

การออกแบบ โครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็ก

Reinforced Concrete Design

SE-ED

รศ. กวี ห่วงนิเวศน์กุล

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

โดย รศ. กวี หวังนิเวศน์กุล

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย โดย รศ. กวี หวังนิเวศน์กุล © พ.ศ. 2562

ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ทำซ้ำ จัดพิมพ์ หรือกระทำการอื่นใด โดยวิธีการใดๆ ในรูปแบบใดๆ
ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ในสื่อทุกประเภท หรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ
นอกจากจะได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

รศ. กวี หวังนิเวศน์กุล.

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก. -- กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2562.
312 หน้า.

1. คอนกรีตเสริมเหล็ก. 2. การออกแบบโครงสร้าง.

I. ชื่อเรื่อง.

624.18341

Barcode (e-book) 9786160838721

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย



บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

เลขที่ 1858/87-90 ถนนเทพรัตน แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
โทรศัพท์ 0-2826-8000

หากมีคำแนะนำหรือติชม สามารถติดต่อได้ที่ comment@se-ed.com

คำนำ



หนังสือวิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เล่มนี้ เขียนขึ้นโดยยึดถือแนวทางตามข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท. 011007-19) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และกฎกระทรวงต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้ทฤษฎีอีลาสติกหรือทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานเป็นแนวทางการคำนวณ

หนังสือเล่มนี้เหมาะสำหรับนักศึกษาระดับ ปวส. ช่างก่อสร้าง ช่างสำรวจ ช่างโยธา ช่างเทคนิค สถาปัตย์ และเป็นพื้นฐานสำหรับศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธาต่อไป โดยรายละเอียดของเนื้อหาวิชาได้เขียนเรียงลำดับตามขั้นตอนของการคำนวณออกแบบอาคารอย่างง่าย เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องและนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป นอกจากนี้รายละเอียดเนื้อหาวิชายังครอบคลุมตามหลักสูตรในระดับ ปวส. ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา อย่างครบถ้วน

ผู้เขียนขอขอบคุณครูอาจารย์ที่ได้สั่งสอนอบรมมา และขอขอบคุณผู้เขียนตำราต่างๆ ที่ได้นำมาใช้อ้างอิง ตลอดจนประสบการณ์วิชาชีพของผู้เขียนเองที่พยายามถ่ายทอดความรู้ให้เป็นที่แพร่หลายต่อไป และหากหนังสือเล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด กรุณาแจ้งให้ผู้เขียนทราบด้วย เพื่อจะได้นำไปแก้ไขในการจัดพิมพ์ครั้งต่อไป

รศ. กวี หวังนิเวศน์กุล

อีเมล : kawee2555@gmail.com



SE-ED

สารบัญ



บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	9
1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต	9
1.2 คำนิยามของคอนกรีตชนิดต่างๆ	11
1.3 คุณสมบัติของคอนกรีต	12
1.4 กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	13
1.5 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	15
1.6 การเก็บรักษาปูนซีเมนต์	18
1.7 หินที่ใช้ในงานคอนกรีต	21
1.8 ทรายที่ใช้ในงานคอนกรีต	22
1.9 คุณสมบัติที่ต้องการของหินและทรายในงานวิศวกรรมก่อสร้าง	24
1.10 เหล็กที่ใช้เสริมในงานคอนกรีต	26
1.11 น้ำที่ใช้ผสมในงานคอนกรีต.....	30
1.12 สารเคมีผสมเพิ่มในงานคอนกรีต.....	31
1.13 การเทและระยะเวลาในการถอดแบบหล่อ	31
1.14 ทฤษฎีและน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ.....	32
แบบฝึกหัด	35
บทที่ 2 การออกแบบโดยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน.....	37
2.1 หน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Working Stress)	38
2.2 การวิเคราะห์คานคอนกรีตด้วยทฤษฎีอีลาสติก	41

2.3 การวิเคราะห์โครงสร้างที่ต่อเนื่องกันหลายช่วง	57
แบบฝึกหัด	61

บทที่ 3 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 63

3.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	63
3.2 พื้นคอนกรีตวางบนดิน	64
3.3 พื้นคอนกรีตหล่อในที่วางบนโครงสร้าง	66
แบบฝึกหัด	92

บทที่ 4 การออกแบบบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก..... 95

4.1 ข้อกำหนดทั่วไปของบันไดตามกฎหมายกระทรวงควบคุมอาคาร ฉบับที่ 55	96
4.2 ประเภทของบันได	97
4.3 การคำนวณโครงสร้างบันไดที่วางพาดบนคานชั้นล่างกับคานชั้นบน	97
4.4 บันไดต้องเรียบหรือพับผ้าที่มีคานรองรับด้านข้างทั้งสองข้างของชั้นบันได	103
4.5 บันไดปลายยื่นที่ยึดติดกับคานหรือผนังข้างเดียว	109
แบบฝึกหัด	118

บทที่ 5 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก..... 119

5.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	119
5.2 พฤติกรรมของโครงสร้างคานเมื่อมีน้ำหนักกระทำ	120
5.3 ลักษณะการถ่ายน้ำหนักพื้นลงสู่คาน	121
5.4 แรงเฉือนในคาน และการเสริมเหล็กด้านทาน.....	123
5.5 แรงบิดในคานและการเสริมเหล็กด้านทาน.....	143
แบบฝึกหัด	149

บทที่ 6 การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 151

6.1 ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับการออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	152
6.2 การออกแบบเสาสั้น	155
6.3 การถ่ายน้ำหนักลงเสา	158

6.4 การออกแบบเสายาว	166
6.5 การออกแบบเสารับน้ำหนักเยื้องศูนย์	174
แบบฝึกหัด	191
บทที่ 7 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	193
7.1 ประเภทของฐานราก	193
7.2 ประเภทของเสาเข็ม	196
7.3 ชนิดของเสาเข็มสั้น	197
7.4 ชนิดของเสาเข็มยาว	199
7.5 การกระจายน้ำหนักของฐานราก	202
7.6 หน้าตัดวิกฤติสำหรับแรงเฉือน	204
7.7 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบฐานราก.....	206
แบบฝึกหัด	238
ภาคผนวก ก. ตารางช่วยคำนวณ	239
ภาคผนวก ข. สูตรสำเร็จสำหรับหาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด.....	249
ภาคผนวก ค. รายละเอียดการเสริมเหล็กที่พบผลิตพลาดบ่อย	265
ภาคผนวก ง. ตัวอย่างรายการคำนวณโครงสร้างอาคารพักอาศัย สูง 2 ชั้น.....	268
ภาคผนวก จ. ตารางการแปลงหน่วยต่างๆ.....	293
ภาคผนวก ฉ. แบบฝึกหัดทักษะการคำนวณโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก พักอาศัยรวมสูง 2 ชั้น.....	295
บรรณานุกรม	311



SE-ED

1

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงาน คอนกรีตเสริมเหล็ก



งานก่อสร้างในปัจจุบันนี้ ไม่ว่าจะเป็นอาคารแฝงลอยเล็กๆ หรืออาคารตึกสูงระฟ้าต่างๆ แทบจะกล่าวได้ว่าหลีกเลี่ยงงานคอนกรีตไปไม่ได้เลย งานคอนกรีตถือได้ว่าเป็นสิ่งมหัศจรรย์อย่างหนึ่งของโลก โดยการนำส่วนผสมต่างๆ คลุกเคล้ากันแล้วเทลงในแบบหล่อรูปร่างต่างๆ ตามที่จินตนาการไว้ได้อย่างง่ายๆ เมื่อแข็งตัวแล้วก็มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้มากมาย

1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ปูนซีเมนต์เพสต์และวัสดุผสมคละ

1. ปูนซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) คือส่วนผสมของปูนซีเมนต์ น้ำ และอากาศ ก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติจับตัวเกาะแน่นกับวัสดุผสมได้ ปูนซีเมนต์จะเริ่มก่อตัวอย่างรวดเร็วในระยะแรก และค่อยๆ เกิดต่อเนื่องกันไปอย่างยาวนาน ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม ความชื้น และอุณหภูมิที่เหมาะสม ซีเมนต์เพสต์ที่เหลวเกินไปจะมีผลทำให้คอนกรีตรับกำลังได้ต่ำ คอนกรีตที่มีกำลังแข็งแรงดีนั้น จำเป็นต้องเลือกใช้ซีเมนต์เพสต์ที่มีความข้นเหลวที่เหมาะสม หรือเรียกว่า มีอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม (Water Cement ratio; W/C Ratio)

2. วัสดุผสมคละ (Aggregates) ได้แก่ วัสดุผสมหยาบและวัสดุผสมละเอียด วัสดุผสมหยาบ หมายถึงหินหรือกรวด หรือวัสดุผสมที่ค้ำบนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ส่วนวัสดุผสมละเอียด หมายถึงทรายหรือวัสดุผสมที่ร่อนผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 และค้ำบนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 200 (ขนาดต่างๆ ของวัสดุผสมคละ ดูได้จากตารางที่ 1.1)

ตารางที่ 1.1 ขนาดต่างๆ ของวัสดุผสม

ขนาดของ ตะแกรง ร่อน ระบบ การจำแนก	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุ							เล็กกว่า #200
	3" มม. (75)	3/4" (12)	#4 (4.75)	#10 (2)	#40 (0.425)	#200 (0.075)		
Unified	หิน	กรวด		ทราย			ตะกอน ทราย ดินเหนียว	
		หยาบ	ละเอียด	หยาบ	ปานกลาง	ละเอียด		
ASTM.	หิน	กรวด		ทราย				
				หยาบ	ปานกลาง	ละเอียด		
AASHTO	หิน	กรวด			ทราย			
		หยาบ	ปานกลาง	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด		
		มม. (75)	(25)	(3.5)	(2)	(0.225)		(0.075)

คอนกรีตที่ผสมใหม่และยังเหลวอยู่นั้น ส่วนที่เป็นของแข็งรวมทั้งปูนซีเมนต์จะลอยตัวอยู่ในน้ำ ชั่วคราว เม็ดปูนซีเมนต์แต่ละเม็ดจะถูกแยกไว้ด้วยชั้นบางๆ ของน้ำ ในขณะเดียวกัน จะเกิดแรงยึดเกาะขึ้นในระหว่างเม็ดปูนซีเมนต์เล็กๆ ทำให้ส่วนผสมนี้เหลวพอเทได้ โดยปกติคอนกรีตที่ผสมแล้ว ในขณะที่ยังเหลวอยู่นั้น วัสดุผสมจะถูกห่อหุ้มด้วยซีเมนต์เฟสท์ ปริมาตรของส่วนผสมที่ได้จะเท่ากับ ปริมาตรของปูนซีเมนต์และปริมาตรของวัสดุผสมคละ ซึ่งสามารถแยกส่วนผสมเป็นส่วนๆ ได้โดยประมาณ ดังในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ส่วนประกอบของคอนกรีต

ซีเมนต์เฟสท์			ของแข็งธาตุเฉื่อย
อากาศ 2 - 5%	น้ำ 10 - 20%	ปูนซีเมนต์ 10 - 20%	วัสดุผสมคละ 65 - 78%

จะเห็นได้ว่าส่วนผสมของคอนกรีตส่วนใหญ่เป็นวัสดุผสมคละ ฉะนั้นการเลือกใช้วัสดุผสมคละจึงจำเป็นต้องมีขนาดคละที่สม่ำเสมอ (Well Graded) เพื่อให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตน้อยลง ทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นขึ้น และเป็นผลให้ใช้ซีเมนต์น้อยลง นอกจากจะเลือกขนาดคละที่ดี ยังต้องเป็นวัสดุที่แข็งแรง ทนทานต่อสภาพแวดล้อม และไม่มีสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตเจือปนอยู่

1.2 คำนิยามของคอนกรีตชนิดต่างๆ

คำนิยามเกี่ยวกับคำว่าคอนกรีตที่มีการเรียกขานกัน มีอยู่หลายคำดังนี้

คอนกรีตสด (Fresh Concrete) คือคอนกรีตที่เพิ่งผสมเสร็จมาใหม่ๆ

คอนกรีตดิบ (Green Concrete) คือคอนกรีตที่เทลงในแบบหล่อแล้วและอยู่ในระหว่างการแข็งตัว

คอนกรีตเบา (Lightweight Concrete) คือคอนกรีตที่มีน้ำหนักต่อหน่วยเบากว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุหินกรวดอย่างเห็นได้ชัด โดยใช้วัสดุผสมที่มีการพองตัวโดยธรรมชาติเช่น หิน Vermiculite, Perlite, Pumic, Scoria คอนกรีตปกติจะหนักประมาณ 2,400 กก./ลบ.ม.

