	4.3	4.4	4.6	4.6	4.8	4.9	5.1
	เอสที-64		64	115	230		3.5	3.6	3.6	3.7	3.9	3.9	4.1	4.2	4.3
สี่เหลี่ยมบาง 	เอสพี-50		50	115	230		2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0	3.2	3.2	3.4
	เอสพี-38		38	115	230		2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.6
	เอสพี-32		32	115	230		1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1	2.2
	เอสพี-25		25	115	230		1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7
กลีบส้ม 	เอสเอ-70	76	70	115	230	1500	3.9	4.0	4.1	4.2	4.4	4.4	4.6	4.7	4.9
	เอสเอ-64	76	64	115	230	750	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.4	4.5	4.7
	เอสเอ-50	76	50	115	230	350	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	4.0	4.1	4.2
หัวขวาน 	อีเอ-70	76	70	115	230	3000	3.9	4.0	4.1	4.2	4.4	4.4	4.6	4.7	4.9
	อีเอ-64	76	64	115	230	1500	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.4	4.5	4.7
	อีเอ-50	76	50	115	230	700	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	4.0	4.1	4.2
ลิ้ม 	เคอี-100	115	100	76	230	2000	3.8	3.9	4.0	4.1	4.3	4.3	4.5	4.6	4.8
	เคอี-89	115	89	76	230	1000	3.6	3.7	3.8	3.9	4.1	4.1	4.3	4.3	4.5
	เคอี-76	115	76	76	230	700	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.8	4.0	4.1	4.2



รูปที่ 2.6 ลักษณะของอิฐทนไฟ

1.4 คอนกรีตบล็อก เป็นวัสดุที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับหินคลุกเม็ดเล็ก ทรายและน้ำ ผสมเข้ากัน จากนั้นนำไปใส่เครื่องอัดซึ่งเป็นแบบเหล็ก อัดให้แน่นแล้วนำไปเรียงบ่มในร่ม 7-14 วัน จนแข็งแรงพอจึงนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้

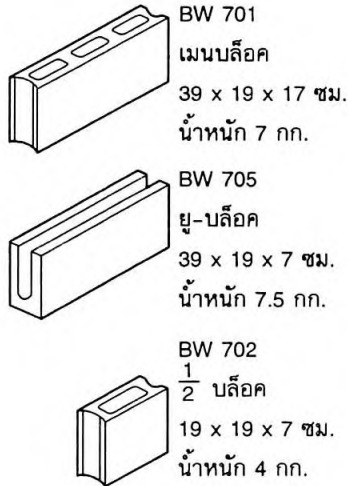
คอนกรีตบล็อกมีรูปร่างเป็นเหลี่ยม เป็นมุม ผิวเรียบ ไม่เยื้องตัวหรือบิดงอ มีความแข็งแรงทนทานดี

ขนาดของคอนกรีตบล็อก โดยปกติคอนกรีตบล็อกจะมี 3 ขนาด แต่ละขนาดมีย่อยเป็นแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

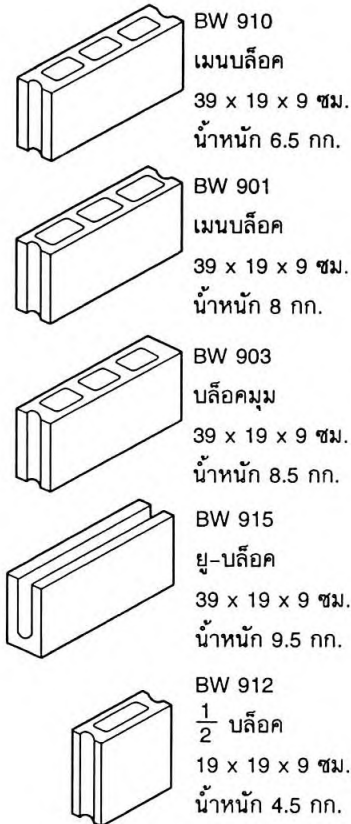
- 1) ขนาด 3 in (7 cm.) มี 3 แบบ ได้แก่
 - 1.1 BW 701 Main Block
 - 1.2 BW 705 U-Block
 - 1.3 BW 701 Half Block
- 2) ขนาด 4 in (9 cm.) มี 5 แบบ ได้แก่
 - 2.1 BW 910 Main Block
 - 2.2 BW 901 Main Block
 - 2.3 BW 903 Angle Block
 - 2.4 BW 915 U-Block
 - 2.5 BW 912 Half Block
- 3) ขนาด 6 in (14 cm.) มี 5 แบบ ได้แก่
 - 3.1 BW 141 Main Block
 - 3.2 BW 143 Angle Block
 - 3.3 BW 145 U-Block
 - 3.4 BW 142 Half Block
 - 3.5 BW 144 Half Block

ลักษณะและขนาดของคอนกรีตบล็อกดังแสดงในรูปที่ 2.7

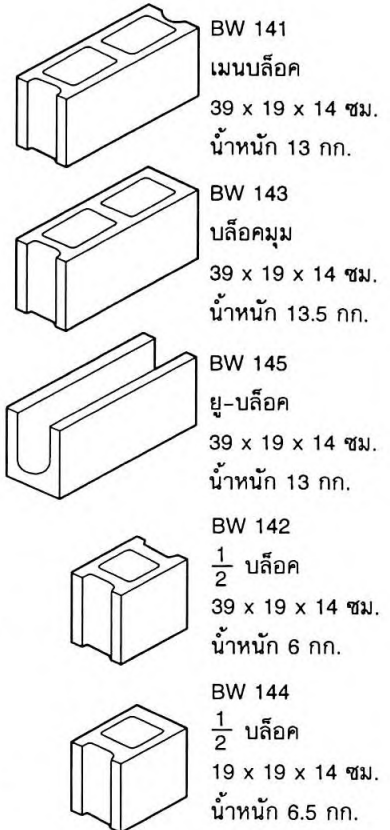
ขนาด 7 ซม. (3 นิ้ว)



ขนาด 9 ซม. (7 นิ้ว)



