

จัดทำโดย
บริษัท ทาตาสตีล (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)



คู่มือ งานเหล็กเสริมคอนกรีต Steel Reinforcing Bar Handbook

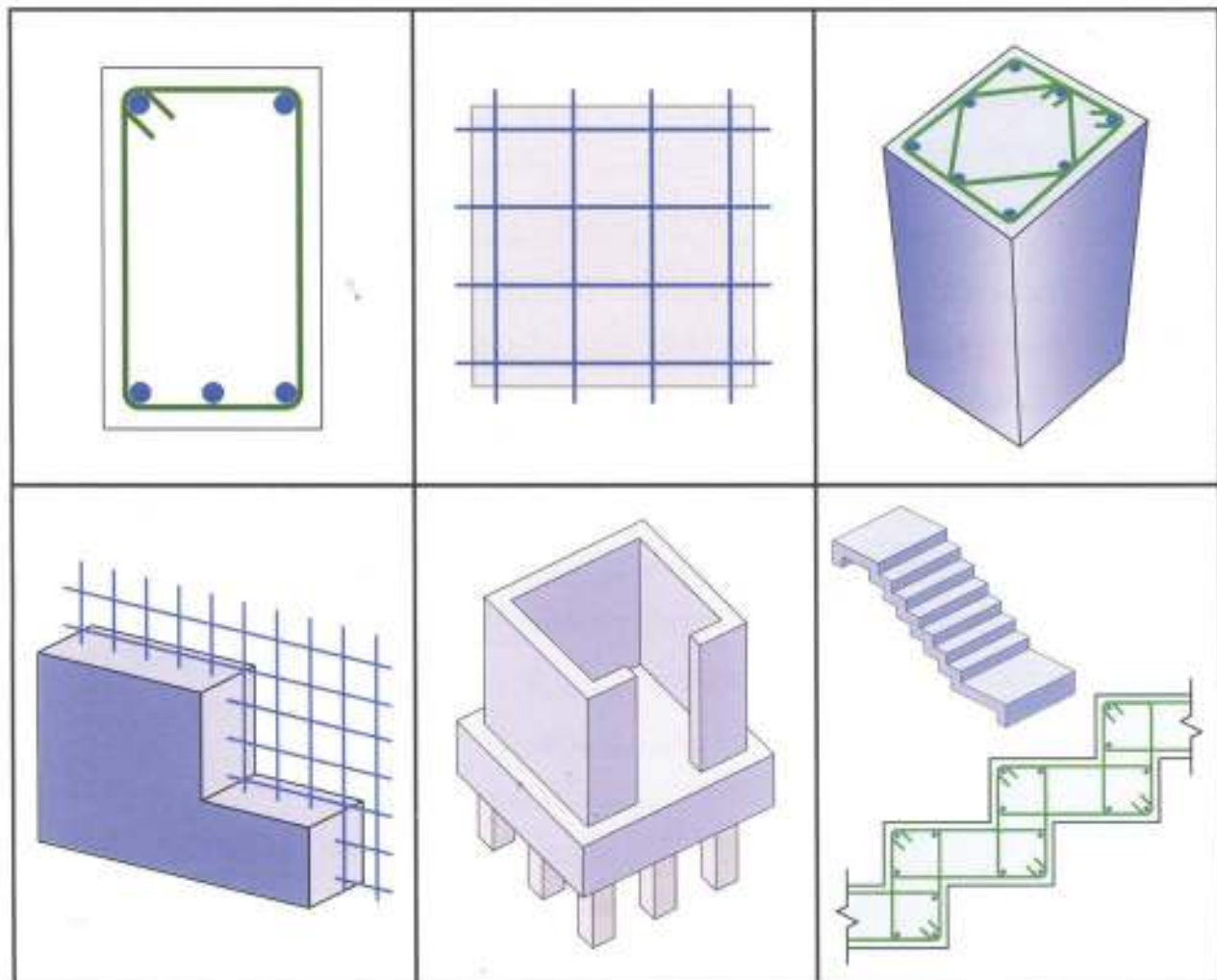
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวชิรเดช
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



คู่มือ

งานเหล็กเสริมคอนกรีต

Steel Reinforcing Bar Handbook



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จีรวัชรเดช

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำนำ

แบบรายละเอียดโครงสร้างนับเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการออกแบบและก่อสร้าง โดยในการเขียนแบบโครงสร้างนั้นนอกจากจะต้องใช้ขนาดและจำนวนหน้าตัดตามผลที่ได้คำนวณออกแบบ ยังต้องคำนึงถึงพฤติกรรมของโครงสร้างเพื่อให้เป็นไปตามที่ตั้งสมมุติฐานไว้ในการออกแบบอีกด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้เขียนแบบโครงสร้างและผู้อ่านแบบเพื่อนำไปทำการก่อสร้างต้องมีความเข้าใจในหลักการเหล่านี้เป็นอย่างดี

สำหรับหนังสือการเขียนแบบรายละเอียดคอนกรีตเสริมเหล็กเล่มนี้ ในแต่ละบทจะกล่าวถึงองค์อาคารแต่ละรูปแบบโดยจะกล่าวถึงพฤติกรรมขององค์อาคารในการรับแรงและหลักในการออกแบบโครงสร้าง เพื่อให้เข้าใจที่มาของแบบรายละเอียดในแต่ละส่วน เนื้อหาต่างในหนังสือเล่มนี้ผู้เขียนได้รวบรวมมาจากหนังสือตำรามาตรฐานหลายเล่มทั้งในและต่างประเทศ และแบบก่อสร้างต่างๆที่ได้รับจากเพื่อนๆในกลุ่มเฟซบุ๊ก ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในการนำเนื้อหาต่างจัดทำเรียบเรียง โดยได้พยายามเนื้อหา มีความสอดคล้องกันเท่าที่จะทำได้ ตัวผู้เขียนเองได้รับความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมากจากการแต่งหนังสือเล่มนี้และหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้อ่านไม่มากนักน้อย หากมีข้อผิดพลาดหรือขาดตกบกพร่องต้องการแนะนำประการใดผู้เขียนยินดีรับฟังเพื่อการปรับปรุงต่อไปในอนาคต

ผศ.ดร.มงคล จีรวัชรเดช

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

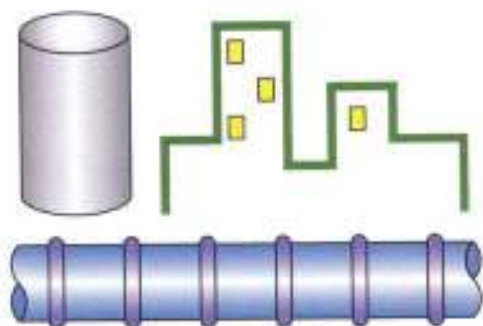
12 ตุลาคม 2560

สารบัญ

1	คอนกรีตและเหล็กเสริม	1
	คอนกรีต	1
	กำลังอัดคอนกรีต	2
	เหล็กเสริมคอนกรีต	3
	ระยะหุ้มคอนกรีตและระยะห่างเหล็กเสริม	6
	ตะแกรงลวดเหล็ก (Wire Mesh)	8
	ของมาตรฐาน (Standard Hook)	10
	รายการตัดเหล็กเสริม (Bar-Cut List)	13
2	คานคอนกรีตเสริมเหล็ก	21
	การเสริมเหล็กรับการดัด	21
	คานต่อเนื่องและปลายยื่น	23
	เหล็กเสริมรับแรงเฉือน	26
	ความลึกน้อยที่สุดของคาน	29
	ระยะห่างเหล็กเสริม	29
	ความกว้างน้อยที่สุดของคาน	30
	การจัดวางเหล็กเสริมจำนวนมาก	31
	คานรับโมเมนต์บิด	31
	แบบรายละเอียดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	32
	แบบรายละเอียดคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบตาราง	32
	แบบรายละเอียดจุดตัดคานหลัก-คานรอง	33
	การต่อเหล็กเสริม	35
	คานยื่น	39
	การเสริมเหล็กต่างระดับ	40
	คานรองรับเสา	43
	การเสริมเหล็กคานเขาวง	43
	คานลึก	44
	ช่องเปิดในคาน	47

3	พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	51
	พื้นทางเดียว (One-way Slab)	51
	พื้นสองทาง (Two-way Slab)	54
	พื้นสำเร็จรูป (Precasted Slab)	56
	ช่องเปิดในพื้น (Slab Openings)	59
	การเสริมเหล็กที่มุมพื้น	61
	พื้นบนดิน	63
	พื้นไร้คาน (Flat Slab & Flat Plate)	72
	เหล็กเสริมน้อยที่สุดในพื้นสองทาง	82
4	เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	85
	ชนิดของหน้าตัดเสา	85
	เสาปลอกเดี่ยว	90
	เสาปลอกเกลียว	91
	แบบรายละเอียดหน้าตัดเสา	93
	แบบจุดต่อแสดงการเปลี่ยนหน้าตัดเสา	94
	เหล็กเสริมหัวเสาในพื้นที่ไร้คาน	97
	จุดต่อคาน-เสา	99
	จุดต่อมุมและจุดต่อ T	103
	แป้นหูช้าง (Bracket and Corbel)	105
5	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	109
	ชนิดของผนัง	110
	ผนังแบกทาน	110
	ผนังเอียง	112
	ระบบต้านแรงด้านข้างสำหรับอาคาร	113
	รูปแบบการจัดวางผนัง	114
	ผนังกันดิน (Retaining Walls)	118
	จุดตัดผนังและมุม (Wall Intersections and Corners)	122
	ช่องเปิดในผนัง	125
	รอยต่อผนังที่มีความหนาต่างกัน	126

6	ฐานราก	129
	ฐานรากแผ่	129
	ฐานรากเสาเข็ม	133
	ฐานรากคานเชื่อม (Strap Footing)	143
	ฐานรากแพ (Mat Footing)	145
7	บันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก	151
	องค์ประกอบของบันได	152
	แบบบันไดในแปลนสถาปัตยกรรม	154
	การคำนวณชั้นบันได	155
	การเสริมเหล็กบันได	156
	เหล็กเสริมเริ่มต้น (Starter Bars)	160
	บันไดพาดทางช่วงกว้างระหว่างคานแม่บันได	161
	บันไดยื่นจากคานแม่บันไดตัวเดียว	163
	คานแม่บันได	167
	บันไดพับพาดทางช่วงยาว	168
	บันไดแบบขานพักลอย	169
	แบบรายละเอียดคอนกรีตเสริมเหล็ก	173
	เอกสารอ้างอิง	199



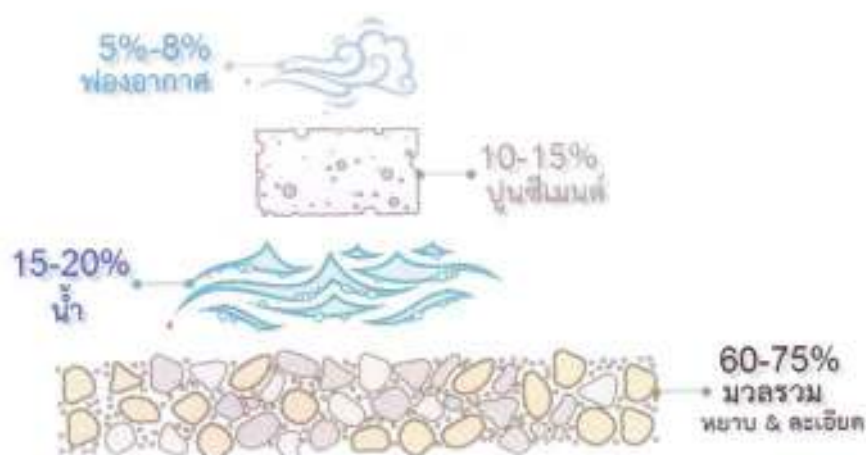
1

คอนกรีตและเหล็กเสริม

ในบทแรกนี้จะกล่าวถึงวัสดุที่นำมาใช้ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั่นคือ คอนกรีต และเหล็กเสริม โดยจะยึดตามที่ใช้ในประเทศไทยคือตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ได้แก่ มอก. 213-2552 สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จ, มอก. 20-2559 สำหรับเหล็กเส้นกลม และ มอก. 24-2559 สำหรับเหล็กเสริมข้ออ้อย

คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่การใช้งานมาอย่างยาวนาน โดยมีส่วนผสมประกอบด้วยปูนซีเมนต์ซึ่งมีทั้งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปอซโซลานซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วแข็งตัวเป็นคอนกรีต วัสดุมวลรวมซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้แก่ หินย่อย กรวด ทราย และสารผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต

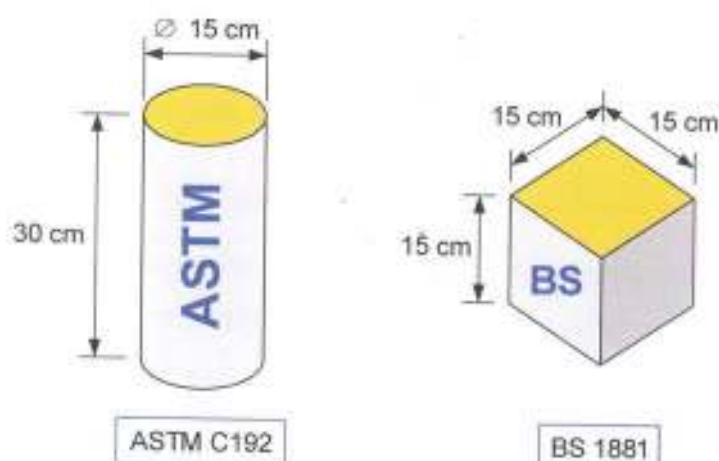


รูปที่ 1.1 ส่วนผสมของคอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างส่วนใหญ่ในประเทศไทยในปัจจุบันจะเป็นคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งผสมมาจากโรงงาน แล้วส่งไปยังสถานที่ก่อสร้างโดยรถผสมคอนกรีต ซึ่งทำให้สามารถควบคุมคุณภาพคอนกรีตได้ดีกว่าการผสมด้วยมือผสมในสถานที่ก่อสร้างซึ่งยังคงมีข้ออยู่บ้างในงานขนาดเล็ก

กำลังอัดคอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีตเป็นข้อมูลสำคัญที่จะต้องระบุไว้ในแบบก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทั่วไปจะระบุไว้ในข้อกำหนดในแบบหน้าแรกซึ่งเป็นค่าที่ผู้ออกแบบใช้ในการคำนวณออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก กำลังอัดคอนกรีตจะใช้สัญลักษณ์ f'_c คือกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ก่อนตัวอย่างทดสอบที่ใช้มีสองแบบคือ แท่งทรงกระบอก (Cylinder) และก้อนสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (Cube)



รูปที่ 1.2 ก่อนตัวอย่างคอนกรีตทดสอบแรงอัดแบบทรงกระบอกและสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

ก้อนสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีขนาดด้านละ 15 ซม. ตามมาตรฐาน BS 1881 มักใช้ในประเทศแถบเอเชีย, รัสเซีย และยุโรป ในขณะที่แท่งทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ยาว 30 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C192 จะใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาและออสเตรเลีย

สำหรับประเทศไทย เนื่องจากวิธีการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กยึดตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาคือ ACI-318 ดังนั้นกำลังอัด f'_c ที่ใช้จึงควรเป็นแบบทรงกระบอกซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าแบบลูกบาศก์ที่บริษัทผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จระบุ ตามมาตรฐานคอนกรีตผสมเสร็จ มอก. 213-2552 ได้กำหนดชั้นคุณภาพของคอนกรีตไว้ดังนี้

ตารางที่ 1.1 ชั้นคุณภาพของคอนกรีต

ชั้นคุณภาพ	กำลังต้านแรงอัดที่อายุ 28 วัน (MPa) ไม่น้อยกว่า	
	แท่งทรงกระบอก Ø ขนาด 150 mm x 300 mm	แท่งทรงลูกบาศก์ ขนาด 150 mm x 150 mm
C17/21	17.0	21.0
C19.5/24	19.5	24.0
C23/28	23.0	28.0
C25/30	25.0	30.0

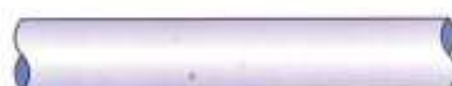
C27/32	27.0	32.0
C30/35	30.0	35.0
C33/38	33.0	38.0

ตารางที่ 1.2 ชั้นคุณภาพของคอนกรีตตามห้องตลาดในหน่วยเมตริก

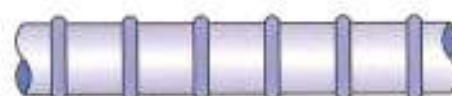
ชั้นคุณภาพ	กำลังต้านแรงอัดที่อายุ 28 วัน (กก./ตรซม., ksc)	
	แท่งทรงกระบอก Ø ขนาด 150 mm x 300 mm	แท่งทรงลูกบาศก์ ขนาด 150 mm x 150 mm
210CU	180	210
240CU	210	240
280CU	240	280
300CU	250	300
320CU	280	320

เหล็กเสริมคอนกรีต

เหล็กเส้น (Rebar) เสริมคอนกรีตในบริเวณที่รับแรงดึงหรือต้านทานการแตกร้าวในคอนกรีต แบ่งออกเป็นสองประเภทคือ เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ (Round Bar, RB) และ เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar, DB)



เหล็กกลมผิวเรียบ
Round Bar (RB)



เหล็กข้ออ้อย
Deformed Bar (DB)

รูปที่ 1.3 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ (Round Bar, RB)

เหล็กเส้นกลมทำขึ้นจากเหล็กแท่งเล็ก (billet) เหล็กแท่งใหญ่ (bloom) หรือเหล็กแท่งหล่อ (ingot) โดยตรงด้วยกรรมวิธีรีดร้อน โดยต้องไม่มีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นมาก่อน เหล็กเส้นกลม ต้องมีผิวเรียบเกลี้ยง ยกเว้นบริเวณที่ทำเครื่องหมาย และต้องไม่ปริ ไม่แตกร้าว ไม่มีสนิมขุม หรือตำหนิอื่นซึ่งมีผลเสียต่อการใช้งาน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 20-2559 กำหนดไว้เพียงชั้นคุณภาพเดียว โดยใช้สัญลักษณ์ SR 24 มีคุณสมบัติเชิงกลในการรับแรงดึงคือ

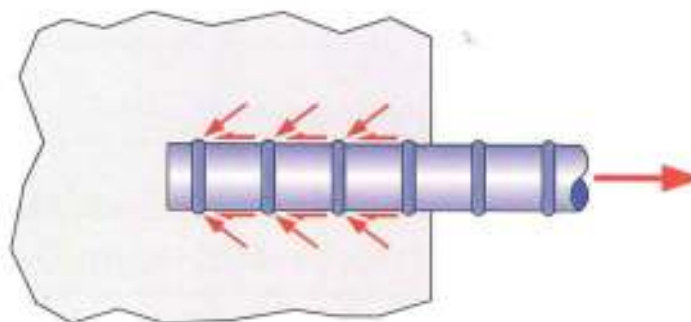
- ความต้านแรงดึง (สูงสุด) F_u ต้องไม่น้อยกว่า 385 MPa (3,900 ksc)
- ความต้านแรงดึงที่จุดคราก F_y ต้องไม่น้อยกว่า 235 MPa (2,400 ksc)
- ความยืด ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 21

ตารางที่ 1.3 ชื่อขนาดระบุ และมวลระบุของเหล็กเส้นกลม

ชื่อขนาด	ขนาดระบุ		มวลระบุ กิโลกรัมต่อเมตร
	เส้นผ่าศูนย์กลาง มิลลิเมตร	พื้นที่ภาคตัดขวาง ตารางมิลลิเมตร	
RB 6	6	28.3	0.222
RB 8	8	50.3	0.395
RB 9	9	63.6	0.499
RB 10	10	78.5	0.616
RB 12	12	113.1	0.888
RB 15	15	176.7	1.387
RB 19	19	283.5	2.226
RB 22	22	380.1	2.984
RB 25	25	490.9	3.853
RB 28	28	615.8	4.834
RB 34	34	907.9	7.127

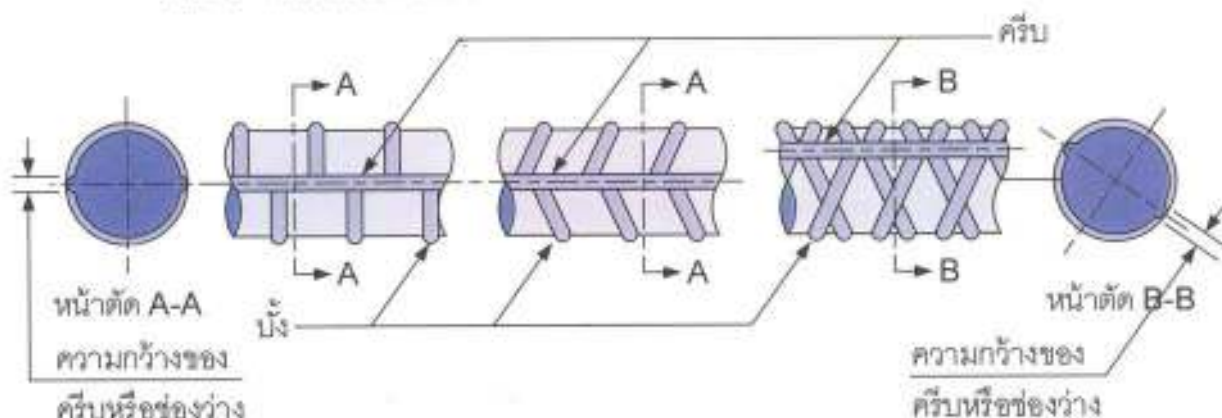
เหล็กเส้นข้ออ้อย (Deformed Bar, DB)

เหล็กข้ออ้อย หมายถึง เหล็กเส้นกลมที่มีบั้ง (transverse rib) และอาจมีครี (longitudinal rib) หรือช่องว่าง (gap) ที่ผิว เพื่อเสริมกำลังยึดระหว่างเหล็กเส้นกับเนื้อคอนกรีต ซึ่งจะมีผลจากการฝังยึดเชิงกลที่เกิดจากแรงในแนวเอียงที่เกิดขึ้นที่บั้งดังในรูปที่ 1.4 มาเสริมกับแรงเสียดทานซึ่งเป็นการฝังยึดเชิงเคมีระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีต



รูปที่ 1.4 กลไกการฝังยึดของเหล็กเส้นข้ออ้อยในคอนกรีต

เหล็กข้ออ้อยต้องมีผิวเรียบเกลี้ยง ยกเว้นบริเวณที่เป็นบั้ง ครีบ และเครื่องหมายที่เป็นตัว
 นูน โดยบั้งของเหล็กข้ออ้อยจะมีระยะห่างเท่าๆกันตั้งในรูปที่ 1.5 บั้งและครีบที่อยู่ตรงข้ามกันจะ
 มีขนาดและรูปร่างเหมือนกัน มุมระหว่างบั้งกับแกนของเหล็กข้ออ้อยต้องไม่น้อยกว่า 45° ในกรณี
 ที่ทำมุมตั้งแต่ 45° ถึง 70° บั้งจะต้องวางกลับทางกันบนแต่ละข้างของเหล็กข้ออ้อย หรือบั้ง
 ทั้งหมดของข้างหนึ่งต้องกลับทางกับบั้งทั้งหมดของอีกข้างหนึ่ง แต่บั้งทำมุมกับแกนเหล็กข้ออ้อย
 เกิน 70° ก็ไม่จำเป็นต้องกลับทางกัน



รูปที่ 1.5 ลักษณะบั้งและครีบในเหล็กเส้นข้ออ้อย

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 24-2559 สำหรับเหล็กเส้นข้ออ้อย กำหนดไว้
 3 ชั้นคุณภาพคือ SD 30, SD 40 และ SD 50

ตารางที่ 1.4 คุณสมบัติเชิงกลในการรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึง MPa (ksc)	ความต้านแรงดึงที่จุดคราก MPa (ksc)	ความยืด %
SD 30	480 (4,900)	295 (3,000)	17
SD 40	560 (5,700)	390 (4,000)	15
SD 50	620 (6,300)	490 (5,000)	13

ตารางที่ 1.5 ชื่อขนาด ขนาดระบุ และมวลระบุของเหล็กเส้นข้ออ้อย

ชื่อขนาด	ขนาดระบุ		มวลระบุ กิโลกรัมต่อเมตร
	เส้นผ่าศูนย์กลาง มิลลิเมตร	พื้นที่ภาคตัดขวาง ตารางมิลลิเมตร	
DB 10	10	78.5	0.616
DB 12	12	113.1	0.888
DB 16	16	201.1	1.578
DB 20	20	314.2	2.466
DB 22	22	380.1	2.984
DB 25	25	490.9	3.853

DB 28	28	615.8	4.834
DB 32	32	804.2	6.313
DB 36	36	1,017.9	7.990
DB 40	40	1,256.6	9.865

ขนาดเหล็กเส้นตามมาตรฐานอเมริกัน (U.S. Imperial sizes) จะแสดงเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นจำนวนเท่าของ 1/8 นิ้ว (ทุน) เช่น #8 = 8/8 = 1 นิ้ว (8 ทุน) และ พื้นที่ = (ขนาดเส้น/9)² เช่น พื้นที่ของเหล็ก #8 = (8/9)² = 0.79 นิ้ว² สูตรนี้ใช้ได้กับเหล็กขนาดไม่เกิน #8 เหล็กเบอร์สูงกว่าจะมีขนาดใหญ่กว่าที่คำนวณตามสูตร 1/8 นิ้ว

ตารางที่ 1.6 ขนาดเหล็กเส้นตามมาตรฐานอเมริกัน

Imperial Bar Size	"Soft" Metric Size	Weight		Diameter		Area	
		(lb/ft)	(kg/m)	(in)	(mm)	(in ²)	(mm ²)
#3	#10	0.376	0.560	3/8	9.5	0.11	71
#4	#13	0.668	0.994	4/8	12.7	0.20	129
#5	#16	1.043	1.552	5/8	15.9	0.31	199
#6	#19	1.502	2.35	6/8	19.1	0.44	284
#7	#22	2.044	3.042	7/8	22.2	0.60	387
#8	#25	2.670	3.973	8/8	25.4	0.79	510
#9	#29	3.400	5.060	1.128	28.7	1.00	645
#10	#32	4.303	6.404	1.270	32.3	1.27	819
#11	#36	5.313	7.907	1.410	35.8	1.56	1006

เหล็กเส้นข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD40T และ SD50T

ตามมาตรฐาน มอก. 24-2559 อนุญาตให้ผลิตเหล็กข้ออ้อยโดยผ่านกรรมวิธีปรับปรุงด้วยความร้อน (Heat Treatment) โดยใช้ตัวอักษร "T" ตามหลังชื่อชั้นคุณภาพ ดังนั้นเหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD40 และ SD50 ที่ผ่านกรรมวิธีความร้อนจะใช้ชื่อเป็น SD40T และ SD50T ซึ่งในปัจจุบันผู้ผลิตส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 90 ใช้กรรมวิธีความร้อนในการผลิต

ในทางโลหะวิทยาเรียกเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีความร้อนว่า เหล็กเทมคอร์ (TempCore) เป็นเทคนิคในการผลิตเพื่อลดการเติมธาตุ C และ Mn โดยยังคงได้เหล็กที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากรรมวิธีแบบเดิม โดยทำการฉีดพ่นละอองน้ำให้ผิวเหล็กเย็นลงอย่างรวดเร็วทำให้ผิวเหล็กมีความแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่แกนกลางของเหล็กเส้นจะเย็นตัวลงอย่างช้าๆจะอ่อนกว่า ทำให้หน้าตัดเหล็กมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอเท่ากันทั้งหน้าตัดดังในรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 หน้าตัดเหล็กเส้นที่ผ่านกรรมวิธีความร้อน