คอนกรีตหนัก (Heavyweight Concrete) คือคอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุผสมที่หนักเป็นพิเศษ เช่น แร่ Barite, Magnetite เพื่อให้โครงสร้างคอนกรีตนั้นมีความหนาแน่นต้านทานรังสีหรือกัมมันตภาพรังสีได้

คอนกรีตแห้งมาก (Zero Slump Concrete) คือคอนกรีตที่มีความชื้นเหลวน้อยมาก ใช้น้ำน้อย ทำให้ใช้ซีเมนต์น้อยไปด้วย แต่ให้กำลังสูง ใช้ในงานถนน งานกำแพง แผ่นพื้นสำเร็จหรือคอนกรีตบล็อกก่อผนัง โดยใช้เครื่องจักรกลั่นสะเทือนเพื่อทำการบดอัดจนขึ้นรูปแห้งได้ทันที

คอนกรีตหยาบ (Mass Concrete) คือคอนกรีตที่ไม่เสริมเหล็กหรือคอนกรีตล้วน เป็นคอนกรีตที่มีปริมาตรมากๆ เช่น งานเขื่อน งานถนน

คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete) คือคอนกรีตปกติที่ใช้เหล็กเสริมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตด้วย เพื่อให้เกิดการรับกำลังร่วมกัน ซึ่งพบเห็นได้ทั่วไปในงานก่อสร้างต่างๆ

คอนกรีตอัดแรง (Pre-Stressed Concrete) คือคอนกรีตที่ทำให้เกิดแรงเค้นประสิทธิภาพภายในเนื้อคอนกรีตขึ้น ก่อนที่จะนำไปเป็นโครงสร้างรับกำลัง คอนกรีตอัดแรงโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประเภท คือ ชนิดอัดแรงก่อนกับชนิดอัดแรงทีหลัง วัสดุก่อสร้างที่เป็นคอนกรีตอัดแรง เช่น เสาค้ำ พื้นสำเร็จ ผนังสำเร็จ คานสะพาน และพื้นท้องเรียบในอาคารสูง

คอนกรีตหล่อสำเร็จ (Pre-Cast Concrete) คือคอนกรีตที่ผสมและหล่อเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างสำเร็จแล้วจากโรงงานผลิต แล้วจึงนำออกไปประกอบติดตั้ง ณ สถานที่ก่อสร้าง ซึ่งคอนกรีตที่ใช้อาจเป็นได้ทั้งคอนกรีตอัดแรงหรือคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา วัสดุก่อสร้างที่เป็นคอนกรีตหล่อสำเร็จ เช่น เสาค้ำ พื้นสำเร็จ ผนังสำเร็จ คานสะพาน

คอนกรีตหล่อในที่ (In-situ Concrete) คือคอนกรีตที่ผสมและเทหล่อลงในโครงสร้าง ณ สถานที่ก่อสร้างนั่นเอง

คอนกรีตทนไฟ (Refractory Concrete) คือคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์อะลูมินาสูงกับวัสดุผสมทนไฟ เช่น อิฐทนไฟที่ใช้สำหรับก่อเตาเผา หรือใช้ทำผนังกันไฟ

คอนกรีตผสมเสร็จ (Ready-mixed Concrete) คือคอนกรีตที่ผสมให้เสร็จแล้วจากโรงผลิต และนำส่งโดยรถลำนึ่งไปยังสถานที่ก่อสร้างที่กำหนดไว้ คอนกรีตผสมเสร็จนี้ จำเป็นต้องเพิ่มน้ำยาเคมีที่ช่วยชะลอการแข็งตัวของคอนกรีตให้ช้าลงด้วยในระหว่างการขนส่ง

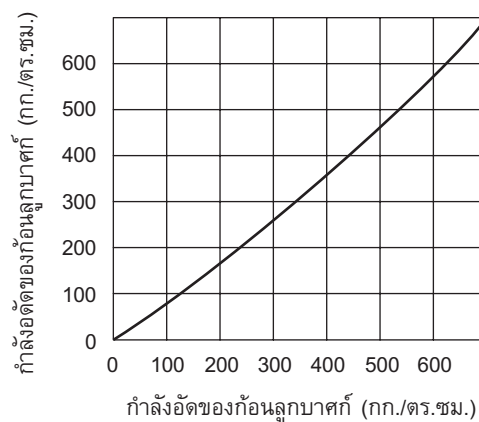
คอนกรีตป่นแน่น (Spun Concrete) คือคอนกรีตที่ถูกอัดด้วยแรงเหวี่ยงภายในเครื่องปั่น ที่ทำการหล่อคอนกรีตนั้น ซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นมากขึ้นเป็นพิเศษ เป็นผลให้รับกำลังได้สูง เช่น เสาเข็มรูปหน้าตัดกลม ท่อรับแรงดันสูง

คอนกรีตก๊าซ (Aerated Concrete) คือคอนกรีตเบาอีกชนิดหนึ่งที่ใช้วัสดุผสมที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ หรือใช้โฟมผสมแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีต ทำให้ได้คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบามาก เช่น อิฐที่ใช้ก่อผนังชนิดพิเศษของยี่ห้อ ซูเปอร์บล็อก และคิวคอน เป็นต้น

1.3 คุณสมบัติของคอนกรีต

คอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไป จะมีหน่วยน้ำหนักโดยประมาณ 2,400 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

คอนกรีตมีคุณสมบัติที่ดีในการรับแรงอัด และมีคุณสมบัติรับแรงดึงได้ประมาณ 10% ของแรงอัดเท่านั้น เพราะฉะนั้นกำลังในการรับแรงอัดของคอนกรีตจึงเป็นค่าที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็ก กำลังอัดของคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับสัดส่วนผสมของวัสดุและอัตราส่วนของน้ำ ต่อซีเมนต์ การเท และการบ่ม



รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกกับรูปลูกบาศก์

มาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ได้จัดทำกราฟเปรียบเทียบกำลังอัดไว้ตามรูปที่ 1.1 โดยกำลังอัดของคอนกรีตทดสอบได้โดยใช้แบบหล่อรูปทรงกระบอก $\varnothing 15 \times 30$ ซม.

ตามมาตรฐาน ASTM-C192 หรือแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม. ตามมาตรฐาน BS 1881 : PART 3 ทำการทดสอบที่อายุ 3 วัน, 7 วัน และ 28 วัน โดยทั่วไปถ้าทดสอบด้วยแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ ค่าแรงอัดที่ได้จะมีค่าสูงกว่าทดสอบด้วยแบบหล่อรูปทรงกระบอกประมาณ 12-15%

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (Modulus of Concrete; E_c) เป็นค่าหน่วยแรงต้านทานของแรงอัดกับค่าหน่วยแรงการหดตัวของคอนกรีต ซึ่งมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) กำหนดค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ดังนี้

$$E_c = w^{1.5} \times 4,270 \sqrt{f_c'}$$

$$= 15,210 \sqrt{f_c'} \text{ (กก./ตร.ซม.)}$$

เมื่อ w = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตโดยประมาณ 2,323 – 2,400 กก./ลบ.ม.

f_c' = หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

1.4 กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

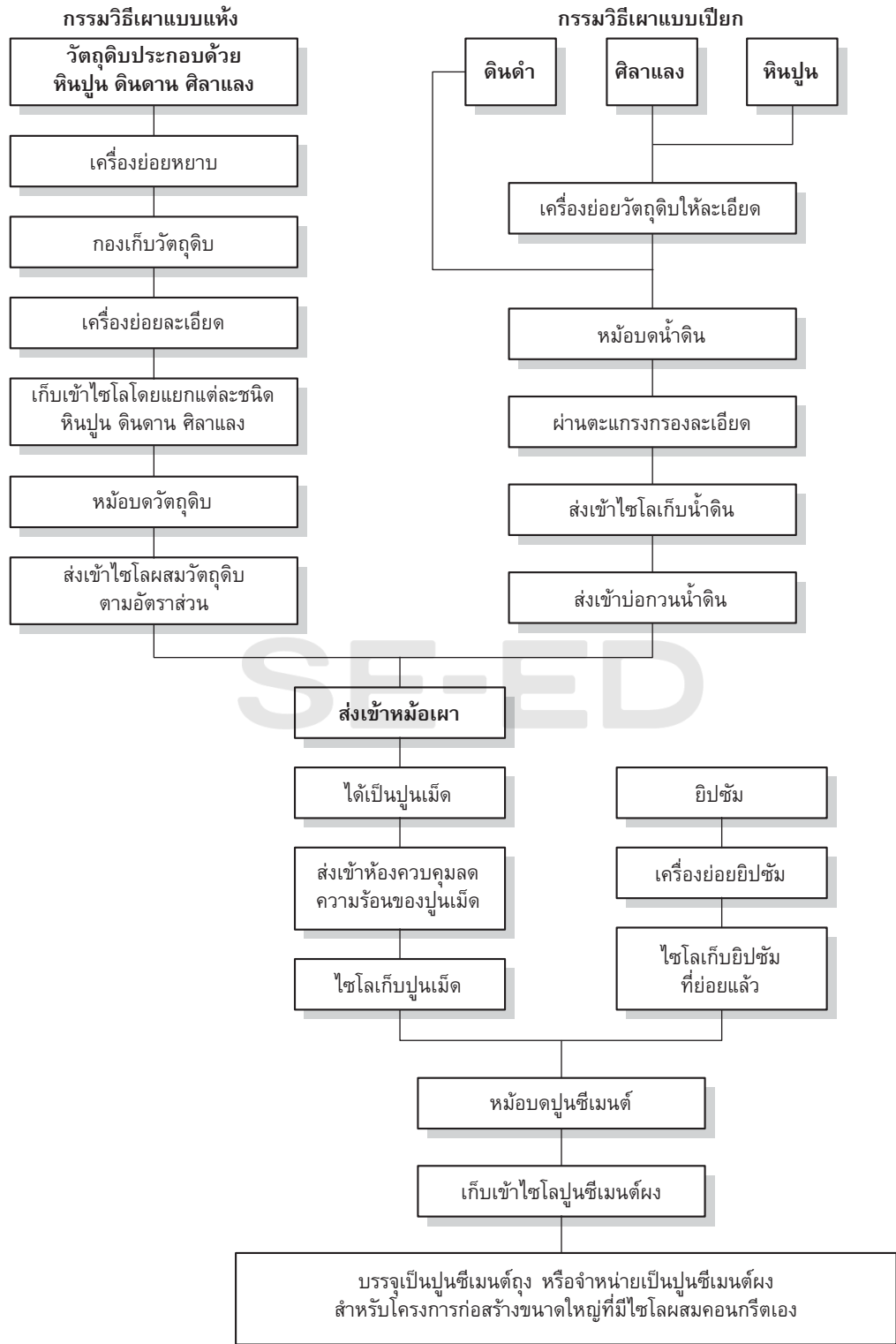
กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แบ่งออกได้ 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

1. กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) วัตถุดิบที่ผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประกอบด้วย

- ดินขาวหรือดินสอพอง (Marl) ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีคือ แคลเซียมคาร์บอเนต
- ดินดำหรือดินเหนียว (Clay) ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีคือ ซิลิกอนไดออกไซด์, อะลูมินัมออกไซด์ และเฟอร์ริกออกไซด์

• แร่เหล็กหรือคิลาแลง (Iron Ore or Laterite) ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีคือ เฟอร์ริกออกไซด์

นำวัตถุดิบดังกล่าวลบล้างเข้าสู่บ่อตีดินด้วยสัดส่วนที่กำหนด แล้วกวนกับน้ำให้เข้ากันเป็นน้ำดิน (Slurry) จากนั้นส่งน้ำดินไปยังหม้อบดดินเพื่อบดให้ละเอียด ส่งน้ำดินที่บดละเอียดแล้วไปผ่านเครื่องกรองหยาบและเครื่องกรองละเอียด เพื่อแยกดินที่ยังหยาบอยู่กลับไปบดใหม่ น้ำดินที่ผ่านเครื่องกรองละเอียดมาแล้วนำไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำดิน (Slurry Silo) และมีลมเป่ากวนน้ำอยู่ตลอดเวลา จากนั้นทำการปรับอัตราส่วนผสมให้ถูกต้องแล้วสูบไปสู่บ่อกวนดิน (Agitator Basin) และเข้าสู่หม้อเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) ที่อุณหภูมิประมาณ 1,400–1,500 องศาเซลเซียส จนกระทั่งแห้งได้เป็นปูนเม็ด (Clinker) ออกมา ทิ้งไว้จนเย็น จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดพร้อมทั้งเพิ่มแร่ยิบซัมอีกประมาณ 5% เพื่อให้ปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติไม่แข็งตัวเร็วเกินไป



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2. กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตประกอบด้วย หินปูน (Limestone), ดินดาน (Shale), แร่เหล็กหรือศิลาแลง และทราย

กรรมวิธีการผลิตแบบแห้งนี้ เริ่มจากคัดแยกวัสดุให้ได้สัดส่วนตามที่ต้องการ ลำเลียงเข้าสู่เครื่องย่อยเพื่อย่อยให้เป็นเม็ดเล็กๆ จากนั้นลำเลียงเข้าไปเก็บในยูน (Silo) เมื่อต้องการผลิตก็ลำเลียงเข้าสู่หม้อบดละเอียด เมื่อผ่านการบดละเอียดแล้วก็ลำเลียงไปผ่านเครื่องร่อนขนาด ส่วนที่ละเอียดได้ตามกำหนดแล้วให้นำเข้าไปเก็บไว้ในยูนเตรียมผสม (Blending Silo) ส่วนที่ยังหยาบอยู่ก็นำกลับไปบดใหม่ สำหรับวัตถุดิบที่ละเอียดแล้วและเก็บไว้ในยูนนั้น จะมีลมเป่าเพื่อให้ส่วนผสมสม่ำเสมอตลอดเวลา จากนั้นก็ลำเลียงเข้าสู่หม้อเผาเช่นเดียวกับการมวนแบบเปียก

1.5 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing Materials; ASTM) ได้แบ่งประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไว้ 4 ประเภทคือ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ รหัส C-150 ประเภทที่ 1 ถึง 5
2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กักอากาศ รหัส C-175
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุง รหัส C-205
4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน รหัส C-340

ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ รหัส C-150 และ มอก. 15 เล่ม 1-2555 ประเภทที่ 1 ถึง 5 เท่านั้น ส่วนปูนซีเมนต์ชนิดอื่นๆ นักศึกษาจะได้เรียนรู้รายละเอียดในวิชา *คอนกรีตเทคโนโลยี* ต่อไป

ประเภทที่ 1 : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ถือว่าเป็นมาตรฐานทั่วไปที่ใช้ในงานก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป เช่น อาคารพักอาศัยทั่วไป ถนน ทางเท้า กำแพง ฯลฯ และอยู่ในสภาพภูมิอากาศปกติ เช่น ไม่ใช้อยู่ใกล้น้ำทะเล ไม่ใช้อยู่ในทะเลทรายหรือหิมะ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขายกัน เช่น ตราช้างแดง ตราอินทรีเพชร ตราทีพีไอแดง ตราราชสีห์แดง และตราบัวแดง



ประเภทที่ 2 : ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ดัดแปลงให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตได้ปานกลาง เกิดความร้อนในระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำกว่าประเภทแรก จึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่และอยู่ใกล้น้ำเค็ม เช่น ตอม่อของท่าเทียบเรือ เชื้อนริมชายฝั่ง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขายในปัจจุบันมีเพียงตราเดียวคือ ตราช้างสีน้ำตาล มีคุณสมบัติทนน้ำเค็มและดินเค็มได้ปานกลาง แต่สามารถนำเอาปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 ที่มีคุณสมบัติสูงกว่ามาใช้ทดแทนได้



ประเภทที่ 3 : ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ให้กำลังอัดเร็ว (High-early Strength Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีเนื้อปูนบดละเอียดมากกว่าประเภทที่ 1 จึงมีคุณสมบัติในการทำให้แข็งตัวเร็วและรับกำลังได้สูง เหมาะสำหรับงานที่ต้องการให้เปิดใช้งานโดยเร็ว เช่น งานถนน หรืองานที่ต้องเร่งรัดเวลาให้เสร็จโดยเร็ว เพื่อการหมุนเวียนไม้แบบหรืองานที่อยู่ในสภาพภูมิอากาศที่หนาวเย็น เพื่อป้องกันน้ำในคอนกรีตแข็งตัวเสียก่อน ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขายกันเช่น ตราช้างสีม่วง ตราอินทรีดำ ตราบัวดำ และตราทีพีโอดำ



ประเภทที่ 4 : ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Low-heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตหนา เช่น งานเขื่อน ซึ่งต้องใช้ปริมาณคอนกรีตอย่างมาก และเกิดความร้อนภายในสูง ทำให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวแตกร้าวได้ การใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะช่วยควบคุมอัตราความร้อน ทำให้คอนกรีตค่อยๆ แข็งตัวอย่างสม่ำเสมอ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ยังไม่มีผลิตขายกันในประเทศไทย แต่สามารถประยุกต์ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แทนโดยผสมกับวัสดุผสมเพิ่ม เช่น เถ้าตะกอนจากเชื้อเพลิง (Pulverized Fuel Ash) และเถ้าตะกอนจากเตาหลอม (Ground Granular Blast Furnace Slag)

ประเภทที่ 5 : ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate Resistance Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีความต้านทานต่อซัลเฟตได้สูง จึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่อยู่ในบริเวณที่ถูกซัลเฟสกระทำหรือบริเวณที่พื้นดินมีความเป็นด่างสูง เช่น อาคารทุกประเภทที่ปลูกสร้างอยู่ใกล้ทะเล หรือในทะเล หรือบริเวณป่าชายเลน ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะแข็งตัวช้ากว่าและเกิดความร้อนต่ำกว่าประเภทอื่น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตขายกัน เช่น ตราช้างฟ้า ตราอินทรีฟ้า ตราทีพีโอฟ้า และตราบัวฉลาม ในบางกรณีอาจใช้ปูนซีเมนต์พอซโซลานทดแทนได้



นอกจากนี้ยังมีปูนซีเมนต์พิเศษที่ผลิตออกมาจำหน่ายอีกหลายประเภท เช่น

1. ปูนซีเมนต์ขาว (White Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้วควบคุมปริมาณเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ในวัตถุดิบไม่ให้มีเกิน 1% เป็นผลให้ปูนซีเมนต์มีสีขาว ปัจจุบันนี้มีผลิตจำหน่าย เช่น ตราช้างเผือกใช้กับงานตกแต่งที่ค่อนข้างรับกำลัง ตราเสือเผือกใช้กับงานตกแต่งทั่วไป และตรากิเลนเป็นยี่ห้อแรกๆ ที่นำเข้ามาจำหน่ายในประเทศไทย ใช้กับงานตกแต่งทั่วไป



2. ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) หรือเรียกว่า ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แต่มีการบดผสมยิปซัมเพิ่มมากขึ้นอีกประมาณ 4% และเพิ่มวัสดุเฉื่อยเพิ่มเติมอีก เช่น หินปูน, ทราช หรือดินดาน อีกประมาณ 25–30 % เพื่อให้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีคุณสมบัติในการแข็งตัวช้าลง ยึดหดตัวน้อยลง ลดการแตกร้าวที่ผิว แต่การรับกำลังก็ลดลงด้วย ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับงานที่ไม่รับกำลังมาก เช่น งานก่ออิฐ งานฉาบผนัง งานปูนปั้น งานตกแต่งต่างๆ ปัจจุบันนี้มีผลิตจำหน่าย เช่น ตราเสือเขียว ตราอินทรีเขียว ตราบัวเขียว ตราทีพีโอเขียว ตราราชสีห์เขียว และตราแรด เป็นต้น

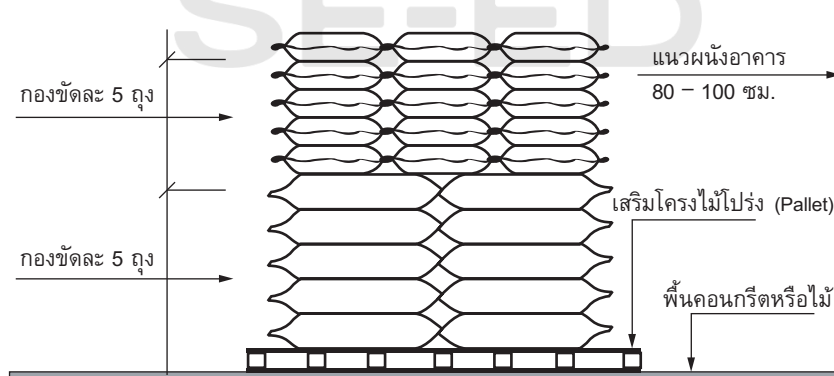


3. ปูนซีเมนต์สำเร็จรูป (Ready-Mixed Cement) เป็นที่ทราบกันว่า เมื่อนำปูนซีเมนต์ไปใช้จะต้องผสมกับวัสดุละเอียด ทำให้เกิดการผลิตปูนซีเมนต์สำเร็จรูปขึ้นมา เพื่อสนองตอบต่อความรวดเร็วในการใช้งาน เพื่อลดพื้นที่ในการกองเก็บวัสดุ เพื่อลดปัญหาความล้นเปลือง ปัจจุบันนี้ปูนซีเมนต์สำเร็จที่ผลิตออกมาจำหน่าย เพื่องานก่อ เพื่องานฉาบ และเพื่องานเทพรับพื้นมีมากมายยี่ห้อ