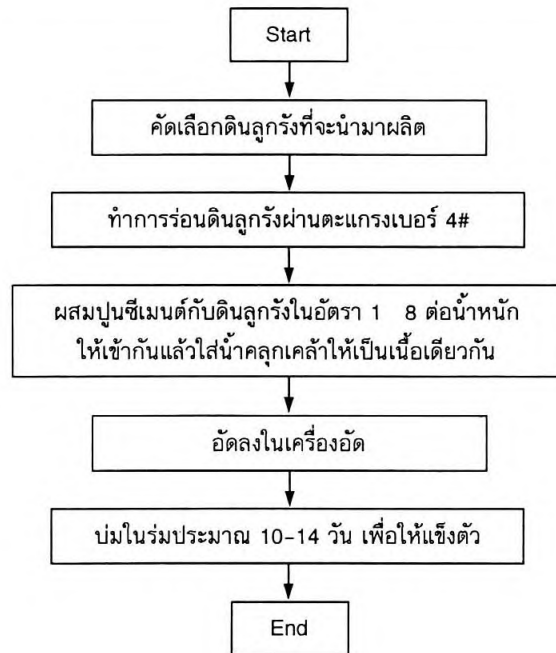
ขนาด 14 ซม. (6 นิ้ว)



รูปที่ 2.7 ลักษณะและขนาดของคอนกรีตบล็อก

2. วัสดุก่อ (Build Material) ประเภทของวัสดุก่อสามารถแยกย่อยได้อีกหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น

2.1 บล็อกดินซีเมนต์ (Soil-Cement Block) ทำมาจากการผสมดินลูกรังกับปูนซีเมนต์ และน้ำให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วนำเข้าเครื่องอัด สามารถกำหนดขนาดได้ตามต้องการ โดยที่ดินลูกรังที่เป็นส่วนประกอบสำคัญนั้นต้องมีทรายปนอยู่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และมีดินเหนียวปนอยู่ไม่เกินร้อยละ 10 มีขั้นตอนการผลิตดังแผนภาพในรูปที่ 2.8

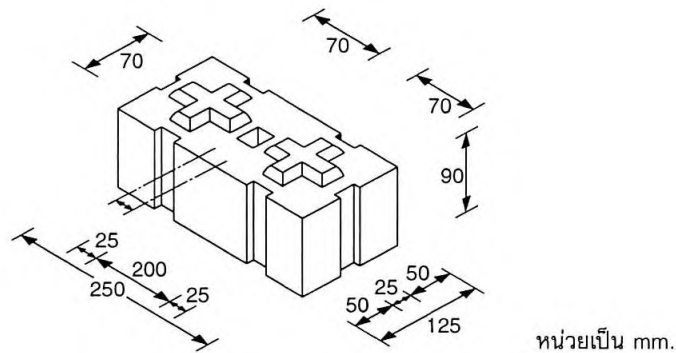


รูปที่ 2.8 แผนภาพขั้นตอนการผลิตบล็อกซีเมนต์

ขนาดของบล็อกซีเมนต์ โดยปกติขนาดของบล็อกซีเมนต์ที่ใช้โดยทั่วไปมีดังนี้

- 1) ชนิดเต็มก้อน มีขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 29 ซม. และหนา 9 ซม.
- 2) ชนิดครึ่งก้อน มีขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 14.5 ซม. และหนา 9 ซม.

2.2 บล็อกอินเตอร์ล็อกกิ้ง (Inter Locking Block) เป็นบล็อกที่มีความสวยงาม เนื่องจากมีการพัฒนารูปแบบและลักษณะการใช้งาน คือมีการจัดวางและล็อกภายในตัวเอง มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของบล็อกอินเตอร์ล็อกกิ้ง

ขนาดของบล็อกคอนกรีตบล็อกกึ่ง โดยปกติขนาดของบล็อกคอนกรีตบล็อกกึ่งที่ใช้โดยทั่วไปมีดังนี้

- 1) ชนิดเต็มก้อน มีขนาดกว้าง 12.5 ซม. ยาว 25 ซม. และหนา 9 ซม.
- 2) ชนิดครึ่งก้อน มีขนาดกว้าง 12.5 ซม. ยาว 12.5 ซม. และหนา 9 ซม.

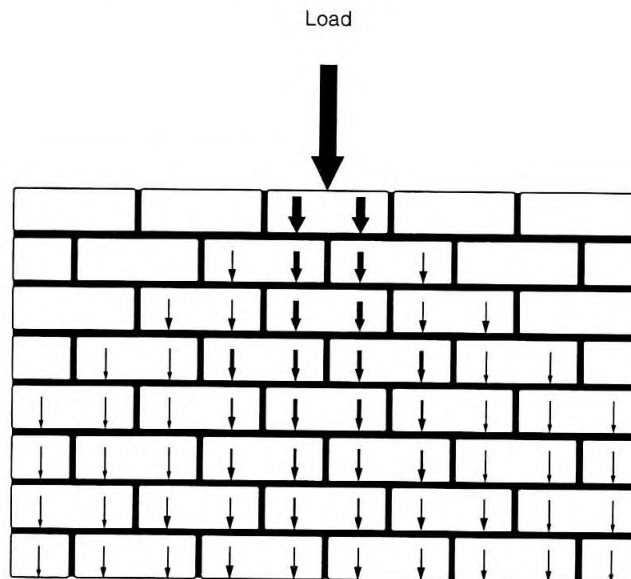
2.3 บล็อกแก้ว (Glass Block) ผลิตจากแก้วและเป็นที่นิยมใช้ประดับอาคารเพื่อความสวยงามและเป็นการรับแสงสว่างจากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคาร โดยไม่มีลมและเสียงเล็ดลอดเข้าสู่ตัวอาคาร

ขนาดของบล็อกแก้ว โดยทั่วไปมีขนาดกว้าง 19 ซม. ยาว 19 ซม. และมีความหนา 6 ซม. สามารถใช้ก่อร่วมกับอิฐธรรมดาเพื่อความสวยงามได้