จากการทดสอบพบว่าเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีความร้อนมีคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ ความต้านทานแรงดึง, ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก และความยืด เทียบเท่ากับเหล็กเส้นแบบเดิม ตามมาตรฐาน มอก. 24-2559 ทุกประการ

สำหรับการดัดโค้งนั้น ตามมาตรฐาน วสท.1008-38 กำหนดให้ใช้วิธีดัดเย็น โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางการดัดเป็น 6, 8 และ 10 เท่าของขนาดเหล็กเส้น 6-25 มม., 28-36 มม. และ 44-57 มม. ตามลำดับ เมื่อทดสอบการดัดโค้งตามมาตรฐาน มอก.24-2559 พบว่าสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

สำหรับความทนทานต่อไฟนั้น จากผลงานวิจัยพบว่าเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีความร้อนมีกำลังลดลงเร็วกว่าเหล็กแบบเดิมเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 850°C ความแตกต่างของกำลังยังมีไม่มากอย่างมีนัยสำคัญ

การต่อเหล็กเส้นมีสองวิธีคือการต่อเชื่อมและการต่อเชิงกล สำหรับการต่อเชื่อมนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการแตกร้าวของรอยเชื่อมในเหล็กเส้นที่ผ่านกรรมวิธีความร้อนซึ่งรอยเชื่อมจะเย็นตัวเร็วกว่า จึงควรป้องกันโดยการบ่มความร้อนในช่วงก่อนและหลังการเชื่อม

สำหรับการเชื่อมต่อเชิงกลนั้นให้หลีกเลี่ยงการทำเกลียวโดยการกลึงผิวบางส่วนออก ทำให้เหลือกำลังน้อยตามเหล็กแกนกลางที่กำลังต่ำกว่า ควรใช้ต่อเชิงกลด้วยระบบ ขึ้นรูปเย็นแบบอ่อน (soft cold forging) ซึ่งจะช่วยให้ปลายเหล็กเส้นมีขนาดใหญ่ขึ้นก่อนนำไปทำเกลียวเพื่อชดเชยพื้นที่เหล็กที่สูงสูญเสียไปจากการทำเกลียว

ระยะหุ้มคอนกรีตและระยะห่างเหล็กเสริม

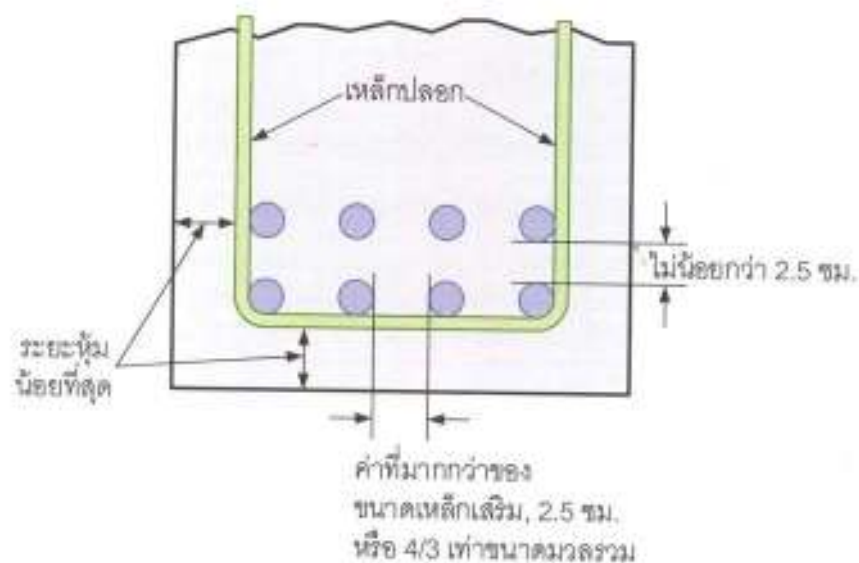
ระยะหุ้มคอนกรีตหรือระยะช่องว่างระหว่างผิวคอนกรีตถึงเหล็กเสริมเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีต, เพื่อป้องกันการกัดกร่อนในเหล็กเสริม, เพื่อป้องกันการเสีกำลังของเหล็กระหว่างเกิดไฟไหม้ และบางครั้งเราเพิ่มระยะหุ้มด้านบนของพื้นคอนกรีตในลานจอดรถและโรงงาน เพื่อชดเชยการสึกหรอจากการเสียดสี ACI กำหนดระยะหุ้มคอนกรีตดังในตารางที่ 1.7

สำหรับระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมนั้น ACI กำหนดให้ระยะช่องว่างน้อยที่สุดระหว่างเหล็กเสริมเท่ากับค่าที่มากกว่าของ เส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม d_b , 2.5 ซม. และ 1.33 เท่าของ

ขนาดมวลรวมโตสุด และระยะช่องว่างระหว่างชั้นไม่น้อยกว่า 2.5 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 1.7 โดยเหล็กนอนในคานทั้งหมดจะต้องถูกห่อหุ้มอยู่ในเหล็กปลอก

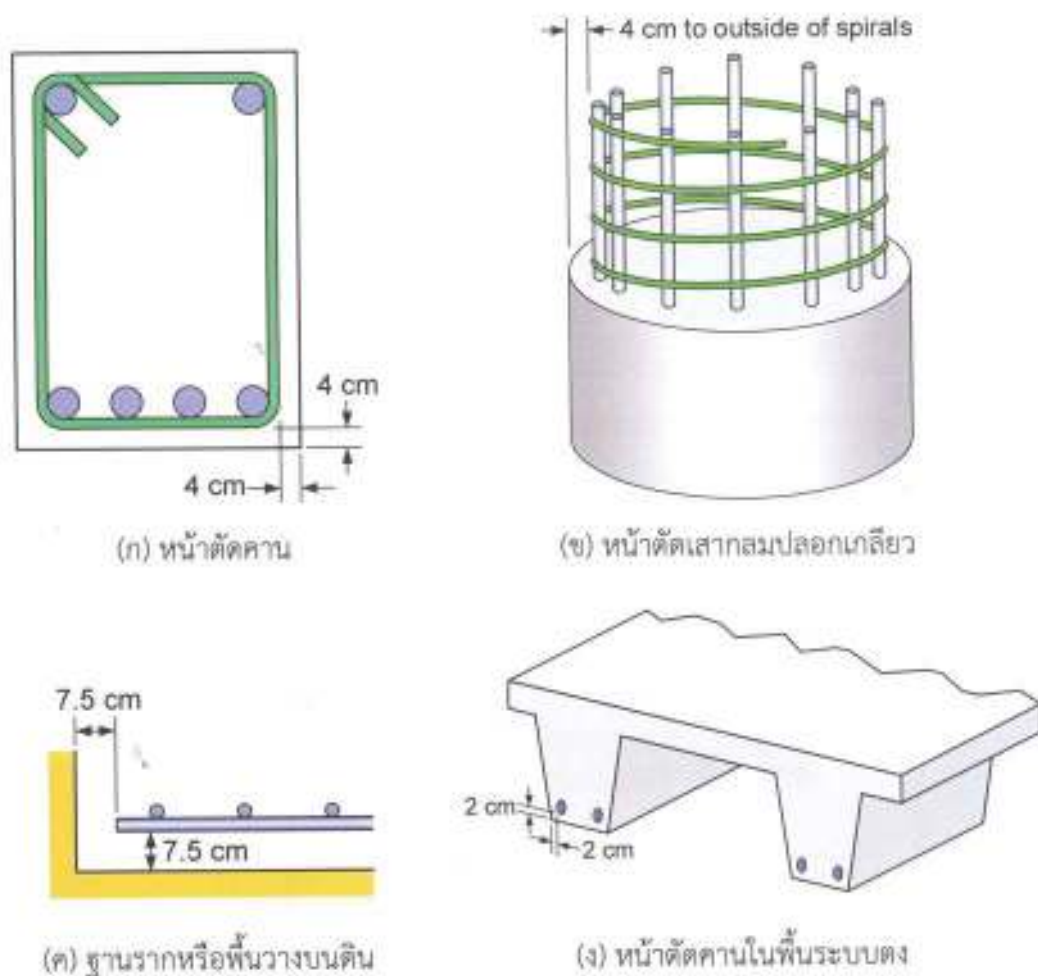
ตารางที่ 1.7 ระยะหุ้มคอนกรีตน้อยที่สุด

	ระยะหุ้มน้อยที่สุด (ซม.)
คอนกรีตหล่ออยู่บนหรือในพื้นดินถาวร	7.5
คอนกรีตหล่อบนพื้นดินหรือสภาพอากาศภายนอก :	
เหล็กเสริม DB20 และใหญ่กว่า	5
เหล็กเสริม DB16 และน้อยกว่า	4
คอนกรีตไม่สัมผัสพื้นดินหรือสภาพอากาศภายนอก :	
พื้น, ผนัง, คานข้อย	2
คาน, เสา	4



รูปที่ 1.7 ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมและระยะหุ้มคอนกรีตน้อยที่สุด

รูปที่ 1.8 แสดงตัวอย่างระยะหุ้มคอนกรีตในส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กรูปแบบต่างๆ ดังนี้ 1.8(ก) คานคอนกรีตไม่สัมผัสพื้นดินหรือสภาพอากาศภายนอก ระยะหุ้มคอนกรีตต้องไม่น้อยกว่า 4 ซม. เช่นเดียวกับในกรณีของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กปลอกเกลียวดังในรูปที่ 1.8(ข) สำหรับคอนกรีตหล่อติดพื้นดินถาวรดังเช่นในกรณีของพื้นวางบนดินและพื้นฐานรากดังในรูปที่ 1.8(ค) จะต้องการระยะหุ้มน้อย 7.5 ซม. และในกรณีของคอนกรีตไม่สัมผัสพื้นดินหรือสภาพอากาศภายนอกสำหรับพื้น, ผนัง และคานข้อยในพื้นระบบตงดังในรูปที่ 1.8(ง) จะใช้ระยะหุ้มไม่น้อยกว่า 2 ซม.



รูปที่ 1.8 ระยะหุ้มคอนกรีตในส่วนโครงสร้างรูปแบบต่างๆ

ตะแกรงลวดเหล็ก

Wire Mesh

ลวดเหล็ก คือ ลวดที่มีภาคตัวขวางเป็นรูปวงกลม ลวดเหล็กชนิดนี้ตามมาตรฐาน มอก. 95-2540 ทำจากเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนสูง (high carbon steel wire) ด้วยกรรมวิธีดึงเย็น (cold drawn) จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทคลายแรง (stress - relieved) กับประเภทไม่คลายแรง (non stress - relieved)

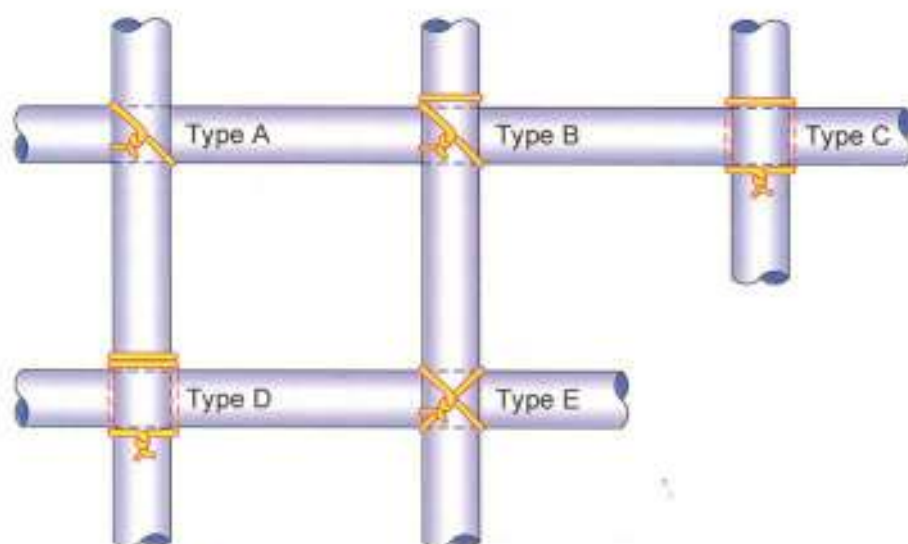
ตารางที่ 1.8 สมบัติการดึงของลวดเหล็กดึงเย็น

ความต้านทานแรงดึงค่าสุด MPa (ก.ก./ชม. ²)	ความเค้นพิสูจน์ค่าสุด MPa (ก.ก./ชม. ²)	การลดทอนพื้นที่ค่าสุด ร้อยละ
550 (5,600)	485 (4,950)	30

- หมายเหตุ : 1. หาค่าความเค้นพิสูจน์ที่ความยืด ร้อยละ 0.5
2. ถ้าความต้านทานแรงดึงของลวดเกิน 690 MPa การลดทอนพื้นที่ที่ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 25

ลวดเหล็กดึงเย็นเสริมคอนกรีต (Cold Drawn Steel Wire) ตามมาตรฐาน มอก. 747-2531 จะหมายถึงลวดเหล็กที่สร้างขึ้นโดยการรีดเย็นเหล็กลวด ซึ่งได้จากการรีดร้อนเหล็กแท่งที่ได้จากเตาหลอมแบบโอเพนฮาร์ท (open-hearth) หรืออิเล็กทริกอาร์คเฟอร์เนซ (electric arc furnace) หรือเบสิกออกซิเจน (basic-oxygen) มีคุณสมบัติในการดึง ตามตารางที่ 1.8