1.6 การเก็บรักษาปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์นั้นผลิตจำหน่ายอยู่ 2 แบบคือ ปูนซีเมนต์ผง จะพบการใช้ในโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ที่มีไซโลรองรับและป้องกันความชื้นได้ดี กับอีกแบบหนึ่งคือ ปูนซีเมนต์บรรจุถุง ถุงละ 50 กิโลกรัม ซึ่งมีวางจำหน่ายในร้านค้าวัสดุก่อสร้างทั่วไป



รูปที่ 1.3 การกองเก็บปูนซีเมนต์ถุงที่เหมาะสม

การกองเก็บปูนซีเมนต์ถุง ควรจัดทำโรงเก็บที่ถาวร มีหลังคาและฝากั้นให้มิดชิด เพื่อป้องกันฝนสาดเข้ามาได้ มีพื้นรองรับที่แข็งแรง ควรยกพื้นที่รองรับปูนซีเมนต์ถุงให้ลอยขึ้นมา อย่าให้สัมผัสกับพื้นคอนกรีตหรือพื้นดินโดยตรง และไม่กองไปชิดกับข้างฝา จำนวนชั้นที่กองไม่ควรเกิน 5-6 ถุง และกองสูงได้อีกหนึ่งชั้น โดยวางสลับกัน เพื่อป้องกันการล้นและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน นอกจากนี้ควรหมุนเวียนการนำปูนซีเมนต์ถุงในชั้นล่างไปใช้ให้หมด ก่อนที่จะนำถุงใหม่มาวางทับอีก ระยะเวลาที่เก็บรักษาไว้ได้ในสภาพอากาศปกติประมาณ 3 เดือน แต่ถ้าเป็นช่วงฤดูฝนควรรีบใช้ให้หมดภายใน 1 เดือน

ตารางที่ 1.3 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ตามมาตรฐาน มอก.15 เล่ม 1-2547 และเล่ม 1-2555

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด					
		ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
1	ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์ *ร้อยละ โดยปริมาตร ไม่มากกว่า	12	12	12	12	12	
2	ความละเอียด *พื้นผิวจำเพาะ (Specific Surface) ตารางเมตรตอกิโลกรัม - ทดสอบด้วยมาตรความขุ่นวากเนอร์ (Wagner Turbidimeter) ไม่น้อยกว่า - ทดสอบด้วยสภาพความซึมผ่านอากาศได้ของ เบลน (Blaine Air Pemenbility) ไม่น้อยกว่า	160	160	–	160	160	
		280	280	–	280	280	
3	การขยายตัวโดยวิธีออโตเคลฟ (Autoclave Expansion) ร้อยละไม่มากกว่า	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
4	ความต้านแรงอัด, *เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	อายุ 1 วัน	–	–	12	–	–
		อายุ 3 วัน	12	10	24	–	8
		อายุ 7 วัน	19	17	–	7	15
		อายุ 28 วัน	–	–	–	17	21
5	ระยะเวลาก่อตัว * - ทดสอบแบบกิลโมร์ (Gillmore Test)การก่อตัวระยะต้น, นาที่ ไม่น้อยกว่าการก่อตัวระยะปลาย, ชั่วโมง ไม่มากกว่าหรือ - ทดสอบแบบไวแคต (Vicat Test)การก่อตัวระยะต้น, นาที่ ไม่น้อยกว่าการก่อตัวระยะปลาย, นาที่ ไม่มากกว่า	60	60	60	60	60	
		10	10	10	10	10	
		45	45	45	45	45	
		375	375	375	375	375	
คุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่อาจเพิ่มเติมได้							
6	การก่อตัวผิดปกติ ระยะจมปลาย ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	50	50	50	50	50	
7	ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ แคลอรีตอกกรัม ไม่มากกว่า	อายุ 7 วัน	–	70*	–	60	–
		อายุ 28 วัน	–	–	–	70	–
8	ความต้านแรงอัด, เมกะปาสคาล ไม่น้อยกว่า	อายุ 28 วัน	28	28	–	–	–
9	การขยายตัวเนื่องจากซัลเฟต ร้อยละไม่มากกว่า	อายุ 14 วัน	–	–	–	–	0.04*

หมายเหตุ : *ให้ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 เล่ม 1-2547 และเล่ม 1-2555

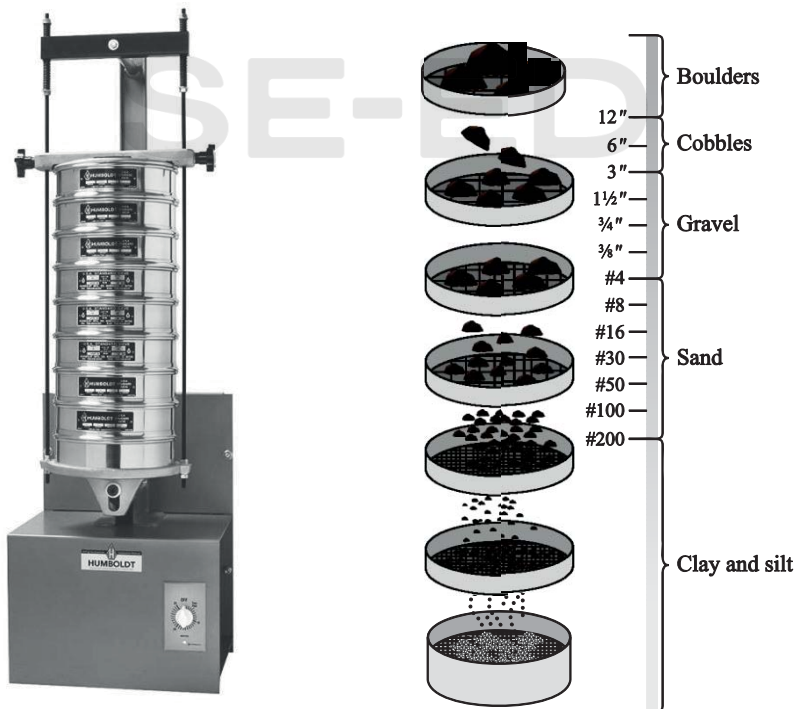
ตารางที่ 1.4 คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ตามมาตรฐาน มอก.15 เล่ม 1-2547 และเล่ม 1-2555

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				
		ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
1	ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละไม่น้อยกว่า	—	20	—	—	—
2	อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละไม่มากกว่า	—	6	—	—	—
3.	ไอร์ออน (III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละไม่มากกว่า	—	6	—	6.5	—
4	แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละไม่มากกว่า	6	6	6	6	6
5	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ * (SO_2) ร้อยละไม่มากกว่า					
	5.1 เมื่อมีไตรแคลเซียมอะลูมิเนต * ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) ร้อยละ 8 หรือน้อยกว่า	3	3	3.5	2.3	2.3
	5.2 เมื่อมีไตรแคลเซียมอะลูมิเนต * มากกว่า ร้อยละ 8	3.5	—	4.5	—	—
6	น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา ร้อยละ ไม่มากกว่า	3	3	3	2.5	3
7	กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง ร้อยละไม่มากกว่า	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
8	ไตรแคลเซียมซิลิเกต * ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ร้อยละไม่มากกว่า	—	—	35	—	—
9	ไดแคลเซียมซิลิเกต * ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ร้อยละไม่มากกว่า	—	—	40	—	—
10	ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต * ร้อยละไม่มากกว่า	—	8	15	7	5*
11	เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์บวกสองเท่าของ ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต * ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$) หรือสารละลายของแข็งของ เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์บวก ไดแคลเซียมเฟอร์ไรต์ ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) แล้วแต่กรณี ร้อยละไม่มากกว่า	—	—	—	—	25*
คุณลักษณะทางเคมีที่อาจเพิ่มเติมได้						
12	ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต * ร้อยละไม่มากกว่า (ปูนซีเมนต์ที่ทนซัลเฟตปานกลางได้)	—	—	8	—	—
13	ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต * ร้อยละไม่มากกว่า (ปูนซีเมนต์ที่ทนซัลเฟตสูงได้)	—	—	5	—	—
14	ไตรแคลเซียมซิลิเกตบวกไตรแคลเซียมอะลูมิเนต * ร้อยละไม่มากกว่า (ปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนปานกลาง)	—	58*	—	—	—
15	ด่าง ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$) ร้อยละไม่มากกว่า (ปูนซีเมนต์ที่มีด่างต่ำ)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

หมายเหตุ : *ให้ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 เล่ม 1-2547, 1-2555

1.7 หินที่ใช้ในงานคอนกรีต

หินที่ใช้ในงานก่อสร้างนั้นได้มาจากการระเบิดหินจากภูเขา ซึ่งจะต้องมีการสำรวจทางธรณีวิทยาเสียก่อนว่าหินนั้นเป็นชนิดหินปูน (Lime Stone) หรือไม่ว่า เนื่องจากเป็นหินที่นิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีต หลังจากนั้นจึงขอสัมปทานในการทำเหมืองหิน ทำการระเบิดหินออกมา แล้วลำเลียงเข้าสู่เครื่องย่อยหิน (โม่) ชุดที่หนึ่ง หินที่มีขนาดเล็กกว่า 8 นิ้ว จะผ่านตะแกรงร่อนไปรวมกับหินที่ย่อยมาจากเครื่องย่อยที่หนึ่งไปสู่เครื่องย่อยชุดที่สองและชุดที่สาม เพื่อทำการย่อยหินให้เล็กลงอีกจนได้ขนาด 2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜", หินเกล็ด, หินคลุก และหินฝุ่น ตามที่ต้องการ ส่วนหินที่ยังไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการก็มักกลับไปสู่เครื่องย่อยใหม่อีกครั้ง หินและทรายโดยทั่วไปจะมีน้ำหนักประมาณ 1,400–1,600 กก./ลบ.ม. และมีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ประมาณ 2.4–2.9 ขนาดของหินที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปเรียกว่า หินสอง หมายถึงหินที่มีขนาดระหว่าง 1"–2" มาตรฐาน วสท. 011007–19 กำหนดให้ขนาดใหญ่สุดต้องไม่เกิน ⅕ ของด้านที่แคบที่สุดของแบบหล่อ หรือ ⅓ ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ ¾ ของระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้นหรือแต่ละมัด



รูปที่ 1.4 ชุดเครื่องมือร่อนแบ่งแยกขนาดของเม็ดวัสดุผสมคละ

ตารางที่ 1.5 ขนาดของหินย่อยตามมาตรฐาน ASTM C-33

ขนาด (นิ้ว)	ร้อยละผ่านตะแกรง								
	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
1/2" - No.4	-	-	-	-	100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5
3/4" - No.4	-	-	100	-	90 - 100	-	20 - 55	0 - 10	0 - 5
1" - No.4	-	-	95 - 100	100	-	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5
1 1/2" - No.4	-	100	-	95 - 100	35 - 70	-	10 - 30	0 - 5	-
2" - No.4	100	95 - 100	-	35 - 70	-	10 - 30	-	0 - 5	-
1 1/2" - 3/4"	-	100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	-	0 - 5	-	-
2" - 1"	100	95 - 100	35 - 70	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-