สมบัติของอิฐและวัสดุก่อ (Properties of Brick & Build Materials)

กำลังต้านทานแรงอัด Compressive Strength)

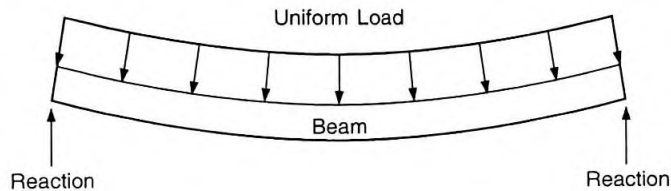
อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมาตั้งแต่โบราณ ในงานก่อสร้างโดยทั่วไปจะใช้อิฐก่อทำเป็นผนัง ดังนั้นความแข็งแรงของอิฐจึงขึ้นอยู่กับกำลังต้านทานแรงอัดโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะการรับแรงอัดของอิฐที่ถูกก่อทำเป็นผนัง

อย่างไรก็ตาม กำลังต้านทานแรงอัดของอิฐจะไม่มีผลต่อความมั่นคง (Stable) ของอาคารหลัก เนื่องจากมีการถ่ายแรงจากอิฐแต่ละแผ่นลงมาสู่อิฐชั้นแถวล่าง ดังรูปที่ 2.11 ก่อนจะถ่ายลงบนคาน (Beam) ซึ่งโดยปกติน้ำหนักจากผนังก่ออิฐจะถือว่าเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ในการออกแบบ

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งจะมีค่าประมาณ 180 kg/m^2 สำหรับผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูน และมีค่าประมาณ 360 kg/m^2 สำหรับผนังก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูน



รูปที่ 2.11 ลักษณะการวิเคราะห์การถ่ายแรงกำแพงก่ออิฐ

ตารางที่ 2.2 สมบัติของอิฐตามมาตรฐาน ASTM

ประเภท	กำลังต้านทานแรงอัดต่ำสุด PSI		ค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด Percentage		สัมประสิทธิ์การอิมมัตวสูงสุด	
	อิฐ 5 แผ่น	อิฐแผ่นเดียว	อิฐ 5 แผ่น	อิฐแผ่นเดียว	อิฐ 5 แผ่น	อิฐแผ่นเดียว
Grade SW	3000	2500	17	20	0.78	0.80
Grade MW	2500	2200	22	25	0.88	0.90
Grade NW	1500	1250	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด

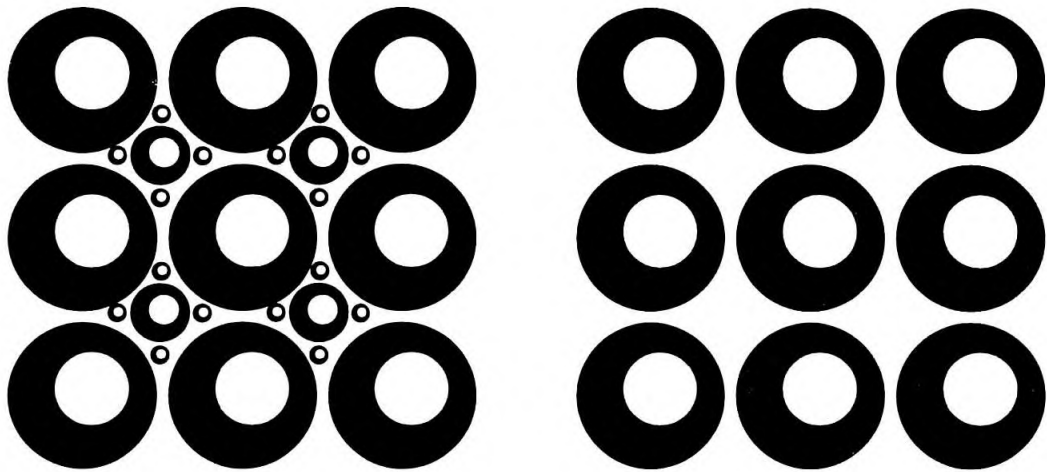
โดย Grade SW กรณีอิฐมีน้ำอยู่เต็ม (อิมมัตว) มีปฏิกิริยาต่อการเป็นน้ำแข็ง (Frost Action)

Grade MW กรณีที่อิฐมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง แต่อิฐไม่มีน้ำอยู่เต็ม หรือในกรณีที่ต้องการความต้านทานต่อการเป็นน้ำแข็งและไม่สม่ำเสมอ

Grade NW - กรณีอิฐไม่มีการเป็นน้ำแข็ง

การดูดซึมน้ำของอิฐในน้ำ (Water Absorption)

ปกติแล้วค่าการดูดซึมน้ำของอิฐถือว่าเป็นเครื่องชี้วัดความคงทนของอิฐ โดยมีสมมติฐานว่า ในอิฐที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูง ๆ แสดงว่าช่องว่างในเนื้อของอิฐต้องมีมาก ดังแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 2.12 นั่นคืออิฐมีความพรุน (Porosity) สูง เพื่อที่จะให้ความชื้นซึ่งในที่นี้คือน้ำไปแทรกในช่องว่าง (Void) ของอิฐ อิฐลักษณะนี้จึงมีความแข็งแรงน้อยเนื่องจากเมื่อได้รับกำลังภายนอกมากจะทำในลักษณะแรงอัด ช่องว่างจะถูกอัดให้ยุบตัวลงทำให้เกิดการพังทลายลงได้