ลวดผูกเหล็ก คือ ลวดเหล็กที่อบด้วยกรรมวิธีอบอ่อน (annealing) ไม่เคลือบสังกะสีมีขนาดเดียว คือเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 มิลลิเมตร แล้วนำมาอบด้วยเตาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิคงที่ ที่ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ทำให้ได้ลวดผูกเหล็กที่มีความนิ่มได้มาตรฐาน เหมาะสำหรับผูกเหล็กคาน หรือเหล็กเสริมคอนกรีต หรือตามจุดเชื่อมต่อต่างๆ ลวดเหล็กชนิดนี้จะมีคุณสมบัติต้านทานต่อแรงดึงไม่น้อยกว่า 26.5 กิโลกรัมต่อ ตร.มิลลิเมตร (260 นิวตัน ต่อตร.มิลลิเมตร) สามารถทนการบิดได้ต่ำสุด 75 รอบ ลวดชนิดนี้นิยมใช้กับงานผูกเหล็กเสริมคอนกรีต เช่น เหล็กเสริมพื้น เหล็กปลอกคาน หรือ ปลอกเสา เป็นต้น



รูปที่ 1.9 รูปแบบการใช้ลวดผูกเหล็กเสริม

รูปที่ 1.9 แสดงรูปแบบการผูกลวดยึดเหล็กเสริมสำหรับงานในลักษณะต่างๆดังนี้

Type A : Snap or Single ใช้ทั่วไปในงานระนาบราบเช่นผูกยึดตะแกรงเหล็กเสริมในพื้นคอนกรีต

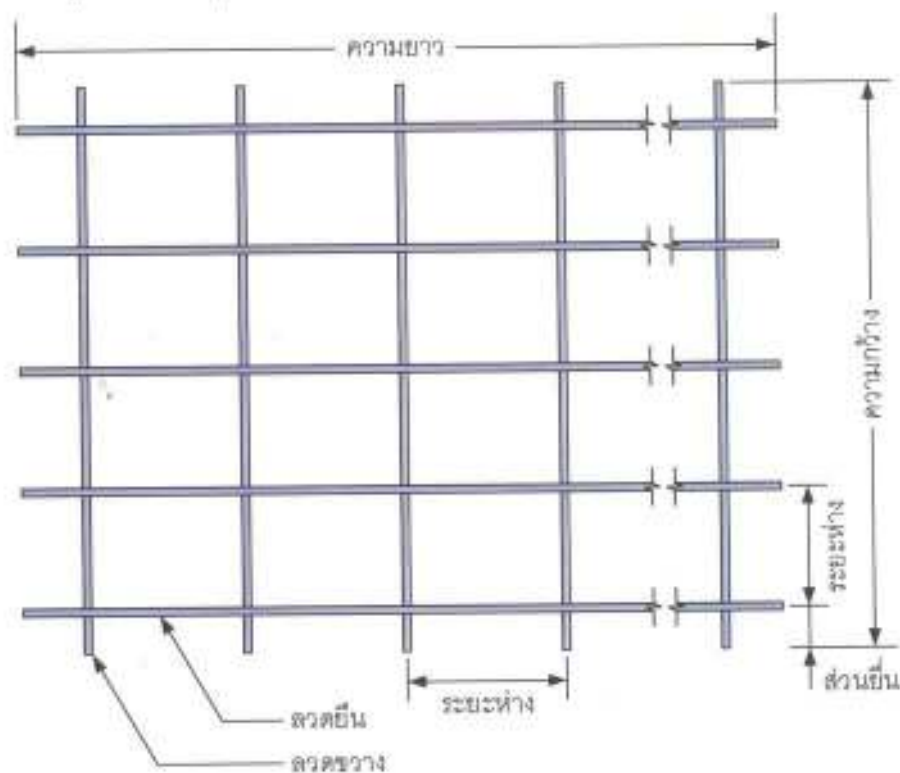
Type B : Wrap and Snap ใช้ทั่วไปในงานระนาบราบเช่นผูกยึดตะแกรงเหล็กเสริมในผนังคอนกรีต

Type C : Saddle Tie ใช้ทั่วไปในงานระนาบราบเช่นผูกยึดตะแกรงเหล็กเสริมในฐานรากคอนกรีตเพื่อยึดปลายงอให้อยู่ในตำแหน่ง และยังใช้เพื่อยึดเหล็กปลอกและเหล็กยื่นในเสาคอนกรีต

Type D : Wrap and Saddle Tie ใช้ในงานฐานรากที่ถูกยกโดยเครน และยังใช้เพื่อยึดเหล็กปลอกและเหล็กยื่นในเสาคอนกรีต

Type E : Figure Eight Tie ใช้บางครั้งในผนังคอนกรีต เป็นอีกทางเลือกของ Type B

การผูกมัดยึดเหล็กเสริมเป็นงานที่ใช้เวลา โดยเฉพาะกับการทำตะแกรงซึ่งมีจุดตัดที่ต้องผูกเหล็กจำนวนมาก ในปัจจุบันจึงมีการทำเป็นตะแกรงสำเร็จรูปโดยใช้การเชื่อมไฟฟ้าสำหรับงานพื้นคอนกรีตและถนนซึ่งได้รับความนิยมมากเพราะทำให้การสะดวกรวดเร็ว ตามมาตรฐาน มอก. 737-2549 ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติดเสริมคอนกรีต (Wire Mesh) หมายถึง ตะแกรงลักษณะเป็นผืนหรือม้วน ทำขึ้นโดยนำลวดเหล็กดัดเย็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 4 ถึง 16 มม. มาเชื่อมแบบความต้านทานไฟฟ้า (Electrical Resistance Welding) ติดกันเป็นตะแกรง โดยที่ตาตะแกรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็ได้ ระยะทาบตะแกรงเป็นดังในรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.10 ตาตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบลวดเดี่ยว



รูปที่ 1.11 ระยะทาบน้อยที่สุดของตะแกรงลวดเหล็ก

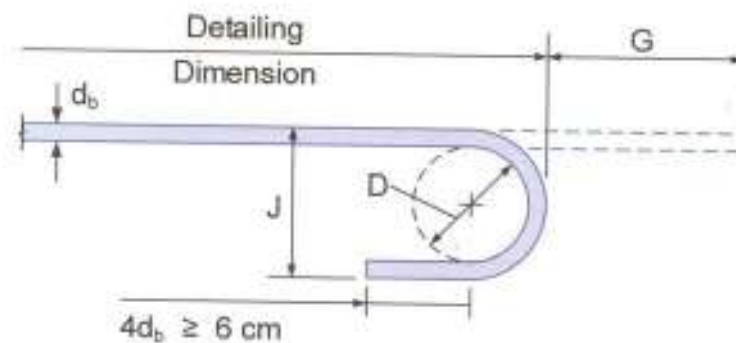
ของมาตรฐาน

Standard Hook

การงอข้อที่ปลายเหล็กเสริมคอนกรีตทำเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กและคอนกรีตเมื่อมีความยาวฝังยึดของเหล็กเสริมตามแนวเส้นตรงไม่เพียงพอ ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง ของ ว.ส.ท. 1008-38 หัวข้อ 3401 กำหนดการงอข้อมาตรฐานดังนี้

งอขอ (180° Hook)

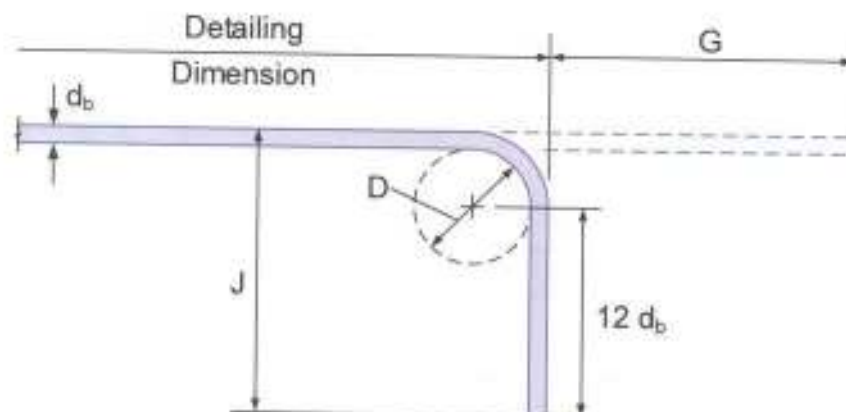
ส่วนที่ตัดเป็นครึ่งวงกลมและมีส่วนปลายยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 4 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้นนั้น แต่ระยะนี้ต้องไม่น้อยกว่า 6 ซม.



รูปที่ 1.12 การงอขอมาตรฐาน 180°

งอฉาก (90° Hook)

ส่วนที่ตัดเป็นมุมฉากและมีส่วนปลายยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 12 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้นนั้น



รูปที่ 1.13 การงอฉากมาตรฐาน 90°

เส้นผ่าศูนย์กลางเล็กที่สุดของการดัด (D)

เส้นผ่าศูนย์กลางของวงโค้งที่ดัดของเหล็กเส้นมัดที่ด้านใน ต้องไม่น้อยกว่าค่าในตารางที่ 1.9 ทั้งนี้ ยกเว้นเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 6 มม. ถึง 16 มม. ให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของวงโค้งที่ดัดไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

ตารางที่ 1.9 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของวงโค้งที่ดัด (ว.ส.ท.)

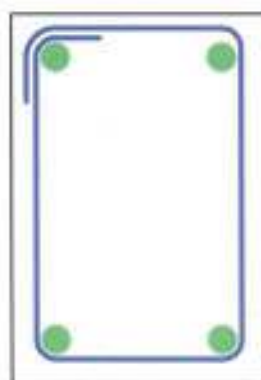
ขนาดของเหล็กเส้น (d_b)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุด (D)
6 มม. ถึง 25 มม.	$6 d_b$
28 มม. ถึง 36 มม.	$8 d_b$
44 มม. ถึง 57 มม.	$10 d_b$

ตารางที่ 1.10 ขนาดในการตัดงอขอแนะนำสำหรับเหล็กเส้นขนาดต่างๆ

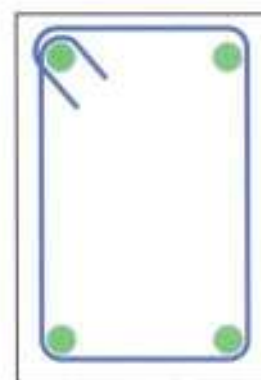
ขนาดของ เหล็กเส้น	D (ซม.)	ของอ 180°		ของอ 90°	
		G (ซม.)	J (ซม.)	G (ซม.)	J (ซม.)
RB9	5.5	11	7.3	12	15
DB10	6.0	12	8.0	12	16
DB12	7.5	13	9.9	16	20
DB16	10.0	16	13.2	21	26
DB20	12.0	19	16.0	26	32
DB25	15.0	24	20.0	32	40
DB28	22.5	33	28.1	38	48
DB32	25.5	37	31.9	43	55

เหล็กดัด และ เหล็กปลอกเดี่ยว

เหล็กปลอกคือการดัดเหล็กเส้นพันรอบเหล็กนอนในคานเพื่อช่วยต้านทานการเฉือนและยึดเหล็กนอนให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องในระหว่างการเทคอนกรีต โดยจะมีการดัดปลายที่มาบรรจบกันเป็นมุมฉาก หรือมุม 135 องศา และปล่อยปลายดังในรูปที่ 1.14



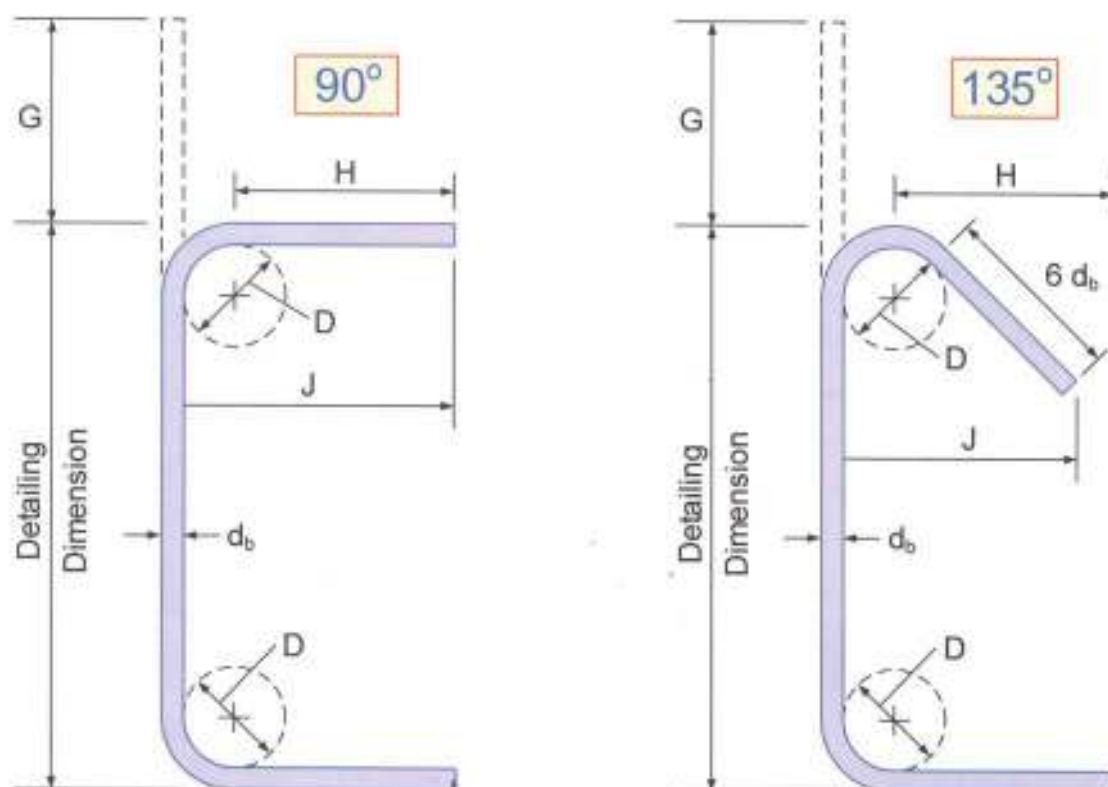
90° Hook



135° Hook

รูปที่ 1.14 การงอขอส่วนปลายอื่นของเหล็กปลอก

- ▶ ส่วนที่ดัดเป็นมุมฉาก สำหรับเหล็ก Ø 6 มม. ถึง 16 มม. ต้องมีส่วนปลายยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
- ▶ ส่วนที่ดัดเป็นมุมฉาก สำหรับเหล็ก Ø 20 มม. ถึง 25 มม. ต้องมีส่วนปลายยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 12 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
- ▶ ส่วนที่ดัดเป็นมุม 135° ต้องมีส่วนปลายยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 6 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง



รูปที่ 1.15 ระยะส่วนปลายยื่นน้อยที่สุดของเหล็กปลอก

ตารางที่ 1.11 ขนาดในการตัดงอขนานสำหรับเหล็กปลอกขนาดต่างๆ

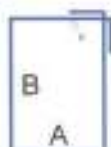
ขนาดของ เหล็กเส้น	D (ซม.)	ของ 90°		ของ 135°	
		G (ซม.)	J (ซม.)	G (ซม.)	J (ซม.)
RB6	2.5	4	6	5	4.5
RB9	3.5	6	8	7	6.5
DB10	4.0	7	9	8	7.5
DB12	5.0	8	11	10	9.0
DB16	6.5	10	15	13	12.0
DB20	12.0	26	32	18	17.0
DB25	15.0	32	40	23	21.0

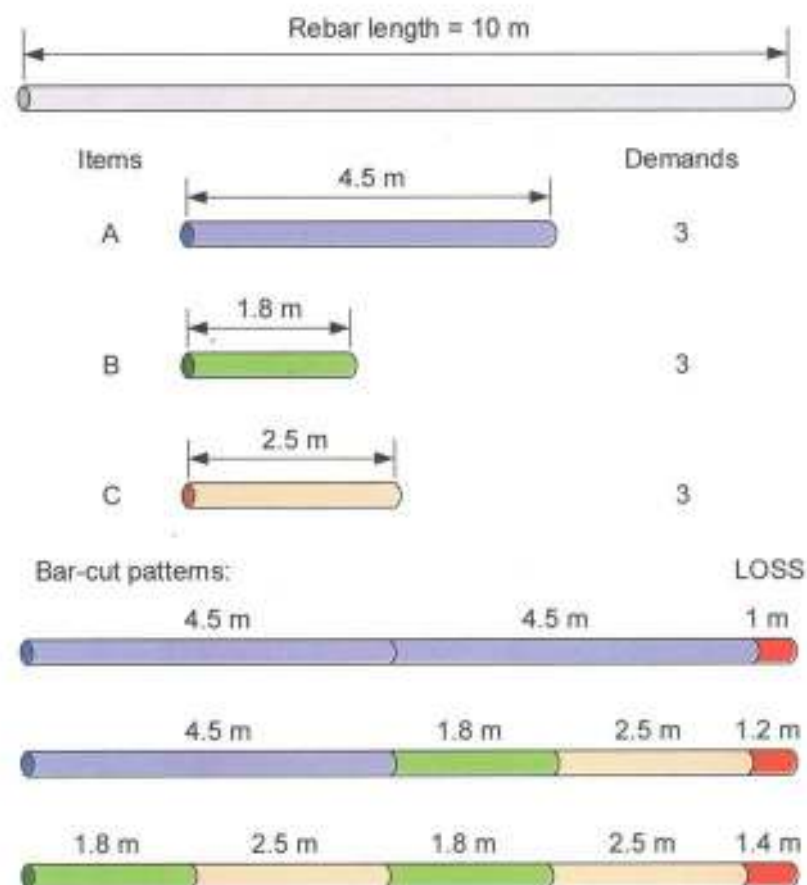
รายการตัดเหล็กเสริม (Bar-Cut List)

Bar-Cut List, Bar cutting list หรือ Bar list คือการวางแผนการตัดขนาดวัสดุ (ในงานก่อสร้างนี้จะหมายถึงเหล็กเส้น) เพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างโดยรายละเอียดส่วนนี้จะประกอบด้วยชนิด ขนาด จำนวน และตำแหน่งที่จะนำไปใช้ แต่ทั้งนี้รายละเอียดต่างๆเช่นระยะการงอปลาย ตำแหน่งและระยะการต่อทาบเหล็ก (ในกรณีที่ความยาวโครงสร้างยาวเกินขนาดความยาวของเหล็กเส้น) ก็เป็นไปตามความถูกต้องของหลักวิศวกรรมด้วย

รายการตัดเหล็กเสริมจะถูกถอดจากแบบรายละเอียดเหล็กเสริมดังแสดงในตารางที่ 1.12 เหล็กเสริมแต่ละเส้นจะถูกคำนวณความยาว โดยใช้สูตรและระบุสัญลักษณ์ดังแสดงในตารางที่ 1.13 เมื่อได้เป็นตารางปริมาณเหล็กเสริมตามขนาด, ความยาว และจำนวนของเหล็กเสริมทั้งหมด ขั้นตอนต่อมาคือการพิจารณาจัดกลุ่มเหล็กเสริมเพื่อให้เหลือเศษน้อยที่สุดดังตัวอย่างในรูปที่ 1.16 โดยอาจใช้ซอฟต์แวร์ช่วยในการจัด

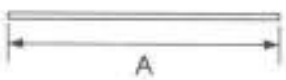
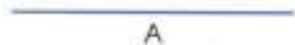
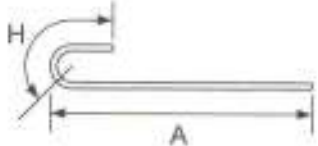
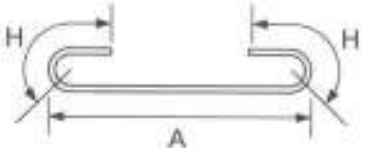
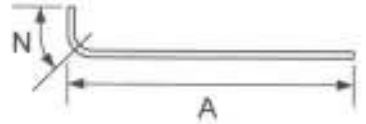
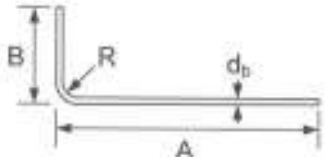
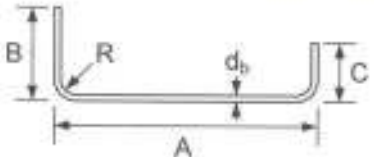
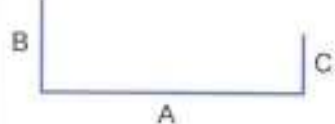
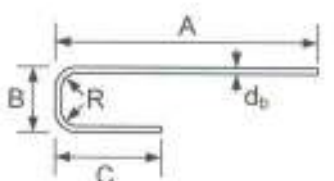
ตารางที่ 1.12 ตัวอย่างตารางรายการตัดเหล็กเสริม

Bar no.	Bar Shape	Dia (mm)	A (m)	B (m)	C (m)	Length (m)	Quantity
1		20	4.30	0.40	0.20	4.90	2
2		16	4.30	0.00	0.00	4.30	2
3		9	0.14	0.24	0.00	0.76	24

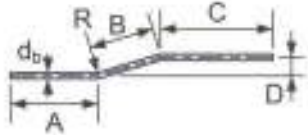
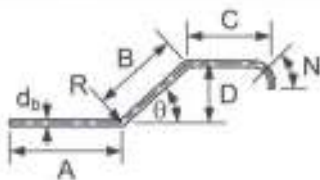
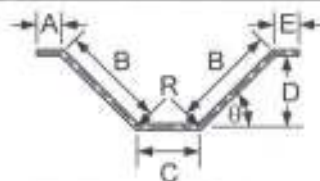
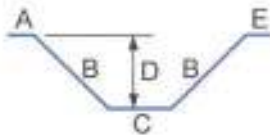
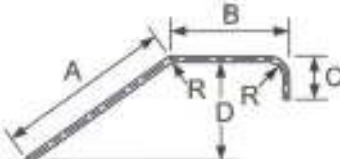
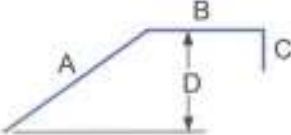
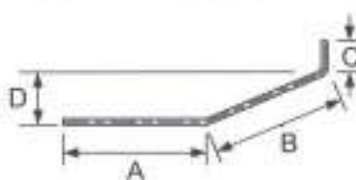
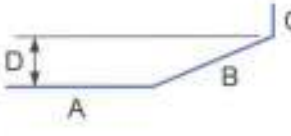
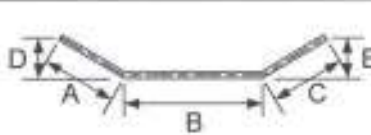
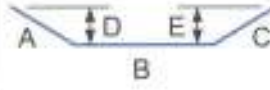
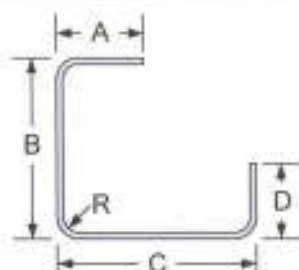
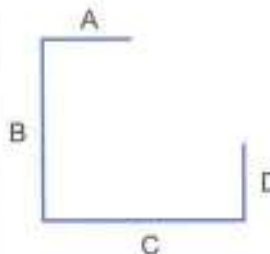
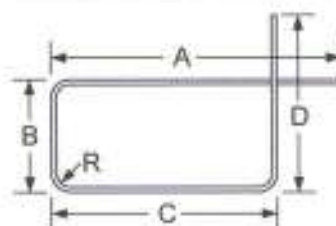
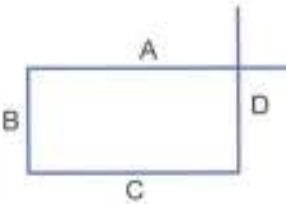


รูปที่ 1.16 ตัวอย่างการจัดเหล็กเสริมสำหรับเหล็กเส้นยาว 10 เมตร

ตารางที่ 1.13 ตารางแสดงการคำนวณความยาวเหล็กเสริม

วิธีการวัดขนาดการติดตั้ง	ความยาวเหล็กเสริม	รูปสัญลักษณ์อ้างอิง
	A	
	$A + H$	
	$A + 2H$	
	$A + N$	
	$A + 2N$	
	$A + B - R/2 - d_b$	
	$A + B + C - R - 2d_b$	
	$A + B + C - R - 2d_b$	

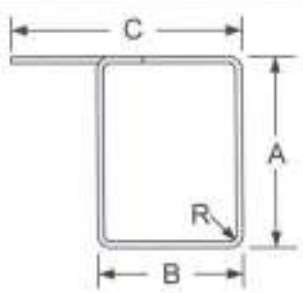
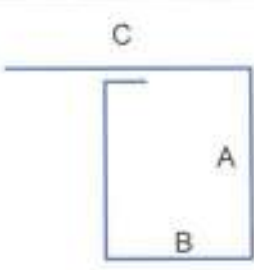
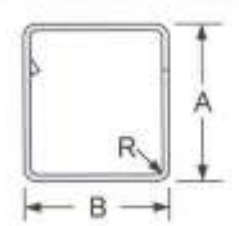
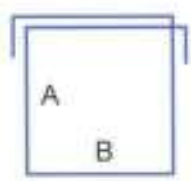
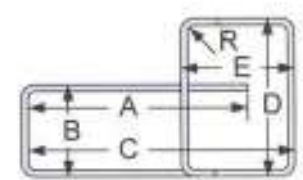
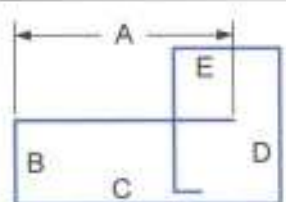
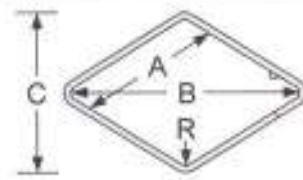
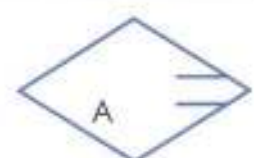
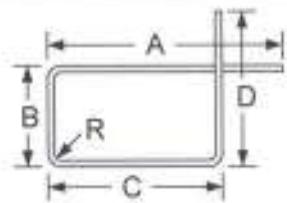
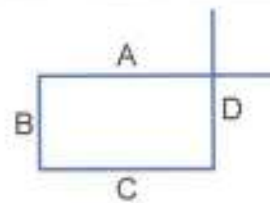
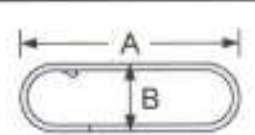
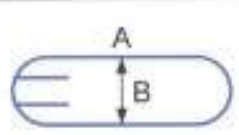
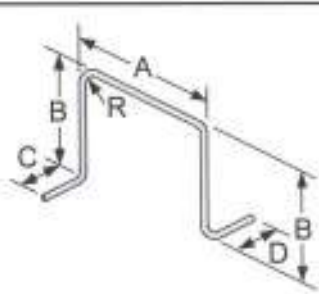
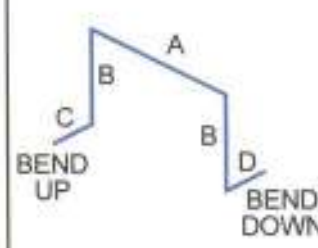
ตารางที่ 1.13 ตารางแสดงการคำนวณความยาวเหล็กเสริม (ต่อ)