1.8 ทรายที่ใช้ในงานคอนกรีต

ทรายเป็นวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างได้หลายประเภท เช่น ผสมในคอนกรีต ปรับระดับพื้นดิน ปรับพื้นที่จัดสวน ผสมปูนก่ออิฐและฉาบผนัง ใช้ผสมในอิฐบล็อก ใช้ผสมในงานตกแต่ง เช่น หินขัด หินล้าง เป็นต้น ทรายที่ใช้ในงานก่อสร้างโดยทั่วไปจะมีขนาดเม็ดระหว่าง 0.075-2 มม. น้ำหนักเมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะหนักประมาณ 1,400-1,650 กก./ลบ.ม. และ 1,800-2,000 กก./ลบ.ม. เมื่ออยู่ในสภาพเปียก

1.8.1 แหล่งกำเนิดทราย

ทรายแบ่งออกตามแหล่งที่เกิดได้ 2 แหล่งคือ

1. ทรายแม่น้ำ เป็นทรายที่เกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำพัดพาไหลไปตามแหล่งน้ำ โดยที่ทรายที่ยังมีขนาดใหญ่จะยังคงตกตะกอนอยู่บริเวณต้นน้ำ ส่วนทรายที่เม็ดเล็กก็จะถูกพัดพาไปตกบริเวณท้ายน้ำ ทรายแม่น้ำเป็นทรายที่สะอาด เนื่องจากมีการขัดสีไปตลอดทาง แต่ข้อเสียคือ จะมีรูปร่างของเม็ดค่อนข้างกลม ไม่มีเหลี่ยมคม เราเรียกว่า กรวด ทำให้เกิดการเกาะยึดในงานคอนกรีตได้ไม่ดี การนำทรายแม่น้ำขึ้นมาใช้นั้นต้องใช้เรือดูดทรายดูดขึ้นมาตามท่อ แล้วปล่อยลงบนเรือบรรทุก แล้วนำไปส่งยังท่าทรายเพื่อจำหน่ายต่อไป ทรายที่ไม่สะอาดที่ยังมีเศษดินโคลนปะปนอยู่เราเรียกว่า ทรายขี้เป็ดหรือทรายถม เอาไปใช้ถมที่ปรับระดับหรือใช้ถมเพื่อจัดสวนต่อไป

2. ทรายบก เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของหินทรายที่ถูกทับถมฝังอยู่ใต้ดิน หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา คือ แม่น้ำเกิดแห้งขอดแปรสภาพเป็นพื้นดิน การนำทรายบกมาใช้งาน จะต้องทำการเปิดหน้าดินออกไปก่อนลึกประมาณ 2-10 เมตร เนื่องจากบริเวณหน้าดินจะมีซากพืช ซากสัตว์ที่ตายทับถมกันอยู่ ทำให้ทรายไม่สะอาด หลังจากขุดลงไปลึกถึงระดับชั้นทรายแล้วก็จะเจอกับน้ำใต้ดิน วิธีการนำทรายบกขึ้นมานั้นก็ใช้เรือดูดทรายเช่นเดียวกันดูดขึ้นมาตามท่อ แล้วปล่อยลงกองบริเวณปากบ่อ จากนั้นก็ใช้รถบรรทุกสิบล้อลำเลียงไปจำหน่ายต่อไป

1.8.2 ประเภทของทราย

ทรายแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ทรายหยาบ เป็นทรายที่ใช้สำหรับงานผสมคอนกรีตโครงสร้าง ลักษณะของเม็ดทรายจะใหญ่ มีเหลี่ยมมุม และแข็งแรง ขนาดของเม็ดทรายประมาณ 2-4.5 มม. แหล่งของทรายหยาบจะมาจากจังหวัดราชบุรี ปทุมธานี และสิงห์บุรี

2. ทรายหยาบปานกลาง เป็นทรายที่ใช้สำหรับงานปูนก่อหรืองานคอนกรีตที่รับน้ำหนักไม่มากนัก ลักษณะของเม็ดทรายจะใหญ่น้อยกว่าทรายหยาบ มีเหลี่ยมมนน้อยลง ขนาดของเม็ดทรายประมาณ 1.5-2 มม. แหล่งของทรายหยาบปานกลางจะมาจากจังหวัดอ่างทอง

3. ทรายละเอียด เป็นทรายที่ใช้สำหรับงานปูนฉาบผนัง งานบัวปูนปั้น ลักษณะของเม็ดทรายค่อนข้างเล็ก ไม่เหมาะกับการที่ต้องแบกรับน้ำหนักมากๆ ขนาดของเม็ดทรายประมาณ 0.05-1.5 มม. แหล่งของทรายละเอียดจะมาจากจังหวัดอยุธยา

ตารางที่ 1.6 ขนาดของกรวดและทรายตามมาตรฐานของ ASTM D2487

ขนาดของตะแกรงร่อน		ขนาดของเม็ด		ชนิดของกรวดหรือทราย
ส่วนที่ผ่าน	ส่วนที่ค้าง	นิ้ว	มิลลิเมตร	
3"	3/4"	0.75 - 3	19.0 - 75.0	กรวดหยาบ (coarse gravel)
3/4"	No.4	0.19 - 0.75	4.75 - 19.0	กรวดละเอียด (fine gravel)
No.4	No.10	0.079 - 0.19	2.00 - 4.75	ทรายหยาบ (coarse sand)
No.10	No.40	0.016 - 0.079	0.425 - 2.00	ทรายปานกลาง (medium sand)
No.40	No.200	0.0029 - 0.016	0.075 - 0.425	ทรายละเอียด (fine sand)
No.200	-	< 0.0029	< 0.075	ฝุ่น (silt, clay)

ตารางที่ 1.7 ขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ขนาดความ หนาของ โครงสร้าง (ซม.)	ขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสม							
	คาน, ผัง และเสา คสล.		ผนังคอนกรีต ไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีต รับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5 - 15	$\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$	12 - 19	$\frac{3}{4}$	19	$\frac{3}{4} - 1$	19 - 25	$\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2}$	19 - 38
15 - 30	$\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2}$	19 - 38	$1\frac{1}{2}$	38	$1\frac{1}{2}$	38	$1\frac{1}{2} - 3$	38 - 75
30 - 75	$1\frac{1}{2} - 3$	38 - 75	3	75	$1\frac{1}{2} - 3$	38 - 75	3	75
> 75	$1\frac{1}{2} - 3$	38 - 75	6	150	$1\frac{1}{2} - 3$	38 - 75	3 - 6	17 - 150

1.9 คุณสมบัติที่ต้องการของหินและทรายในงานวิศวกรรมก่อสร้าง

เนื่องจากหินและทราย (อาจเรียกว่า วัสดุมวลรวม หรือวัสดุผสมคละ) มีอัตราส่วนถึง 3 ใน 4 ส่วนของปริมาตรคอนกรีตหนึ่งหน่วย และถึงแม้ว่าวัสดุมวลรวมจะเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายก็ตาม ถ้าปราศจากการตรวจสอบคัดแยกวัสดุให้มีคุณสมบัติที่ถูกต้องแล้ว ย่อมทำให้งานก่อสร้างนั้นๆ ขาดคุณภาพ และอาจก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยได้

1. ความสะอาด (Clean) หินและทรายที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างต้องมีความสะอาด ปราศจากฝุ่นและสารอินทรีย์ต่างๆ เจือปน เพราะจะทำให้การยึดเกาะของเนื้อคอนกรีตด้อยกำลังลง สามารถทำการทดสอบความสะอาดได้ในห้องปฏิบัติการ โดยการแช่วัสดุลงในน้ำยาโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเทียบกับสีมาตรฐาน ในภาคนามอาจสังเกตด้วยตาเปล่า ถ้าพบว่าไม่สะอาด เช่น มีเศษกิ่งไม้ รากไม้ และเศษดินโคลนปะปนมามาก ก็อาจสั่งการให้คนงานนำวัสดุไปล้างน้ำให้สะอาดเสียก่อนที่จะนำไปผสมในคอนกรีต

2. การขนย้ายและกองเก็บ (Transport & Storage) คอนกรีตที่สามารถรับกำลังได้ดีต้องมีเนื้อผสมที่สม่ำเสมอด้วย ซึ่งก็คือหินและทรายที่ใช้ผสมต้องควบคุมการกองเก็บไม่ให้มีขนาดที่แตกต่างจากที่อื่นเข้ามาปะปน หรือการลำเลียงจากที่สูงแล้วปล่อยลงมาผสมกับคอนกรีตในที่ต่ำ ก็อาจทำให้หินและทรายเกิดการแยกขนาดขึ้นได้ รวมทั้งป้องกันสิ่งสกปรกไม่ให้เข้ามาภายในบริเวณที่กองเก็บ

3. ให้ใช้ขนาดเม็ดใหญ่ที่สุด (Maximum Size of Aggregate) เนื่องจากหินและทรายเป็นวัสดุผสมหลักในคอนกรีตที่ทำหน้าที่แบกรับน้ำหนัก ฉะนั้นยิ่งใช้ก้อนใหญ่ที่สุดได้ก็จะยิ่งดีและยังเป็นการประหยัด ทำให้ใช้ปูนซีเมนต์น้อยลง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นขนาดก้อนใหญ่ที่สุดที่เลือกใช้นั้น ต้องเหมาะสมกับขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้างแต่ละส่วนด้วย ซึ่งสามารถเลือกปฏิบัติตามแนวทางมาตรฐานของ ACI ได้ หรือตามแนวทางในตารางที่ 1.7

4. ความแข็งแรง (Strength) หินและทรายต้องมีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ปกติหินและทรายที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างมักจะมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าคอนกรีตอยู่แล้ว เช่น สามารถรับแรงกดได้ถึง 700–3,500 กก./ตร.ซม.

5. ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี (Impact & Abrasion Resistance) งานคอนกรีตเป็นงานที่ต้องพบกับการกระแทกและเสียดสีอยู่ตลอดเวลา เช่น งานถนน สะพาน พื้นโรงงาน ฉะนั้นถ้าวัสดุหินและทรายไม่มีคุณสมบัติในข้อนี้ งานคอนกรีตโครงสร้างส่วนนั้นก็จะชำรุดเสียหายได้ง่าย ในห้องปฏิบัติการสามารถทดสอบคุณสมบัตินี้ได้ด้วยเครื่องทดสอบ Los-Angeles Abrasion Test โดยยอมให้มีการแตกของวัสดุได้ไม่เกิน 50%

6. ความคงตัวต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability) เหตุผลหลักที่เลือกใช้หินและทรายเป็นส่วนผสมในงานคอนกรีต เพราะหินและทรายจัดเป็นวัสดุเฉื่อย คือไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์ แต่ในบางแหล่งของหินและทรายอาจทำปฏิกิริยากับด่างของปูนซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวแตกร้าวได้ ต้องระงับการล้างหินหรือทรายจากแหล่งนั้นๆ เข้ามาใช้งาน

7. รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape & Surface Texture) ลักษณะก้อนของหินและทรายจะต้องไม่แบนหรือยาวเกินไป ทรวดทรงของก้อนควรจะเป็นลักษณะทรงกลมมีเหลี่ยมมุมเพื่อช่วยให้การผสมและการเทคอนกรีตทำได้ง่าย (Workability) ช่วยลดการลื่นเปeling ของปูนซีเมนต์ ช่วยทำให้การยึดเหนี่ยวภายในเนื้อคอนกรีตเกาะติดแน่น วัสดุที่มีรูปร่างแบนและยาวเกินมาตรฐานไม่ควรมีเกิน 15% โดยน้ำหนัก ทดสอบได้ในห้องปฏิบัติการ

8. ความลดหลั่นของขนาดหรือส่วนคละ (Gradation) ส่วนคละ หมายถึงการที่หินหรือทรายมีการกระจายขนาดต่างๆ ลดหลั่นกันอย่างพอเหมาะ ทำให้เกิดการสอดแทรกกันระหว่างเม็ดเล็กกับเม็ดใหญ่ในบริเวณที่เป็นช่องว่าง ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นรับกำลังได้ดี ลดการลื่นเปeling ของปูนซีเมนต์ ทดสอบส่วนคละที่ดีได้ในห้องปฏิบัติการ

9. การดูดซึมและความชื้นที่ผิว (Moisture & Absorption) ผิวของหินและทรายจะเป็นลักษณะรูพรุน ในการนำวัสดุหินและทรายไปใช้ผสมในงานคอนกรีตจึงต้องพิจารณาถึงอัตราการเติมน้ำผสมด้วย เนื่องจากรูพรุนที่ผิวของวัสดุจะเป็นตัวดูดเก็บความชื้นไว้ มีผลทำให้ต้องพิจารณาเกี่ยวกับการพองตัวของวัสดุ และการเพิ่ม-ลดปริมาณน้ำในสภาพอากาศชื้นหรือแห้ง ทดสอบหาร้อยละการดูดซึมความชื้นได้ในห้องปฏิบัติการ

10. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) คืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของวัสดุต่อความหนาแน่นของน้ำ ความถ่วงจำเพาะเป็นตัวบ่งบอกถึงแร่ธาตุที่เป็นส่วนผสมของหินหรือทราย และลักษณะของรูพรุนที่ผิวของวัสดุ สำหรับในเมืองไทย ถ.พ.ทั่วไปของหินประมาณ 2.7 และ ถ.พ. ของทรายประมาณ 2.65

1.10 เหล็กที่ใช้เสริมในงานคอนกรีต

เหล็กเส้นหรือเหล็กอื่นที่อยู่ในระหว่างการเทคอนกรีต ต้องมีสภาพผิวที่ไม่เป็นสนิมขุม เปื้อนโคลน น้ำมัน หรือสารเคมีอื่นใดมาเกาะติดผิว เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียแรงยึดหน่วงและสูญเสียการรับกำลังได้น้อยลง

เหล็กเส้นที่ใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก แบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ

1. เหล็กเส้นกลม (Round Bars; RB) ตามมาตรฐาน มอก.20-2559 กำหนดให้เหล็กเส้นกลมมีชั้นคุณภาพที่ SR 24 ซึ่งหมายถึง เหล็กที่ต้องมีกำลังจุดครากไม่ต่ำกว่า 2,400 กก./ตร.ซม. ขนาดของเหล็กมีตั้งแต่ $\varnothing 6$ มม. ถึง $\varnothing 25$ มม. ส่วนความยาวมาตรฐานคือ 10 ม. แต่ถ้าต้องการยาวมากกว่านี้ก็สามารถสั่งโรงงานได้เป็นพิเศษ เหล็กขนาด $\varnothing 6$ มม. และ $\varnothing 9$ มม. มักใช้เป็นเหล็กปลอกในคานหรือเสา ส่วนเหล็กขนาด $\varnothing 12$ มม. ขึ้นไป ใช้เป็นเหล็กเสริมแกนหลักในงานโครงสร้างคอนกรีต ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กเส้นกลมคือ คาร์บอนประมาณ 0.28%, ฟอสฟอรัสประมาณ 0.06% และกำมะถันประมาณ 0.06% นอกจากนี้ยังมีมาตรฐาน มอก. 211-2527 เหล็กเส้นกลมรีดซ้ำ เป็นเหล็กที่ได้จากการนำเศษเหล็กไปรีดออกมาใหม่เป็นเส้นกลมโดยกรรมวิธีการรีดร้อน ใช้สัญลักษณ์ว่า SRR24 มักใช้สำหรับงานเหล็กปลอกเท่านั้น

2. เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bars; DB) เนื่องจากผิวของเหล็กมีลักษณะเป็นปล้องๆ คล้ายอ้อย จึงเรียกว่า เหล็กข้ออ้อย ตามมาตรฐาน มอก. 24-2559 กำหนดให้เหล็กข้ออ้อยมีชั้นคุณภาพหลายชั้น เช่น SD30, SD40, SD50 ซึ่ง SD30 หมายถึงเหล็กที่ต้องมีกำลังจุดครากไม่ต่ำกว่า 3,000 กก./ตร.ซม. หรือ SD40 หมายถึงเหล็กที่ต้องมีกำลังจุดครากไม่ต่ำกว่า 4,000 กก./ตร.ซม. ขนาดของเหล็กมีตั้งแต่ $\varnothing 12$ มม. ถึง $\varnothing 40$ มม. ส่วนความยาวมาตรฐานคือ 10 เมตร แต่ถ้าต้องการยาวมากกว่านี้ก็สามารถสั่งโรงงานได้เป็นพิเศษ เหล็กข้ออ้อยใช้ในงานก่อสร้างที่ต้องรับน้ำหนักมากๆ ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กข้ออ้อยคือ แมงกานีสประมาณ 1.8%, ฟอสฟอรัสประมาณ 0.05%, กำมะถันประมาณ 0.05% และคาร์บอนบวกกับ $\frac{1}{6}$ แมงกานีสประมาณ 0.5-0.6%



(ก) ลักษณะของเหล็กเส้นกลม



(ข) ลักษณะของเหล็กข้ออ้อย

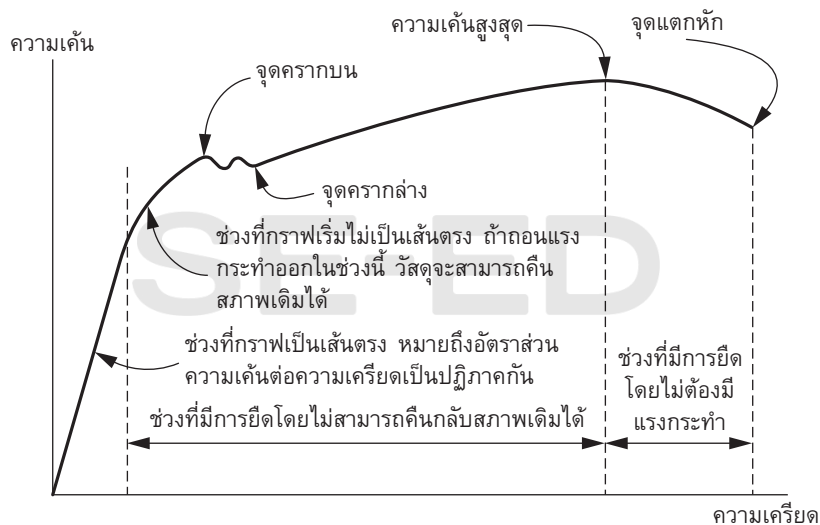
รูปที่ 1.5 ลักษณะของเหล็กเสริมในคอนกรีต

ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (Modulus of Elasticity; E_s) เป็นค่าคงที่ของอัตราส่วนความเค้นต่อความเครียด ซึ่งค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นนี้หมายถึง ความเอียงลาดของกราฟเส้นตรงในช่วงที่เป็นพิกัดสัดส่วน (ดูในรูปที่ 1.6) ซึ่งมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) กำหนดค่าของโมดูลัสยืดหยุ่นไว้ดังนี้

$$E_s = 2,040,000 \text{ (กก./ตร.ซม.)}$$

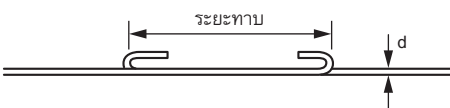
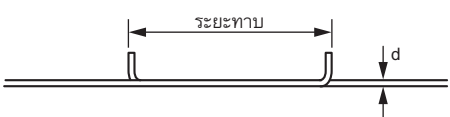
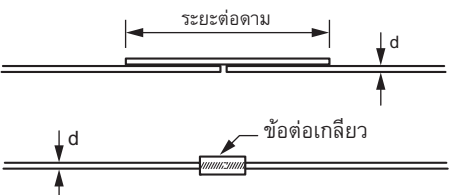
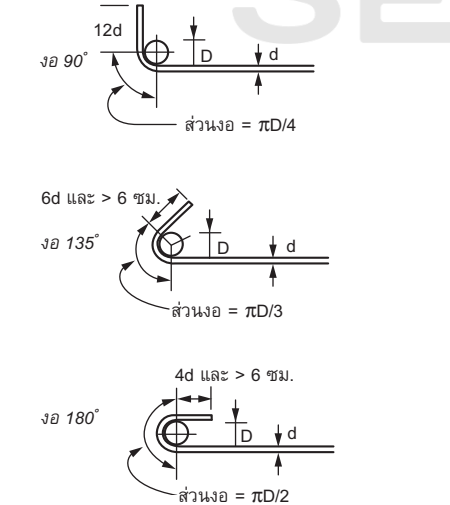
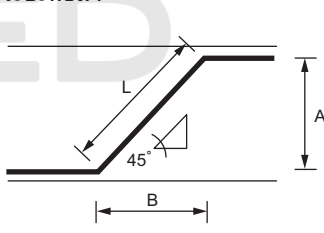
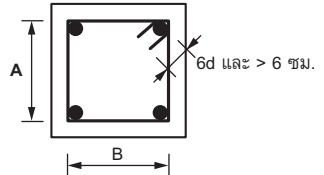
อัตราส่วนโมดูลัส (Modulus Ratio; n) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กต่อโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (แต่ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 6) ดังนี้

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2,040,000}{15,210 \sqrt{f_c'}} = \frac{134.12}{\sqrt{f_c'}}$$



รูปที่ 1.6 กราฟการยืดหยุ่นตัวของวัสดุโลหะเหล็ก

การทาบเหล็ก ตามเหล็ก และงอปลาย เนื่องจากเหล็กเส้นมีความยาวมาตรฐานที่ 10 เมตร และต้องการการยึดเหนี่ยวที่ดี จึงกำหนดเกณฑ์ให้เป็นแนวทางขั้นต่ำตามมาตรฐาน วสท. ดังนี้

การทาบสำหรับเหล็กเส้นกลม 	ระยะทาบต้อง SR24 > 48 เท่าของ d หรือ > 60 ซม. (แรงดึง) SR24 > 40 เท่าของ d หรือ > 60 ซม. (แรงอัด)
การทาบสำหรับเหล็กข้ออ้อย 	ระยะทาบต้อง SD50 > 36 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงดึง) SD40 > 30 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงดึง) SD30 > 24 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงดึง) SD50 > 30 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงอัด) SD40 > 24 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงอัด) SD30 > 20 เท่าของ d หรือ > 30 ซม. (แรงอัด)
การต่อตาม  หมายเหตุ : 1. การต่อทาบหรือการต่อตาม ห้ามใช้กับเหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่กว่า $\varnothing 25$ มม. 2. การต่อเหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่กว่า $\varnothing 25$ มม. ควรใช้วิธีการเชื่อม 3. ควรหลีกเลี่ยงการต่อเหล็กในบริเวณที่เกิดแรงดึงสูงสุด	ระยะต่อตามต้อง > 80 เท่าของ d หรือใช้ข้อต่อเกลียว ตามมาตรฐานผู้ผลิตนั้นๆ แต่ถ้าไม่นิยมใช้กับแรงดึง
การงอปลาย  หมายเหตุ : การดัดเหล็กทุกเส้นต้องใช้วิธีดัดเย็น	ระยะคอม้า  เมื่อ $A = B$, $L = \sqrt{A^2 + B^2}$ เหล็กปลอก  ความยาว 1 ปลอก = $2A + 2B + (2 \times 6d) + (2 \pi d/3)$