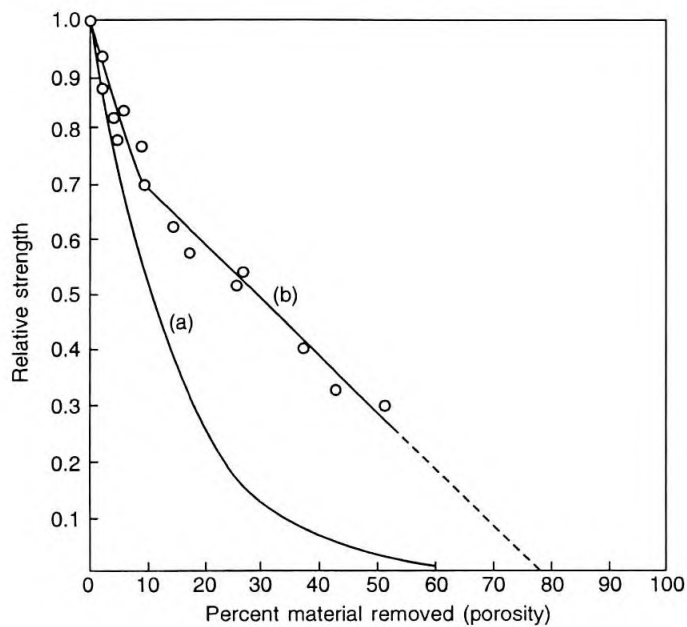


(ก) ช่องว่างมีน้อย

(ข) ช่องว่างมีมาก

รูปที่ 2.12 สมมติฐานในการวิเคราะห์ค่าการดูดซึมน้ำ

ในทางตรงกันข้าม ถ้าอิฐมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำแสดงว่าในเนื้ออิฐมีช่องว่างน้อย นั่นคือมีความพรุนต่ำ น้ำจึงไม่สามารถเข้าไปแทรกในช่องว่าง หรือเข้าไปแทรกได้ก็มีปริมาณเพียงแต่น้อย ลักษณะเช่นนี้ อิฐจะมีกำลังสูง ดังรูปที่ 2.13 เพราะเมื่อได้รับแรงอัดจากภายนอกมากจะทำช่องว่างที่มีอยู่เล็กน้อยอาจยุบตัวลงมา แต่ก็ไม่เพียงพอที่จะทำให้อิฐเกิดการพังทลายเสียหายได้



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับค่าความพรุนของอิฐ



ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไม้

ความหมายของไม้ (Definition of Timber)

ไม้ (Timber) หมายถึง วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประกอบขึ้นจากโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายหลอดเล็ก ๆ เรียงตัวติดกันเป็นจำนวนมาก ๆ ทั้งทางด้านข้างและด้านยาว ลักษณะหลอดเล็ก ๆ นี้ เรียกว่า เส้น (Grain)

ลักษณะโครงสร้างของไม้ยากที่จะสรุปได้ว่ามีลักษณะเป็นเช่นไร เนื่องจากว่าไม้เป็นวัสดุที่เกิดจากธรรมชาติ เป็นสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งที่มีการเจริญเติบโตด้วยตัวของมันเอง จึงไม่สามารถกำหนดสูตรเพื่อคำนวณออกแบบโครงสร้างเหมือนวัสดุอื่น ๆ ได้ การที่จะออกแบบโครงสร้างจึงจำเป็นต้องทราบสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องของไม้เพื่อใช้ในการออกแบบเสียก่อน

โดยปกติเนื้อไม้จะประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) 60% ซึ่งเป็นส่วนประกอบของไม้ที่ประกอบเป็นผนังไม้, ลิกนิน (Lignin) 28% ทำหน้าที่ประสานเส้นไม้ไว้ด้วยกัน ส่วนอีก 12% ที่เหลือเป็นสารประกอบอื่น ๆ

ประเภทของไม้ (Type of Timber)

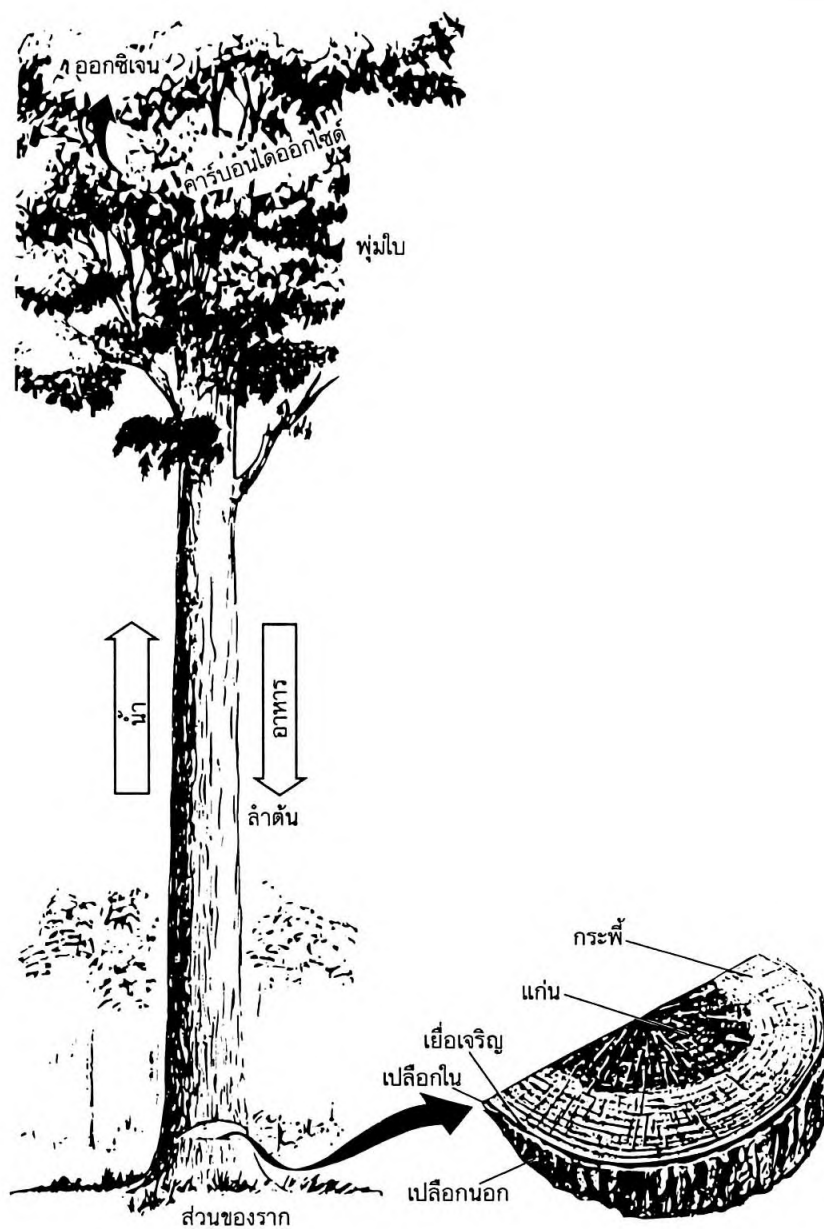
ไม้ที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างปกติสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1 **ไม้ขนาดใหญ่กว้าง (Broad Leaf Tree)** เป็นไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น ไม้สัก ไม้เต็ง ไม้รัง ไม้สมพง เป็นต้น