วิธีการวัดขนาดการติดตั้ง	ความยาวเหล็กเสริม	รูปสัญลักษณ์อ้างอิง
	WHERE D IS AT LEAST $2d_b$ $A + B + C$ OR $A + B + C - R - 2d_b$ IF THE ANGLE TO THE HORIZONTAL $> 45^\circ$	
	IF $\theta \leq 45^\circ$ $A + B + C + N$ IF $\theta > 45^\circ$ $A + B + C + N - 2R - 4d_b$	
	IF ANGLE WITH HORIZONTAL $\leq 45^\circ$ $A + 2B + C + E$	
	IF ANGLE WITH HORIZONTAL $\leq 45^\circ$ $A + B + C - 2R - d_b$	
	IF ANGLE WITH HORIZONTAL $\leq 45^\circ$ $A + B + C$	
	IF ANGLE WITH HORIZONTAL $\leq 45^\circ$ $A + B + C$	
	$A + B + C + D - 3R/2 - 3d_b$	
	$A + B + C + D - 3R/2 - 3d_b$	

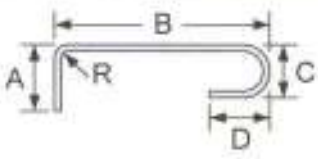
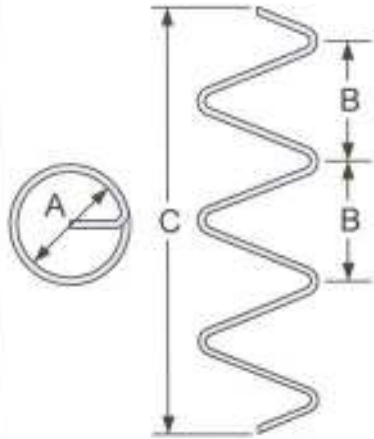
ตารางที่ 1.13 ตารางแสดงการคำนวณความยาวเหล็กเสริม (ต่อ)

วิธีการวัดขนาดการดัดงอ	ความยาวเหล็กเสริม	รูปสัญลักษณ์อ้างอิง
	$A + B + C + D + E - 2R - 4d_b$	
	$A + B + C - R - 2d_b$	
	$A + B + C + D + E - 2R - 4d_b$	
	$A + B + C + D + E - 2R - 4d_b$	
	$2(A + B) + 20d_b$	
	IF $\theta \leq 45^\circ$ $A + B - 2R - 2d_b$	
	IF $\theta \leq 45^\circ$ $A + C$	

ตารางที่ 1.13 ตารางแสดงการคำนวณความยาวเหล็กเสริม (ต่อ)

วิธีการวัดขนาดการติดตั้ง	ความยาวเหล็กเสริม	รูปสัญลักษณ์อ้างอิง
	$2A + B + C + 10d_b$	
	$2A + 3B + 20d_b$	
	$A + B + C + 2D + E + 10d_b$	
	$4A + 20d_b$	
	$A + B + C + D - 1.5R - 3d_b$	
	$2A + 3B + 22d_b$	
	$A + 2B + C + D - 2R - 4d_b$	

ตารางที่ 1.13 ตารางแสดงการคำนวณความยาวเหล็กเสริม (ต่อ)

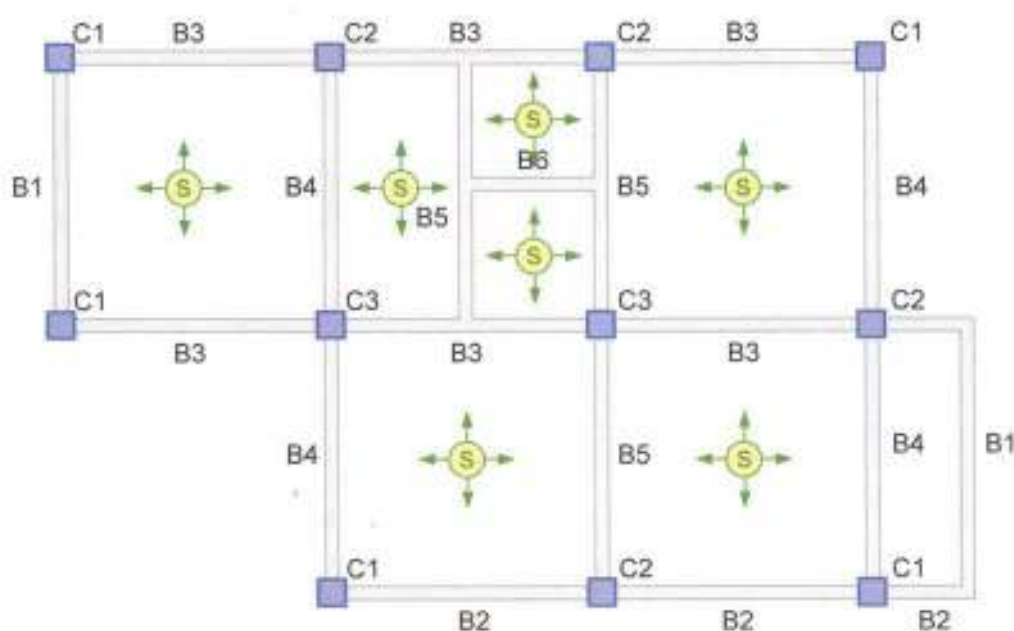
วิธีการวัดขนาดการติดตั้ง	ความยาวเหล็กเสริม	รูปสัญลักษณ์อ้างอิง
	$A + B + 0.57C + D - R/2 - 2.57d_b$	
	WHERE B IS NOT GREATER THAN A/5 $(C/B) \pi (A + d_b) + 8d_b$	HELIX A = INTERNAL DIA. B = PITCH OF HELIX C = OVERALL HEIGHT



2

คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

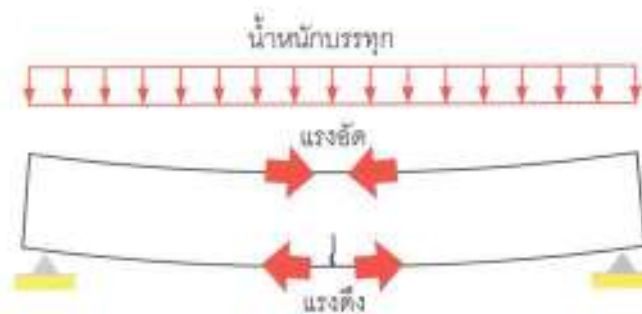
คานคือองค์อาคารในแนวราบมีหน้าที่รับน้ำหนักจากพื้นและผนังแล้วส่งถ่ายลงสู่เสา จากแบบแปลนในแต่ละชั้นจะแสดงคานอยู่ที่ขอบของพื้น หรือรองรับอยู่ใต้ผนัง คานหลักจะวิ่งผ่านหัวเสาที่เป็นจุดรองรับ และคานย่อยจะพาดอยู่ระหว่างคานหลักที่เป็นจุดรองรับ



รูปที่ 2.1 แบบแปลนอาคาร

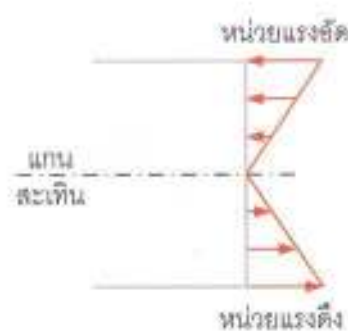
การเสริมเหล็กรับการตัด

คานที่มีหนึ่งช่วงโดยมีรองรับที่ปลายคาน เช่น คาน B1 และ B6 ในรูปที่ 2.1 เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกคานจะเกิดการแอ่นตัว **โมเมนต์คัต**จะทำให้ด้านบนรับแรงอัดส่วนด้านล่างจะรับแรงดึง ซึ่งถ้าไม่มีการเสริมเหล็กคือเป็นคานคอนกรีตล้วน หน่วยแรงในคานจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการรับน้ำหนักบรรทุก คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีกำลังรับแรงดึงต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดมากคือประมาณ 10% ดังนั้นเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเพียงเล็กน้อยก็เกิดการแตกร้าวขึ้นดังในรูปที่ 2.2

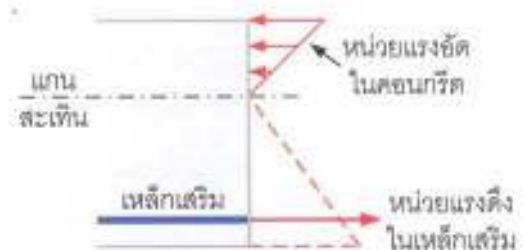


รูปที่ 2.2 คานช่วงเดียวรับน้ำหนักบรรทุก

เพื่อช่วยเสริมกำลังรับแรงดึงของคานคอนกรีต เราจึงใช้เหล็กเสริมในบริเวณที่คอนกรีตรับแรงดึง เช่นในคานช่วงเดียวจะเสริมเหล็กด้านล่างของหน้าตัด



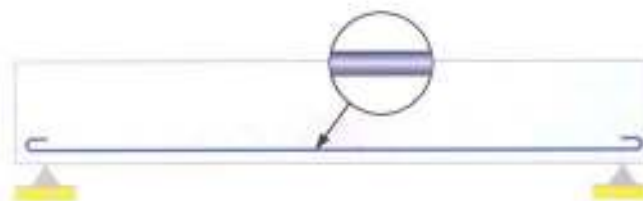
คานคอนกรีตล้วน



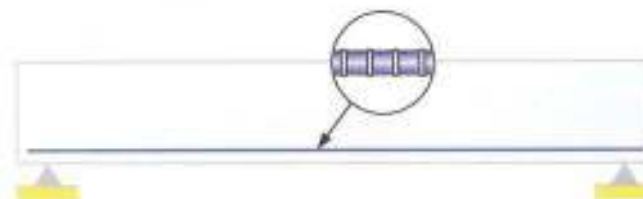
คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

รูปที่ 2.3 คานคอนกรีตล้วน และ คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

แต่เดิมนั้นเหล็กเสริมที่ใช้เป็น เหล็กกลมผิวเรียบ (Round Bar, RB) ที่ปลายเหล็กเสริมจะทำการงอ (hook 180°) เพื่อเป็นสมอยึดเพิ่มการยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กและคอนกรีต แต่ในปัจจุบันจะใช้ เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar, DB) ซึ่งมีการยึดเหนี่ยวที่ดีขึ้นจึงไม่ต้องทำงอขอที่ปลายคาน



(ก) คานเสริมเหล็กกลมผิวเรียบ

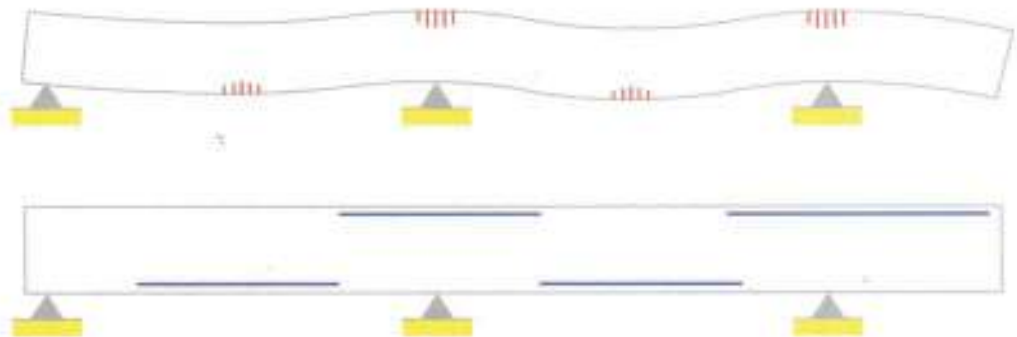


(ข) คานเสริมเหล็กข้ออ้อย

รูปที่ 2.4 การเสริมเหล็กในคานช่วงเดียว

คานต่อเนื่องและปลายยื่น

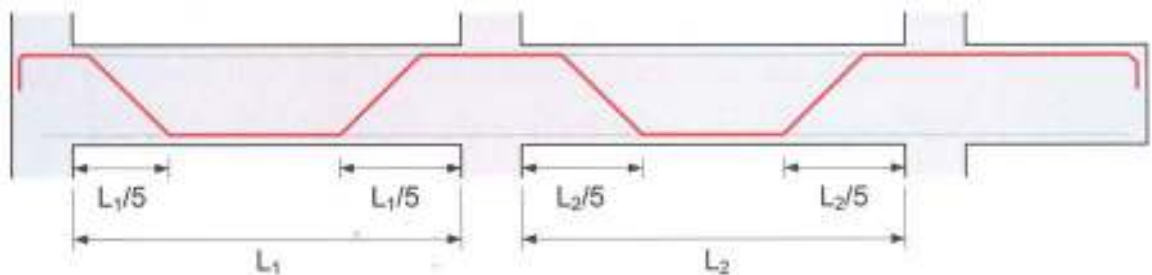
สำหรับคานหลายช่วงหรือมีปลายยื่นเช่น B2 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นมีทั้งบวกและลบ กลางช่วงคานมีการแอ่นตัวที่ต้องการเหล็กล่าง และบริเวณจุดรองรับคานมีการโก่งตัวจึงต้องการเหล็กบน



รูปที่ 2.5 การเสริมเหล็กในคานต่อเนื่อง

สำหรับคานช่วงยาวรับน้ำหนักมากการใช้เหล็กเสริมเพียง 4 เส้นที่มุมอาจไม่เพียงพอ จึงต้องเสริมเหล็กนอนเพิ่มเติมในบริเวณที่ต้องการกำลังโมเมนต์มากขึ้น บริเวณกลางช่วงคานจะเสริมเหล็กล่างเพื่อรับโมเมนต์บวก และบริเวณจุดรองรับจะเสริมเหล็กบนเพื่อรับโมเมนต์ลบ

แต่เดิมนิยมใช้เหล็กคอดำเพราะช่วยทั้งรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด โดยเหล็กคอดำจะอยู่ล่างบริเวณกลางช่วง และดัดขึ้นมายุ่นบนบริเวณหัวเสา ระยะดัดจะอยู่ที่ $L_n/5$ เมื่อ L_n คือช่วงความยาวคานช่องว่างระหว่างผิวจุดรองรับ (Clear Span)