รูปที่ 1.7 การต่อทาบ การงอปลายเหล็กแต่ละรูปแบบ

ตารางที่ 1.8 ระยะของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก สำหรับคอนกรีตที่หล่อในที่ ควรมียะหุ้มต่ำสุด ดังนี้
(มาตรฐาน วสท. 011007-19)

ส่วนของโครงสร้าง	ระยะหุ้มต่ำสุด (ซม.)
1. ฐานรากและองค์อาคารส่วนสำคัญที่สัมผัสกับดินตลอดเวลา	7.5
2. คอนกรีตที่สัมผัสกับดินหรือถูกแดดฝน	
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 16 มม.	5
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และเล็กกว่า	4
3. คอนกรีตที่ไม่สัมผัสกับดินหรือไม่ถูกแดดฝน	
3.1 ในแผ่นพื้น ผึง และตง	
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 44 มม.	4
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มม. และเล็กกว่า	2
3.2 ในคาน	
- เหล็กเสริมหลักหรือเหล็กลูกตั้ง	3
3.3 ในเสา	
- เหล็กปลอกเดี่ยวหรือเหล็กปลอกเกลียว	3.5
3.4 ในคอนกรีตเปลือบบางและพื้นแผ่นพับ	
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 16 มม.	2
- สำหรับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. และเล็กกว่า	1.5
4. ให้เพิ่มความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กได้ตามความเหมาะสม เมื่ออยู่ในสภาวะรุนแรง หรือบรรยากาศที่อาจก่อให้เกิดการผุกร่อน	—
5. กรณีใช้ร่วมกับมาตรฐานอื่น เช่น การป้องกันอัคคีภัย คอนกรีตหล่อสำเร็จ โครงสร้างเปลือบบาง ฯลฯ ให้ใช้ค่าที่มากกว่าเป็นเกณฑ์บังคับ	—

หมายเหตุ : ระยะหุ้ม หมายถึงระยะที่วัดจากผิวคอนกรีตถึงผิวนอกสุดของเหล็กปลอก หรือเหล็กอื่นที่อยู่นอกสุด

ตารางที่ 1.9 ระยะของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก เพื่อป้องกันอัคคีภัย
(กฎกระทรวงควบคุมอาคาร ฉบับที่ 60-2549)

โครงสร้างหลักคอนกรีตเสริมเหล็ก*	ระยะหุ้มต่ำสุด (ซม.)
1. เสาสี่เหลี่ยม ที่มีด้านแคบขนาด 30 ซม. ขึ้นไป	4
2. เสากลมหรือเสาดังแต่ห้าเหลี่ยมขึ้นไป ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. ขึ้นไป	4
3. คานและโครงสร้างข้อหมุนคอนกรีต ขนาดกว้างตั้งแต่ 30 ซม. ขึ้นไป	4
4. พื้นหนาไม่น้อยกว่า 11.5 ซม.	2

หมายเหตุ : *บังคับใช้กับอาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ อาคารขนาดใหญ่พิเศษ คลังสินค้า โรงมหรสพ โรงแรม อาคารชุด สถานพยาบาล อาคารเพื่อกิจการพาณิชย์กรรม อุตสาหกรรม การศึกษา การสาธารณสุข อาคารสำนักงานที่มีความสูงตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป และมีพื้นที่รวมกันทุกชั้นเกิน 1,000 ตร.ม.

1.11 น้ำที่ใช้ผสมในงานคอนกรีต

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการผสมคอนกรีต โดยน้ำจะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ทำให้เกิดการก่อตัวของคอนกรีต ทำให้มีความชื้นเหลวในการเทคอนกรีตลงแบบหล่อได้ นอกจากนี้ น้ำยังใช้ในการบ่มคอนกรีต หรือใช้ล้างวัสดุมวลรวมที่สกปรกให้สะอาดเสียก่อน ก่อนที่จะนำมาใช้ผสมในงานคอนกรีต เพราะฉะนั้นคุณสมบัติของน้ำจึงต้องเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากสิ่งเจือปน เช่น น้ำมัน ดินโคลน ตะไคร่น้ำ กรด-ด่าง น้ำที่ไม่สะอาดอาจทำให้คอนกรีตไม่แข็งตัว เกิดการแตกร้าวได้ในภายหลัง หรือเหล็กเสริมเกิดเป็นสนิมได้ โดยทั่วไปน้ำที่คนเราใช้ดื่ม เช่น น้ำประปา ถือว่าเป็นน้ำที่สะอาดเพียงพอสำหรับการใช้ผสมในงานคอนกรีตได้

การใช้ปริมาณน้ำผสมที่มากเกินไป จะส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตให้ลดต่ำลง เพราะฉะนั้นการเลือกใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจึงกำหนดเป็นสัดส่วนกับปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก เรียกว่า อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (*Water-Cement Ratio; W/C*) สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป หากไม่มี การออกแบบส่วนผสมที่ชัดเจน ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่า 300 กก./ลบ.ม. ของคอนกรีต

ตารางที่ 1.10 อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่กำลังอัดประลัยต่างๆ โดยประมาณ (มาตรฐาน วสท. 011007-19)

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (fc') ของแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก ที่อายุ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนัก (W/C)	
	คอนกรีตไม่กักฟองอากาศ	คอนกรีตกักฟองอากาศ
150	0.73	0.60
180	0.67	0.54
210	0.58	0.46
240	0.51	0.40
280	0.04	0.35
320	0.38	—

หมายเหตุ : กำลังอัดที่ 28 วัน สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หรือกำลังอัดที่ 7 วัน สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3

คอนกรีตโครงสร้างใดๆ ที่เพิ่งเทเสร็จใหม่ๆ ต้องป้องกันไม่ให้เกิดการลั่นสะเทือนหรือกระทบกระทั่งต่อโครงสร้างนั้นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงแรก เพื่อให้คอนกรีตก่อตัวยึดกันได้อย่างสมบูรณ์

หลังจาก 24 ชั่วโมงแรกแล้ว ก็ให้ทำการบ่มคอนกรีตให้มีความชื้นอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 7 วัน ถ้าบ่มด้วยน้ำสะอาดทั่วไปต้องฉีดน้ำให้คงความชื้นไว้วันละ 3 เวลา หรือใช้วัสดุแผ่นพลาสติกบางห่อหุ้มให้ทั่วโครงสร้างนั้น เพื่อป้องกันความชื้นจากภายในคายตัวออกมา หรือใช้วัสดุเคมีพ่นหรือทาเคลือบลงไปบนผิวของโครงสร้าง ก็จะเป็นเหมือนฟิล์มบางๆ ห่อหุ้มโครงสร้างไว้ และป้องกันความชื้นจากภายในคายตัวออกมาได้ และฟิล์มที่เคลือบไว้ก็จะค่อยๆ สลายไปเองภายใน 7 วัน

ความชื้นจากการบ่มอย่างต่อเนื่อง เป็นปัจจัยที่ช่วยกระตุ้นให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังอัดของตัวเองไปเรื่อยๆ จนถึงอายุที่ 28 วัน ก็จะได้กำลังอัดที่ค่อนข้างสมบูรณ์ 100% ดังในตารางที่ 1.11

ตารางที่ 1.11 ร้อยละของการพัฒนาการกำลังอัดของคอนกรีตโดยประมาณ

อายุวันที่ได้รับการบ่มอย่างต่อเนื่อง (วัน)	ร้อยละของกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น (%)
1	16
3	40
7	65
14	90
28	99

1.12 สารเคมีผสมเพิ่มในงานคอนกรีต

สารเคมีผสมเพิ่มในงานคอนกรีต ใช้เติมลงไปเพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปตามที่ต้องการ เช่น ช่วยชะลอการแข็งตัวของคอนกรีต เร่งการก่อตัวของคอนกรีต ลดการซึมผ่านของน้ำ ลดความร้อนในคอนกรีต หรือเพื่อให้การไหลลื่นของคอนกรีตได้ดีขึ้นในที่แคบ เป็นต้น แต่ต้องระลึกไว้ว่า ถ้าสัดส่วนผสมของคอนกรีตไม่ดี สารเคมีผสมเพิ่มที่เติมลงไปก็ไม่สามารถช่วยเหลือหรือทดแทนได้

1.13 การเทและระยะเวลาในการถอดแบบหล่อ

คอนกรีตเมื่อเทลงในแบบหล่อแล้ว คอนกรีตก็จะเริ่มก่อตัวภายใน 24 ชั่วโมงแรกนี้ จึงต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดการกระทบกระเทือนใดๆ กับโครงสร้างส่วนนั้นโดยเด็ดขาด

การเทคอนกรีตนั้นถ้าไม่สามารถเทให้เสร็จได้ในคราวเดียว ก็ให้หยุดตามที่กำหนด ดังนี้

- สำหรับเสา ให้เทถึงระดับ 2.50 ซม. ต่ำจากท้องคานหัวเสา
- สำหรับคาน ให้เทถึงกลางคาน และหยุดในแนวตั้งฉากเท่านั้น
- สำหรับพื้น ให้เทถึงกลางแผ่น และหยุดในแนวตั้งฉากเท่านั้น

เมื่อจะเทคอนกรีตใหม่ต่อจากที่เคยหยุดไว้ ให้สกัดผิวหน้าคอนกรีตเก่าและแปรงด้วยแปรงลวดล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นใช้น้ำปูนซีเมนต์ผสมทรายราดให้ทั่วรอยต่อ หรือราดด้วยน้ำยาประสานคอนกรีต ก่อนที่จะเทคอนกรีตใหม่ต่อไป

สำหรับการถอดแบบหล่อ จะถอดออกไม่ได้จนกว่าจะครบกำหนดเวลาหลังจากการเทคอนกรีตแล้ว ดังนี้

ตารางที่ 1.12 ระยะเวลาการถอดแบบหล่อ

ส่วนโครงสร้าง	กำหนดวันอย่างน้อย
• แบบข้างกำแพง ข้างเสา ข้างคาน	2
• แบบล่างรองรับท้องพื้น	7
• แบบท้องพื้นเมื่อถอดแล้วให้ค้ำยันกลางพื้นต่ออีก	21
• แบบล่างรองรับท้องคาน	14
• แบบท้องคานเมื่อถอดแล้วให้ค้ำยันกลางคานต่ออีก	14

1.14 ทฤษฎีและน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design) หรือทฤษฎีอีลาสติก (Elastic Design) เป็นการออกแบบโดยใช้หน่วยแรงหรือความเค้นที่เกิดขึ้น และใช้หน่วยแรงยืดหดตัวหรือความเครียดในช่วงที่ความเค้นกับความเครียดเป็นปฏิภาคกัน (Proportional Limit) ซึ่งก็คือ ช่วงที่เอาค่าความเค้นกับความเครียดไปเขียนกราฟแล้วเป็นเส้นตรง (ดังในรูปที่ 1.6) การออกแบบโครงสร้างจะถือว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้น (Working Stress) จะเกินจากหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) ไม่ได้