ปกติเนื้อไม้ประเภทนี้จะมีหมู่เซลล์ลำเลียงอาหารและหมู่เซลล์ลำน้ำเป็นเซลล์ต่างชนิดกัน โดยหมู่เซลล์ลำเลียงอาหารจะมีขนาดใหญ่และมีขนาดของผนังเซลล์บาง ๆ ดังนั้นถ้าดูทางด้านตัดขวางของเนื้อไม้จึงจะเห็นเป็นรูของเซลล์

2. **ไม้ขนาดเล็กยาว (Long Leaf Tree)** เป็นไม้เนื้ออ่อน (Softwood) ที่ไม่ค่อยนิยมใช้ในงานก่อสร้าง เช่น พญาไม้ ต้นสนเบา ต้นสนหางกระรอก เป็นต้น

ปกติเนื้อไม้ประเภทนี้จะมีหมู่เซลล์ลำเลียงอาหารและหมู่เซลล์ลำน้ำเป็นเซลล์ชนิดเดียวกัน ภายในเนื้อไม้จะไม่มียางที่ขยายใหญ่เป็นพิเศษเช่นไม้ขนาดใหญ่กว้าง จึงไม่ค่อยนิยมใช้ในงานก่อสร้าง



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของไม้ตามหลักพฤกษศาสตร์

ส่วนประกอบของต้นไม้ (Component of Timber)

1 ส่วนประกอบของไม้ตามหลักพฤกษศาสตร์ (Component of Timber by Science of Plants) ส่วนประกอบของไม้ตามหลักพฤกษศาสตร์ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย

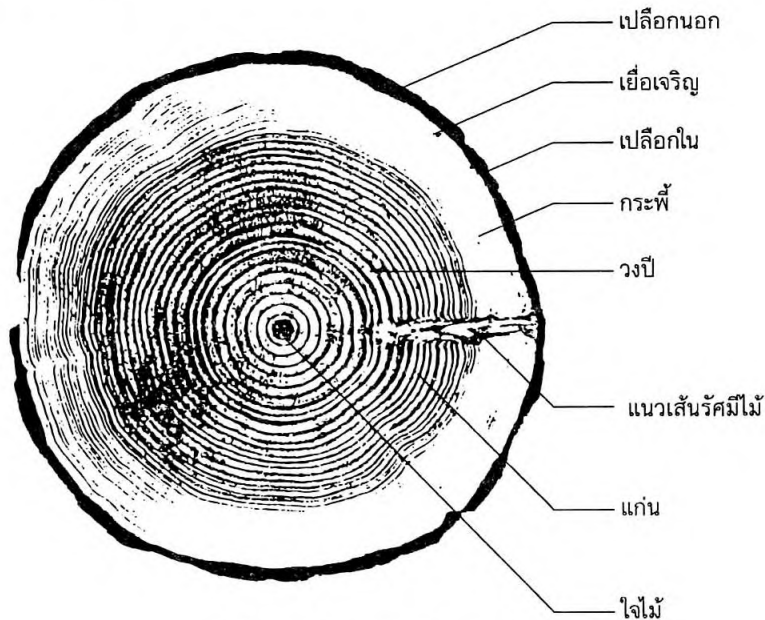
1.1 ส่วนของราก รากทำหน้าที่ดูดอาหารและน้ำจากดิน โดยจะแปรสภาพเป็นของเหลวเพื่อดึงดูดไปยังพุ่มใบ เพื่อทำการปรุงอาหาร นอกจากนี้รากยังทำหน้าที่ยึดเกาะดินเพื่อให้ลำต้นทรงตัวอยู่ได้ ไม่หักล้มลงไป

1.2 ส่วนของลำต้น ประกอบด้วย เปลือกนอก เปลือกใน กระพี้และแก่น หุ้มห่อกันตามลำดับ ทำหน้าที่จัดส่งอาหารโดยลำเลียงจากรากผ่านทางเปลือกในแล้วจึงจัดส่งไปยังพุ่มใบ นอกจากนี้ ส่วนของลำต้นยังทำหน้าที่ตั้งลำต้นให้ตรงเพื่อชูพุ่มใบให้รับแสงแดดได้อย่างถนัดอันจะทำให้การปรุงอาหารของพุ่มใบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ส่วนของพุ่มใบ พุ่มใบของต้นไม้ทำหน้าที่ปรุงอาหาร โดยอาศัยกรรมวิธีที่เรียกว่า “การสังเคราะห์แสง” (Photosynthesis) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีกันระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ซึ่งถูกใบดูดเข้ามา อาหารเหลวจากรากที่ส่งผ่านลำต้นขึ้นมา แสงอาทิตย์และสารในใบไม้ที่เรียกว่า “คลอโรฟิลล์” (Chlorophyll) เมื่อพุ่มใบทำการปรุงอาหารเสร็จแล้ว จึงมีการจัดส่งอาหารในรูปของของเหลวไปยังส่วนของลำต้นคือ เยื่อเจริญ (Cambium) ต้นไม้จะเจริญเติบโต การเพิ่มเยื่อเจริญเป็นชั้น ๆ รอบลำต้น

2. ส่วนประกอบของหน้าตัดไม้ (Component of Timber Cross Section) ส่วนประกอบของหน้าตัดไม้ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ประกอบด้วย