รูปที่ 2.6 คานคอนกรีตเสริมเหล็กมัดที่ระยะ $L/5$

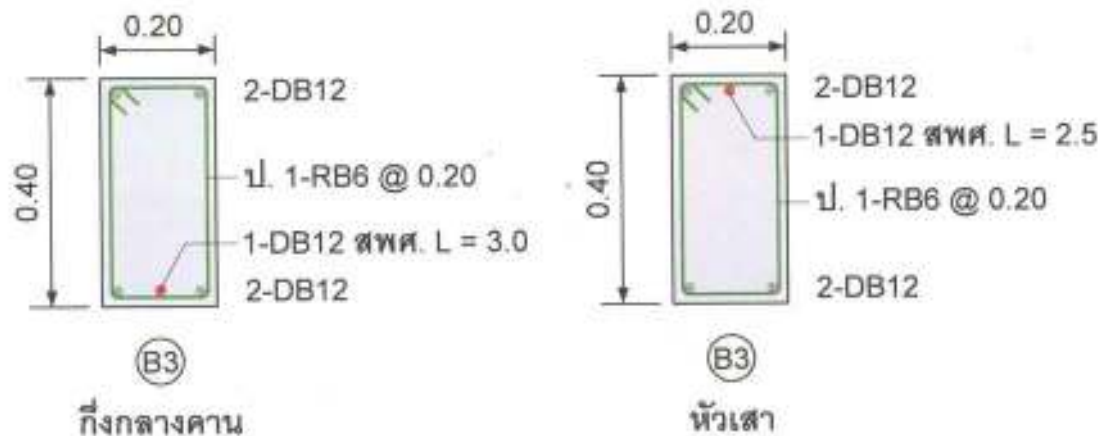
เนื่องจากเหล็กเสริมคอดำมีรูปแบบการดัดขึ้นลงที่แน่นอนเช่นที่ระยะ $L/5$ ดังในรูปที่ 2.6 การเขียนแบบรายละเอียดจึงอาจเขียนเพียงหน้าตัดคาน โดยระบุเหล็กเสริมที่ดัดเป็นคอดำว่า ค.ม. $L/5$ ดังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเขียนหน้าตัดคานที่มีเหล็กคอดำ

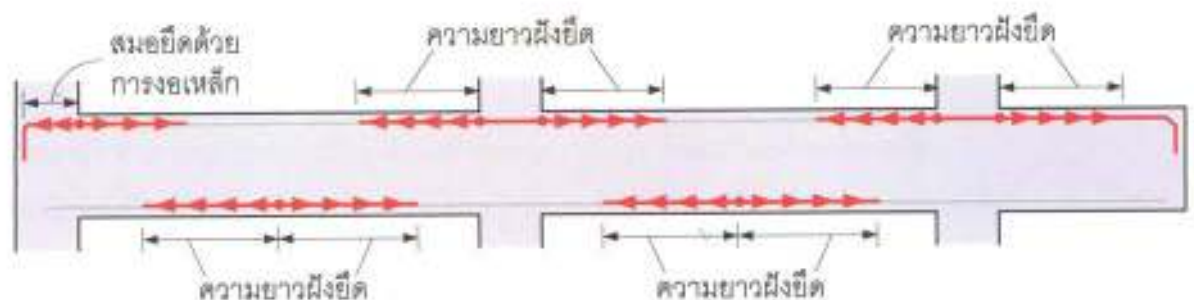
การใช้เหล็กเสริมพิเศษเข้าไปในบริเวณที่ต้องการกำลังโมเมนต์มีทั้งการเสริมเหล็กล่างเพื่อเพิ่มกำลังโมเมนต์บวกที่กลางช่วงคาน และการเสริมเหล็กบนที่บริเวณจุดรองรับหัวเสา การใช้เหล็กเสริมพิเศษจะมีความยืดหยุ่นกว่าเพราะสามารถเสริมเหล็กในปริมาณที่แตกต่างกันได้ ซึ่งโดยทั่วไปเหล็กเสริมพิเศษบนจะมากกว่าเหล็กเสริมพิเศษล่าง

ในบางแบบรายละเอียดจะเขียนเพียงหน้าตัดคานที่กลางช่วงและบริเวณจุดรองรับ ยกตัวอย่าง เช่น คาน B3 ในรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นคานต่อเนื่อง 3 ช่วง อาจเขียนเป็นแบบรายละเอียดหน้าตัดคานเป็นดังในรูปข้างล่าง ด้วยย่อ สพศ. หมายถึง เสริมพิเศษ ตามด้วยความยาวเหล็กเสริมพิเศษ



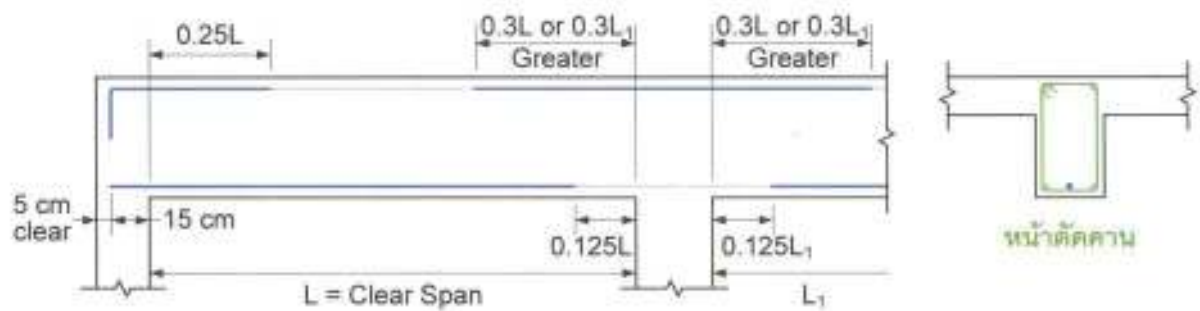
รูปที่ 2.8 การเขียนหน้าตัดคานที่มีเหล็กเสริมพิเศษ

ความยาวของเหล็กเสริมพิเศษจะพิจารณาจาก “ความยาวฝังยึด (Development Length)” ซึ่งเป็นระยะจากจุดที่เหล็กรับแรงดึงสูงสุดไปยังปลายเหล็กที่ไม่มีแรงดึง เป็นระยะซึ่งอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีตในการส่งผ่านถ่ายเทแรงดึงไปยังคอนกรีต ซึ่งในกรณีที่มียาระยะไม่เพียงพอเช่นที่ปลายคาน ก็จะทำให้การงอเหล็กเพื่อให้เกิดกลไกสมอยึด ดังแสดงในรูปที่ 2.9 แรงดึงสูงสุดของเหล็กล่างจะอยู่กึ่งกลางคาน ส่วนเหล็กบนจะเป็นที่ขอบจุดรองรับ

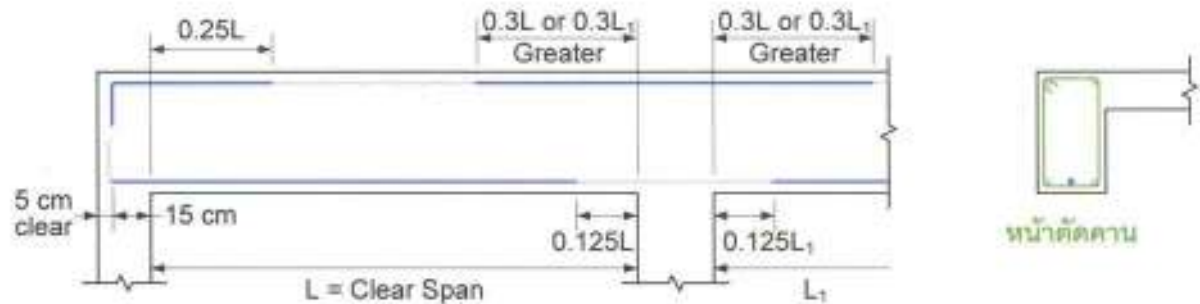


รูปที่ 2.9 ความยาวยึดรั้งและการงอเหล็กเสริมพิเศษ

สำหรับคานรับน้ำหนักแม่สม่ำเสมอและแต่ละช่วงคานมีความยาวใกล้เคียงกัน อาจใช้ระยะหยุดเหล็กมาตรฐาน (Standard Bar Cut-off) ตามคู่มือ ACI Detailing Manual (2004) โดยจะแบ่งเป็นคานภายใน (Non-perimeter Beam) และคานขอบ (Perimeter Beam)



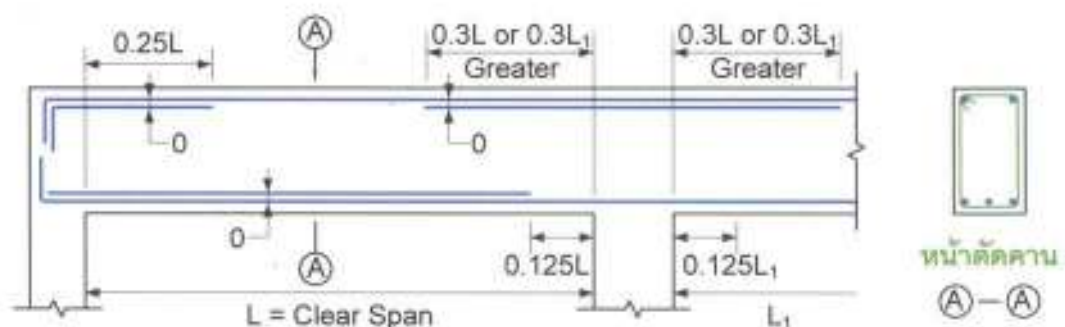
คานภายในใช้เหล็กปลอกปิด



คานขอบใช้เหล็กปลอกปิด

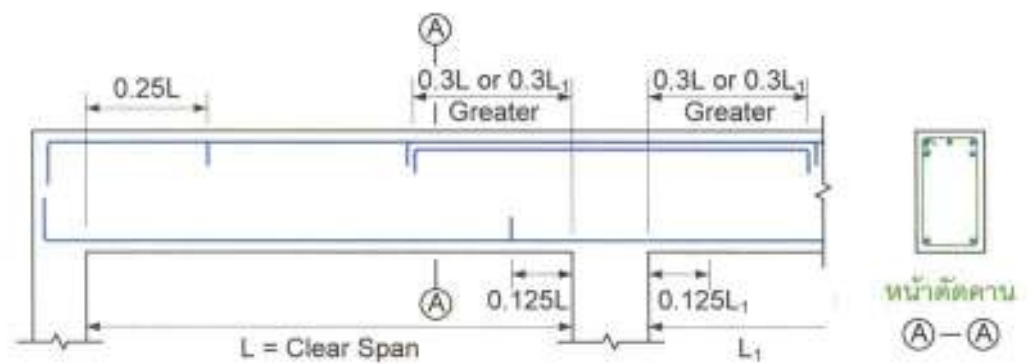
รูปที่ 2.10 ความยาวเหล็กเสริมพิเศษโดยใช้ระยะหยุดเหล็กมาตรฐาน

จะเห็นว่าทั้งสองรูปในรูปที่ 2.10 มีความแตกต่างกันเพียงที่ปลายเหล็กล่างมีการงอฉาก เพื่อป้องกันการสับสนในการทำงานจึงมักงอปลายเหล็กล่างอยู่เสมอ ในแบบที่ปล่อยออกมาเหล็กเสริมจะเป็นเส้นสีดำหนาทั้งหมด ทำให้เหล็กเสริมบนยาวตลอดทั้งเหล็กเสริมพิเศษ เพื่อแสดงให้เห็นตำแหน่งการหยุดเหล็กที่ชัดเจน ตามมาตรฐาน ACI จะเขียนเหล็กเสริมพิเศษขยับออกมาแล้วใส่ระยะห่าง 0 กำกับดังในรูปที่ 2.11



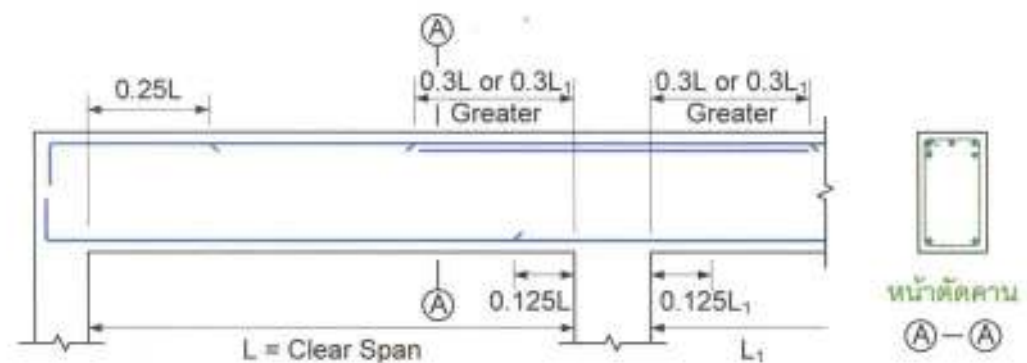
รูปที่ 2.11 การเขียนเหล็กเสริมพิเศษตามมาตรฐาน ACI

อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เป็นที่ใช้งานกันในเมืองไทย อาจทำให้ช่างก่อสร้างความเข้าใจผิดยกเหล็กเสริมพิเศษขึ้นมาจริงๆ นอกจากนั้นยังมีปัญหาในกรณีที่มีเหล็กพิเศษอีกชั้นหนึ่งจริงก็จะซ้ำซ้อนกัน ดังนั้นจึงมักเขียนให้เหล็กเสริมพิเศษงอฉากขึ้นมอดังในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเขียนเหล็กเสริมพิเศษแบบงอฉาก