หน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) คือค่าความต้านทานสูงสุดของวัสดุนั้นๆ หารด้วยส่วนเพื่อความปลอดภัย มาตรฐานของสมาคมคอนกรีตแห่งอเมริกา (American Concrete Institute; ACI) และมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ได้กำหนดค่าหน่วยแรงอัดที่ผิวของคอนกรีตที่ยอมให้ $= 0.45 f_c'$ และหน่วยแรงดึงของเหล็กเสริมที่ยอมให้ $= 0.50 f_y$ เป็นต้น

สำหรับในประเทศไทยมีพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หรือข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 เป็นกฎหมายที่ใช้ควบคุมการออกแบบโดยกำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ต่างๆ ไว้ ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในบทต่อไป

2. ทฤษฎีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design) หรือทฤษฎีกำลัง (Strength Design Method) เป็นการออกแบบโดยใช้หน่วยแรงหรือความเค้นที่เกิดขึ้น และใช้หน่วยแรงยืดหดตัวหรือความเครียดในช่วงที่เกินพิกัดความยืดหยุ่น แต่ไม่เกินจุดประลัย (ดังในรูปที่ 1.6) ซึ่งก็คือ ช่วงที่กราฟเริ่มไม่เป็นเส้นตรงจนถึงช่วงกราฟโค้งสูงสุด การออกแบบโครงสร้างจะคำนวณหาขนาดของโครงสร้างในสภาวะก่อนที่โครงสร้างจะเกินจุดประลัย ซึ่งน้ำหนักบรรทุกต่างๆ ที่ใช้ออกแบบต้องนำไปคูณกับตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก ส่วนกำลังต้านทานต่างๆ จะนำไปคูณกับตัวคูณลดกำลัง

รายละเอียดการคำนวณนักศึกษาจะได้เรียนรู้ในขั้นสูงต่อไป สำหรับในหนังสือเล่มนี้จะกล่าวถึงเฉพาะทฤษฎีหน่วยแรงใช้งานหรือทฤษฎีอิลาสติกเท่านั้น

น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ออกแบบ แบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

1. น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load; DL) หมายถึงน้ำหนักบรรทุกที่มีลักษณะคงที่ตายตัว ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นชิ้นส่วนของโครงสร้างอาคารเป็นหลัก เช่น ฐานราก เสา คาน พื้น หลังคา ผนัง และกระเบื้องปูพื้น เป็นต้น

ตารางที่ 1.13 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของวัสดุต่างๆ มีข้อมูลน้ำหนักต่อหน่วยโดยประมาณ

น้ำหนักบรรทุกคงที่	หน่วยน้ำหนัก
คอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา	2,300–2,400 กก./ลบ.ม.
เหล็ก	7,770–7,900 กก./ลบ.ม.
ไม้	600–900 กก./ลบ.ม.
กระจก	2,900–3,000 กก./ลบ.ม.
น้ำ	1,000 กก./ลบ.ม.
ผนังอิฐบล็กรวมฉาบ หนา 10 ซม.	120–150 กก./ตร.ม.
ผนังอิฐมวลรวมฉาบ หนา 10 ซม.	180–200 กก./ตร.ม.
ผนังอิฐบล็กรวมฉาบ หนา 10 ซม.	90–100 กก./ตร.ม.
ผนังเบา เช่น ฝ้าไม้ ไม้อัด ยิปซัม รวมโครงเคร่า	30–50 กก./ตร.ม.
หลังคากระเบื้องลอนคู่ ลอนเล็ก รวมแป	20–30 กก./ตร.ม.
หลังคากระเบื้องโมเนีย ดินเผาเคลือบ รวมระแนง	50–70 กก./ตร.ม.
โครงสร้างหลังคา	30–50 กก./ตร.ม.
ฝ้าเพดาน รวมโครงเคร่า	20–40 กก./ตร.ม.
พื้นไม้รวมตง	50–80 กก./ตร.ม.
พื้นแผ่นสำเร็จรวมคอนกรีตทับหน้า หนา 10 ซม.	240–260 กก./ตร.ม.
ผิวพื้นกระเบื้องรวมปูนทราย หนา 5 ซม.	120–150 กก./ตร.ม.

หมายเหตุ : น้ำหนักบรรทุกคงที่ สามารถปรับเพิ่ม-ลด ได้ตามข้อมูลที่ปรากฏ
หรือจากข้อมูลการทดสอบจริงที่เชื่อถือได้

2. น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load; LL) หมายถึงน้ำหนักบรรทุกที่เป็นลักษณะมีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงขนาดน้ำหนักได้ตลอดเวลา หรือบรรทุกอยู่ชั่วคราว เช่น น้ำหนักบรรทุกของผู้คนที่เข้าไปใช้ในอาคารนั้นๆ ตู้เก็บเอกสาร อุปกรณ์สำนักงาน รถยนต์ และแรงลม เป็นต้น

ตามข้อกำหนดของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 หรือกฎกระทรวงควบคุมอาคาร ฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 เป็นกฎหมายที่ใช้ควบคุมการออกแบบโดยกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกจรขั้นต่ำไว้ดังนี้

ตารางที่ 1.14 น้ำหนักบรรทุกจรชั้นต่ำ

ประเภทการใช้อาคาร	น้ำหนักบรรทุกจรชั้นต่ำ (กก./ตร.ม.)
1. หลังคา	30
2. พื้นกันสาดหรือพื้นหลังคาคอนกรีต	100
3. ที่พักอาศัย, โรงเรียนอนุบาล, ห้องน้ำ-ส้วม	150
4. ห้องแถว, ตึกแถว, อาคารชุด, หอพัก, โรงแรม	200
5. สำนักงาน, ธนาคาร	250
6. อาคารพาณิชย์, มหาวิทยาลัย, วิทยาลัย และโรงเรียน	300
7. ห้องโถง บันได และช่องทางเดิน ของอาคารชุด, หอพัก, โรงแรม โรงพยาบาล สำนักงาน และธนาคาร	300
8. ตลาด ห้างสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุม ห้องอ่านหนังสือในหอสมุด และที่จอดรถ/เก็บรถยนต์นั่ง	400
9. ห้องโถง บันได และช่องทางเดิน ของอาคารพาณิชย์, มหาวิทยาลัย, วิทยาลัย และโรงเรียน	400
10. คลังสินค้า, โรงกีฬา, ฟิสิทเธียทรี, อัฒจันทร์, โรงพิมพ์ โรงงานอุตสาหกรรม, ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
11. ห้องโถง บันได ช่องทางเดิน ของตลาด, ห้างสรรพสินค้า, หอประชุม, โรงมหรสพ, ภัตตาคาร และหอสมุด	500
12. ห้องเก็บหนังสือของหอสมุด	600
13. ที่จอดรถหรือเก็บรถยนต์บรรทุกเปล่าและรถอื่นๆ	800
14. แรงลมที่กระทำต่ออาคาร (กรณีไม่มีเอกสารอ้างอิงที่เชื่อถือได้)	
• ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 ม.	50
• ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 ม. แต่ไม่เกิน 20 ม.	80
• ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 20 ม. แต่ไม่เกิน 40 ม.	120
• ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 40 ม.	160

หมายเหตุ : น้ำหนักบรรทุกจร ห้ามใช้ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ตามกฎหมาย แต่สามารถปรับเพิ่มขึ้นได้ ถ้าพบว่าอาคารนั้นมี
โอกาสใช้น้ำหนักบรรทุกจรที่มากกว่า หรือมีการเพิ่มน้ำหนักส่วนเกินจากวัสดุต่างๆ หรืออุปกรณ์งานระบบต่างๆ
ที่นำมาประกอบเพิ่มในอาคาร



SE-ED

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เล่มนี้ เขียนขึ้นโดยยึดถือแนวทางตามข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท. 011007-19) พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้อง โดยใช้ทฤษฎีวิลาสติก หรือ ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress) เป็นแนวทางการคำนวณ หนังสือเล่มนี้เหมาะสำหรับ นักศึกษาระดับ ปวส. สาขาวิชาช่างก่อสร้าง ช่างสำรวจ ช่างโยธา ช่างเทคนิคสถาปัตย์ และเป็น พื้นฐานสำหรับศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธาต่อไป โดยรายละเอียดของเนื้อหาวิชา ได้เขียนเรียงลำดับตามขั้นตอนของการคำนวณออกแบบอาคารอย่างง่าย และตัวอย่างการคำนวณ อาคารจริงประกอบท้ายเล่ม เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องและนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป นอกจากนี้รายละเอียดของเนื้อหาวิชายังครอบคลุมตามหลักสูตรในระดับ ปวส. ของสำนักงาน คณะกรรมการการอาชีวศึกษาอย่างครบถ้วน

SE-ED

ประวัติผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ กวี หวังนิเวศน์กุล



การศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับครุศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล (วิทยาเขตเทวศรี) เมื่อปี พ.ศ. 2525
- สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) จากมหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ เมื่อปี พ.ศ. 2556
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต (วิศวกรรมสุขาภิบาล) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2528
- สำเร็จการศึกษาระดับบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต (การจัดการงานบุคคล) จากมหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ เมื่อปี พ.ศ. 2535

คุณวุฒิวิชาชีพ

- ภาควิศวกรสิ่งแวดล้อมของสภาวิศวกร
- สาขามัธยมศึกษาของสภาวิศวกร
- วุฒิสมาชิกของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
- ผู้ตรวจสอบอาคาร ใบอนุญาตจากกรมโยธาธิการและผังเมือง

การทำงาน

- ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์

ผลงานทางวิชาชีพ

- ผ่านการออกแบบ คำนวณ ควบคุม และบริหารโครงการก่อสร้างมาไม่น้อยกว่า 20 ปี เช่น โรงงานกำจัดขยะและเตาเผาที่อ่อนนุช, โรงงานผลิตเหล็กสกริปที่พระประแดง, โรงแรมและศูนย์สุขภาพชีวภาพที่หัวหิน, ห้างสรรพสินค้าตะวันนาพลาซ่าที่บางกะปิ, ศูนย์บริการนิสสันที่นครปฐม, โรงงานในนิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด, หมู่บ้านและคอนโดมิเนียมจามจุรีที่บางบัวทอง, อาคารซ่อมอากาศยานสนามบินดอนเมือง เป็นต้น

ผลงานทางวิชาการ

- เขียนหนังสือ **วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง**, **การประมาณราคางานวิศวกรรมก่อสร้าง**, **การวางแผนงานก่อสร้าง**, **การบริหารงานวิศวกรรมก่อสร้าง**, **การออกแบบผิวทาง**, **การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก**, **การออกแบบโครงสร้างอาคารเหล็ก**, **วัสดุวิศวกรรม**, **ความปลอดภัยในงานก่อสร้าง** และ **วัสดุช่าง**

ISBN 978-616-08-3507-2



250 บาท

คู่มือเรียน-สอน/อาชีวศึกษา-
สาขาวิชาโยธา, ช่างก่อสร้าง, ช่างสำรวจ
และเทคนิคสถาปัตยกรรม



www.se-ed.com



sbc.fans