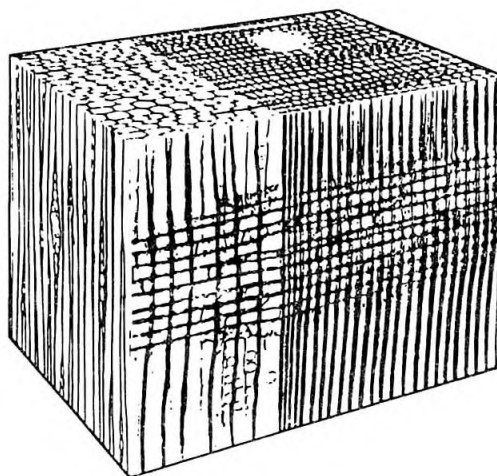
2.1 เปลือก (Bark) เปลือกนับว่าเป็นส่วนที่อยู่ด้านนอกสุดของหน้าตัดไม้ ทำหน้าที่ป้องกันลำต้นของไม้จากสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น การเสียดสี การกระแทก เป็นต้น ส่วนที่ทำหน้าที่ดังกล่าวได้แก่เปลือกนอก (Outer Bark) ซึ่งเป็นส่วนที่ตายแล้ว ขณะที่อีกส่วนของเปลือกได้แก่เปลือกใน (Inner Bark) ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงอาหารและเป็นส่วนที่ยังมีชีวิต เนื่องจากเป็นส่วนที่ติดกับเยื่อเจริญจึงมีโอกาasyเจริญเติบโตใหม่ได้ด้วย



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของหน้าตัดไม้

2.2 เยื่อเจริญ (Cambium) เป็นส่วนที่อยู่ติดจากเปลือกในเข้ามา ในเยื่อเจริญนี้จะมีเซลล์ผนังบางซึ่งมีชีวิตอยู่และเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูจึงจะมองเห็นได้ชัด

การเจริญเติบโตของเปลือกในและเยื่อไม้ จะเป็นไปโดยการจัดแบ่งเซลล์ของเยื่อเจริญดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นลักษณะการแบ่งเซลล์ใหม่เพิ่มขึ้นมา ไม่ใช่การขยายขนาดของเซลล์แต่อย่างใด โดยเซลล์ที่แบ่งเพิ่มขึ้นใหม่นี้ส่วนหนึ่งจะกลายเป็นเนื้อไม้และอีกส่วนหนึ่งเป็นเปลือกใน เมื่อลำต้นเจริญเติบโตขึ้นเปลือกก็จะถูกดันให้ขยายออก ทำให้เปลือกนอกปริแตกเป็นร่องเป็นแนวตามแต่ชนิดของไม้ นั้น ๆ



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการจัดแบ่งเซลล์ของเยื่อเจริญ

2.3 กระจี้ (Sapwood) กระจี้ถือว่าเป็นส่วนกลางของเนื้อไม้ระหว่างเปลือกในกับแก่น มีการแบ่งของขอบเขตให้เห็นอย่างชัดเจน กระจี้ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารและน้ำจากรากไปยังพุ่มใบ และเป็นส่วนที่เก็บอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาล

เมื่อไม้เจริญเติบโตขึ้น เนื้อไม้ที่เจริญเติบโตขึ้นมาใหม่จะทำหน้าที่แทนกระจี้เดิมซึ่งเกิดสภาพการอุดตันของท่อลำเลียงอาหารและน้ำ จนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้สีเข้มและแข็งขึ้นจนกลายเป็นแก่น ปกติไม้จะมีขนาดความหนาของกระจี้ประมาณ 1 1/2" ถึง 2"

2.4 แก่น (Heartwood) คือส่วนของเนื้อไม้ที่เป็นเซลล์ที่ไม่ทำงานแล้ว โดยแปรสภาพมาจากกระจี้ โดยสภาพทางเคมีและฟิสิกส์ของการเปลี่ยนแปลงทำให้ท่อลำเลียงอาหารและน้ำของกระจี้อุดตันจนแข็งกลายเป็นแก่นของไม้

ในท่อลำเลียงอาหารและน้ำที่อุดตันของแก่นนี้ ยังมีสารตกค้างอยู่จึงทำให้สีของแก่นค่อนข้างเข้มและคงทน เมื่อนำมาใช้งานในกลางแจ้งจะมีความคงทน

2.5 วงเจริญหรือวงปี (Growth Ring or Annual Growth Ring) มีลักษณะเป็นวงกลมเป็นชั้น ๆ เห็นได้ชัดเจนในหน้าตัดไม้ วงที่เห็นนี้คือแนวต่อของไม้ที่เจริญเติบโตขึ้นมาในแต่ละปีหรือในฤดูที่ไม่มีการเจริญเติบโต การเจริญเติบโตของไม้ถ้าสมบูรณ์เนื่องจากสภาพของดินและมีสภาพอากาศเหมาะสมจะทำให้มีวงปีห่าง ในทางตรงกันข้าม ถ้าไม้เติบโตไม่สมบูรณ์จำนวนวงปีก็จะถี่และแคบ

2.6 แนวเส้นรัศมีไม้ (Wood Ray) ปกติในแนวของเนื้อไม้จะมีเซลล์อยู่ชุดหนึ่งที่วิ่งตัดขวางลำต้นเป็นแนวจากจุดศูนย์กลางของไม้ที่เรียกว่าใจไม้ ยาวไปยังเปลือกโดยเกาะกันอยู่ในแนวเนื้อไม้ ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่ปรุงจากใบแล้วมายังลำต้น

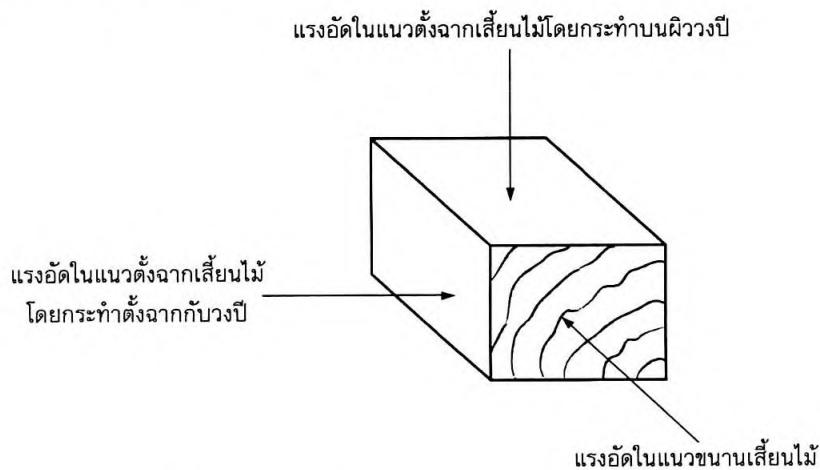
2.7 ใจไม้ (Pith) คือส่วนที่อยู่ในสุดตรงกลางของลำต้น เป็นจุดเริ่มการเติบโตของต้นไม้ ดังนั้นเมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้น ใจไม้ก็จะจากกลายเป็นโพรงได้

สมบัติของไม้ (Properties of Timber)

กำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)

เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีสมบัติในแนวต่าง ๆ ไม้เหมือนกัน (Non-Isotropic) เพราะสภาพการเจริญเติบโตของไม้เป็นไปทั้งทางแนวตั้งและทางด้านข้างตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต ดังนั้นการพิจารณากำลังต้านทานแรงอัดของไม้ซึ่งจะพิจารณาทั้ง 3 มิติ (3 Dimensions) โดยแยกเป็น 2 ลักษณะกระทำของแรง ได้แก่

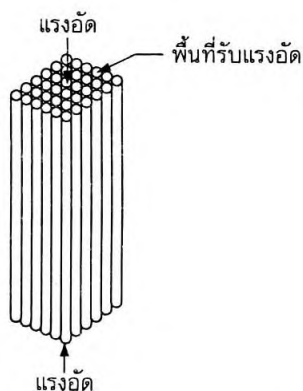
- 1 กำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นไม้
- 2 กำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นไม้ ซึ่งมี 2 กรณีคือ กระทำบนผิววงปี และกระทำตั้งฉากกับวงปี ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การพิจารณากำลังต้านทานแรงอัดของไม้

1 กำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นไม้ (Compressive Strength Parallel Grain) ถือว่าเป็นสมบัติที่สำคัญประการแรกของไม้ที่ใช้ในงานก่อสร้าง เนื่องจากเป็นสมบัติที่ใช้พิจารณาออกแบบโครงสร้างไม้ที่ใช้ในส่วน of โครงสร้างรับแรงอัด (Compression Member)

การพิจารณากำลังต้านทานแรงอัดในแนวขนานเส้นไม้ จะพิจารณาสมมติว่าโครงสร้างของไม้ที่เป็นหลอดเล็ก ๆ แต่ละเส้นมัดรวมกันคล้ายกับเป็นเสากลางขนาดเล็ก ๆ หลาย ๆ ชิ้นรวมกันเพื่อต้านทานกำลังรับแรงอัด พร้อมทั้งเส้นไม้ข้างเคียงก็จะช่วยกันพยุงซึ่งกันและกันไว้แต่ละเส้นใบ ดังแสดงเป็นสมมติฐานในการพิจารณาในรูปที่ 3.5

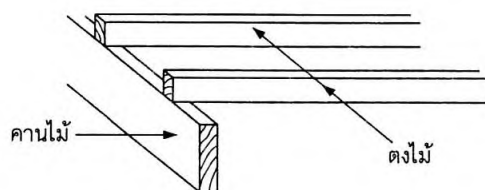


รูปที่ 3.5 สมมติฐานในการพิจารณาแรงอัดในแนวนานเสี้ยน

ปกติกำลังต้านทานแรงอัดในแนวนานเสี้ยนไม้จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของขนาดโครงสร้างของเนื้อไม้เอง และปริมาณความชื้นในเนื้อไม้

กำลังต้านทานแรงอัดในแนวนานเสี้ยนนี้ ปกติจะนำมาใช้ในการพิจารณาออกแบบโครงสร้างรับแรงอัด ได้แก่ เสา และท่อนรับแรงอัด (ข้างต้น) ในโครงสร้างไม้ทั่วไป

2. กำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนไม้ (Compressive Strength Perpendicular to Grain) ถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของไม้ในการนำมาพิจารณาออกแบบโครงสร้างที่มีแรงมากระทำเป็นจุด (Point Load) เช่น คานที่รับดงและพื้น ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างโครงสร้างที่รับแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนไม้

กำลังต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยนไม้ ยอมให้ได้ภายในข้อจำกัดของจุดยืดหยุ่น (Elastic) เนื่องจากถ้าเลยจากจุดยืดหยุ่นไปแล้ว ผนังของเสี้ยนไม้จะถูกกดอัดจนยุบตัวลงมามากกว่าปกติ ทั้งที่ไม่มีแรงกดอัดเพิ่มเลย กระทั่งการหดตัวของไม้เหลือเพียงประมาณ 35% ของความหนาเดิม เมื่อเสี้ยนไม้ยุบตัวจนตลอดของเนื้อไม้ยุบแบนหมดจนไม้เหลือช่องว่างในโพรงเลย และแรงกดอัดจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จึงไม่สามารถหาค่าแรงอัดสูงสุด (Maximum Compressive Force) ได้

นอกจากแรงอัดทั้ง 2 ลักษณะที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ในบางครั้งยังคงพิจารณากำลังต้านทานแรงอัดของไม้อีกในลักษณะหนึ่ง นั่นคือ “กำลังต้านทานแรงอัดที่ทำมุมกับเสี้ยนไม้” (Compressive Oblique to Grain) ซึ่งเป็นสมบัติที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างบางประเภท เช่น ขนาดของแหวนรอกที่รับปลายคานที่เฉียงทำมุมกับโครงหลังคา เป็นต้น

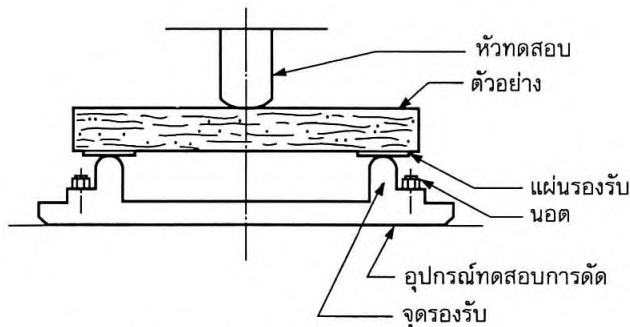
กำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength)

กำลังต้านทานแรงดัดจะถูกพิจารณาในรูปโมดูลัสการแตกหัก (Modulus of Rupture) ซึ่ง ณ จุดที่ขาดการวิบัติของไม้ที่นำมาพิจารณาจะอาศัยค่าของแรงดึงและค่าของแรงอัดประลัย โดยคำนวณจากสูตรของแรงดัด โดยแทนค่าด้วยแรงดัดประลัย สำหรับสาเหตุที่ไม่เรียกว่า เป็นหน่วยแรงดัดสูงสุด (Maximum Stress) เนื่องจากค่าที่คำนวณจากสูตรของแรงดัดที่คำนวณได้ มีค่าเกินขอบเขตที่ตั้งสมมติฐานที่กำหนดเพื่อพิสูจน์ของแรงดัดนี้

สูตรของแรงดัดเพื่อคำนวณหาโมดูลัสการแตกหักนี้ สามารถคำนวณได้จากสมการ

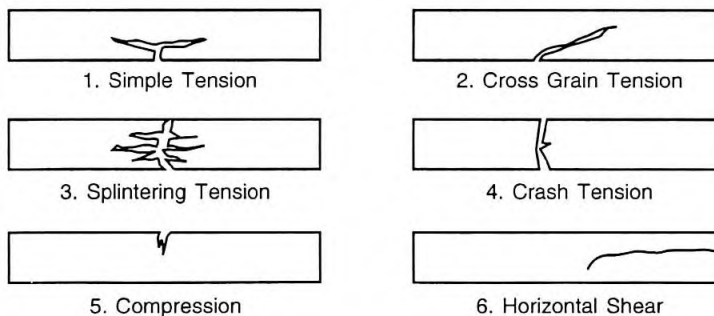
$$\text{Modulus of Rupture} = \frac{1.5(P_c)L}{bd^2} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

เมื่อ P_c = ค่าน้ำหนักกดที่ทำให้แท่งทดสอบวิบัติ, กก.
 L = ความยาวของแท่งทดสอบ (Span), ซม.
 b = ความกว้างของแท่งทดสอบ, ซม.
 d = ความหนาของแท่งทดสอบ, ซม.



รูปที่ 3.7 การติดตั้งชั้นทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้

สำหรับสภาพการวิบัติเพื่อทำการทดสอบกำลังต้านทานของไม้ ถ้าจะกำหนดได้ว่าเป็นลักษณะตายตัวได้ เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่เหมือนกันทุกชั้นทดสอบ แต่ก็สามารถสรุปรูปแบบของการวิบัติไม้ดังรูปที่ 3.8

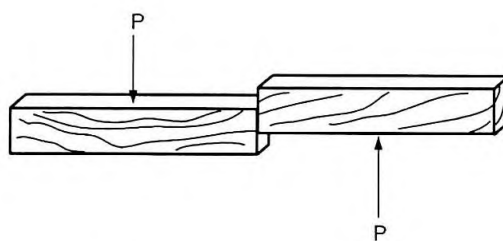


รูปที่ 3.8 ตัวอย่างของการวิบัติของไม้ทางด้านข้าง (Side View)

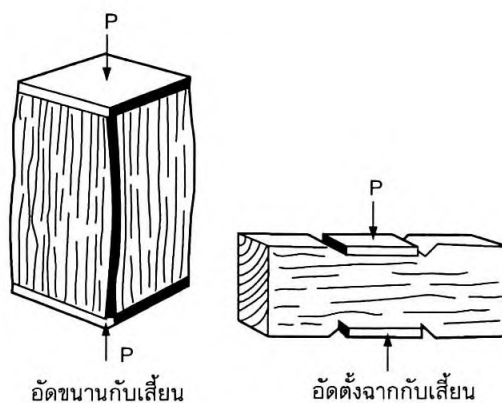
กำลังต้านทานแรงเฉือน (Shearing Strength)

กำลังต้านทานแรงเฉือนถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของไม้ โดยปกติจะคำนึงถึงแค่กำลังต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเส้นไม้ (Shearing Strength Along Grain) เท่านั้น

กำลังต้านทานแรงเฉือนในแนวขนานเส้นไม้ นี้ เป็นคุณสมบัติที่มีเพื่อต้านทานต่อการเลื่อนตัว (Slide) ออกจากกันของหน้าตัดส่วนบนและส่วนล่างของท่อนโครงสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งคาน (Beam) และโดยปกติค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนจะมีค่าสูงสุด ณ กึ่งกลางของช่วงคาน ดังรูปที่ 3.9



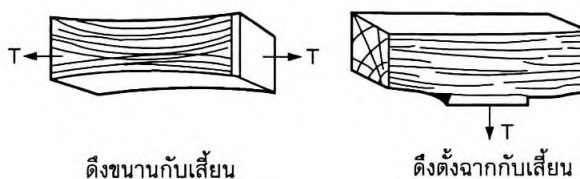
รูปที่ 3.9 ลักษณะการเกิดแรงเฉือน



อัดขนานกับเส้น

อัดตั้งฉากกับเส้น

(ก) กำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)



ดึงขนานกับเส้น

ดึงตั้งฉากกับเส้น

(ข) กำลังต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)

รูปที่ 3.10 สรุปรูปแบบการเกิดกำลังต้านทานตามสมบัติของไม้