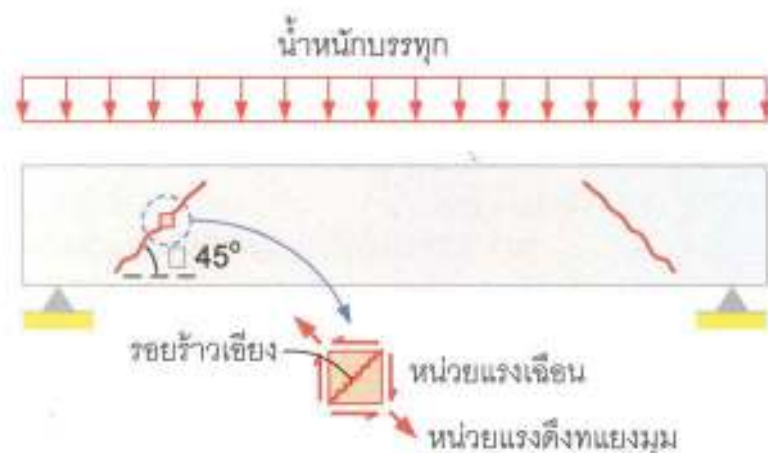
แม้จะมีการเข้าใจผิดทำการงอเหล็กฉากจริงๆก็ไม่เกิดผลเสียหาย แต่อาจทำให้สิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ วิธีการที่เหมาะสมกว่าเขียนเส้นเอียงขนาดเล็กเฉพาะเส้นที่มีการบังกัน ดังในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การเขียนเหล็กเสริมพิเศษแบบเส้นเอียงขนาดเล็ก

เหล็กเสริมรับแรงเฉือน

นอกจากโมเมนต์ดัดแล้ว **แรงเฉือน**ที่เกิดขึ้นในคานจะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงในแนวทแยง (Diagonal Tension) ทำให้เกิดรอยแตกร้าวในแนวเอียง แต่เดิมจะใช้การเสริมเหล็กคอกม้า (Bent up bar) ที่บริเวณจุดรองรับ

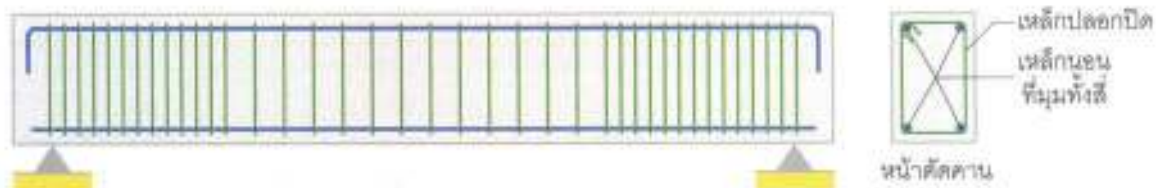


รูปที่ 2.14 แรงเฉือนทำให้เกิดการแตกร้าวแนวเอียง



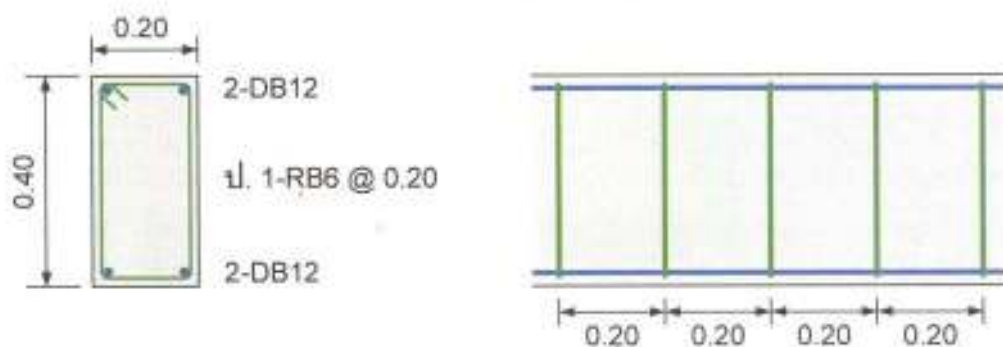
รูปที่ 2.15 การเสริมเหล็กคอม้ารับแรงเฉือน

ในปัจจุบันการตัดเหล็กคอม้าในคานมักไม่นิยมทำกัน แต่จะใช้เหล็กปดปิด (Closed Loop Stirrup) เป็นเหล็กเสริมขนาดเล็กเช่น RB6, RB9 หรือ DB10 ในคานจึงต้องมีเหล็กนอนอย่างน้อย 4 เส้นที่แต่ละมุม เพื่อช่วยยึดให้เหล็กเสริมอยู่ในตำแหน่งขณะเทคอนกรีต โดยบริเวณที่มีแรงเฉือนมากจะใส่เหล็กปดถี่กว่าบริเวณอื่น



รูปที่ 2.16 การเสริมเหล็กปดปิดในคาน

ในอาคารขนาดเล็กเช่นบ้านพักอาศัยซึ่งมีช่วงคานและน้ำหนักบรรทุกไม่มาก อาจใช้เพียงเหล็กเสริมสี่เส้นที่มุมวิ่งยาวตลอด ซึ่งจะเขียนเพียงแบบหน้าตัดคาน โดยระบุจำนวนและหน้าตัดเหล็กเสริมสำหรับเหล็กนอน และระบุจำนวน, หน้าตัดเหล็กเสริม สำหรับเหล็กปด จะใช้ระยะเรียงคงที่ตลอดช่วงความยาว เช่น ป. 1-RB6 @ 0.20 หมายถึง ใช้หนึ่งปดขนาด RB6 ระยะเรียง 0.20 ม.

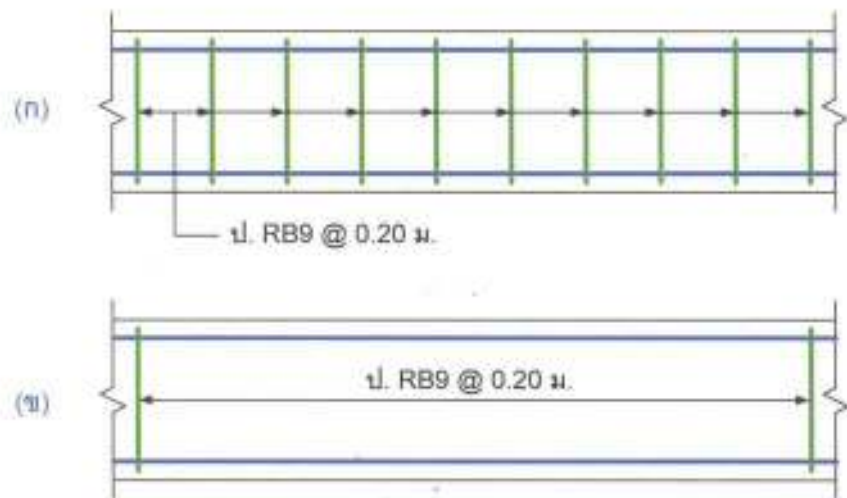


รูปที่ 2.17 การเขียนหน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

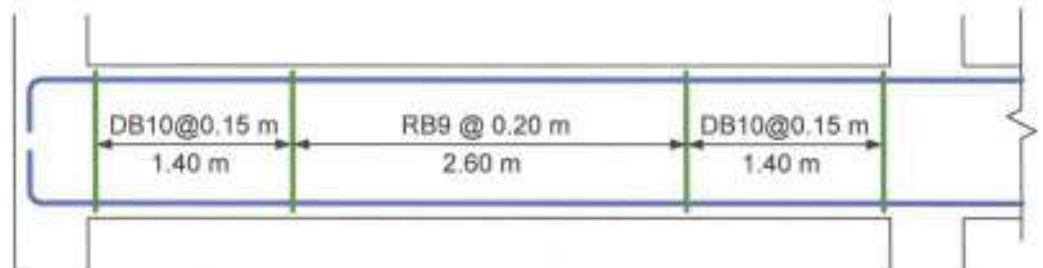
โดยจะต้องมีเหล็กปดในคานเสมอแม้ว่าจะมีแรงเฉือนน้อยมากหรือไม่ก็ตาม การเขียนแสดงเหล็กปดทุกเส้นในแบบด้านข้างคานอาจทำให้ยุ่งยากและไปรบกวนข้อมูลอื่นในแบบ จึงมักเขียนเพียงปดแรกและปดสุดท้ายแล้วเขียนลูกศรเชื่อมโยงพร้อมคำอธิบาย

สำหรับคานที่มีช่วงยาวอาจต้องใส่เหล็กปดหนาแน่นบริเวณที่รับแรงเฉือนมากคือบริเวณหัวเสาจุดรองรับ บริเวณกลางช่วงคานที่มีแรงเฉือนน้อยก็อาจลดเหล็กปดลงโดยใช้ขนาดเล็กลงและ

ระยะห่างมากขึ้น จึงเขียนแยกช่วงโดยระบุเหล็กปลอกและความยาวของแต่ละช่วงกำกับ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.19

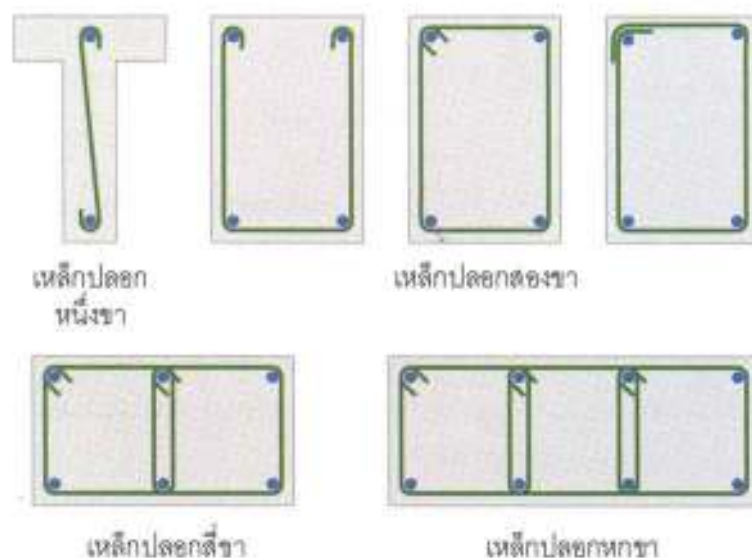


รูปที่ 2.18 การเขียนเหล็กปลอกบนแบบด้านข้างตามความยาวคาน



รูปที่ 2.19 การเขียนเหล็กปลอกหลายรูปแบบตามความยาวคาน

เหล็กปลอกอาจจัดวางในหน้าตัดได้หลายรูปแบบดังในรูปที่ 2.20 โดยจะเรียกตามจำนวนเส้นในแนวดิ่งซึ่งทำหน้าที่ต้านทานแรงเฉือนว่า "ขา (leg)" ซึ่งโดยปกติในคานสี่เหลี่ยมทั่วไปเราจะใช้เหล็กปลอกปิดสองขา ในกรณีที่ต้องการกำลังเฉือนมากขึ้นก็จะใช้จำนวนขาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.20 เหล็กปลอกรูปแบบต่างๆ

ความลึกน้อยที่สุดของคาน

คานและพื้นทางเดียวซึ่งเป็นองค์อาคารรับการดัดเป็นหลัก ต้องมีสลิปเฟสที่เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแอ่นตัวมากเกินไปจนเกิดผลเสียต่อการใช้งานของโครงสร้าง ตามมาตรฐาน ACI และ วสท. ได้กำหนดค่าความลึกน้อยที่สุดขององค์อาคารรับการดัดที่เสริมเหล็กเอกทางเดียว นอกจากจะมีการคำนวณหาระยะแอ่นที่บ่งชี้ว่าสามารถใช้ความลึกที่น้อยกว่าได้โดยไม่เกิดผลเสียหาย

ตารางที่ 2.1 ความลึกน้อยที่สุดของพื้นทางเดียวและคาน

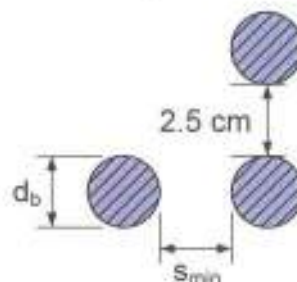
องค์อาคาร	ความลึกน้อยที่สุด, h			
	ช่วงเดียว	ต่อเนื่องข้างเดียว	ต่อเนื่องสองข้าง	ช่วงยื่น
พื้นทางเดียว	$L / 20$	$L / 24$	$L / 28$	$L / 10$
คาน	$L / 16$	$L / 18.5$	$L / 21$	$L / 8$

หมายเหตุ : ค่าในตารางใช้สำหรับคอนกรีตน้ำหนักปกติ $w_c = 2,320 \text{ กก./ม.}^3$ และเหล็กเสริมเกรด SD40 สำหรับกรณีอื่นควรปรับแก้ค่าในตารางดังนี้ :

- ▶ สำหรับคอนกรีตมวลเบาที่มีหน่วยน้ำหนัก w_c อยู่ในช่วง $1,500 - 2,000 \text{ กก./ม.}^3$ ให้คูณค่าในตารางด้วย $(1.65 - 0.0003 w_c)$ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1.09 เมื่อ w_c มีหน่วยเป็น กก./ม.^3
- ▶ สำหรับ f_y อื่นนอกจาก $4,000 \text{ กก./ซม.}^2$ ให้คูณค่าในตารางด้วยด้วย $(0.4 + f_y/7,000)$

ระยะห่างเหล็กเสริม

สำหรับเหล็กเสริมไม่อัดแรงในแนวราบระยะช่องว่างระหว่างเส้นต้องไม่น้อยกว่าค่าที่มากที่สุดของ 2.5 ซม., ขนาดเหล็กเสริม และ $4/3$ เท่าของขนาดมวลรวมใหญ่ที่สุด อย่างไรก็ตามหินที่ใช้ในงานก่อสร้างโดยทั่วไปมักใช้ขนาด $3/8"$ (0.95 ซม.) หรือ $3/4"$ (1.9 ซม.) ซึ่งต้องการระยะช่องว่าง $(4/3)(0.95) = 1.3 \text{ ซม.}$ หรือ $(4/3)(1.9) = 2.5 \text{ ซม.}$ จึงมักพิจารณาเพียงระยะ 2.5 ซม. และขนาดเหล็กเสริมดังที่ใช้ในการคิดความกว้างคานน้อยที่สุดในหัวข้อถัดไป

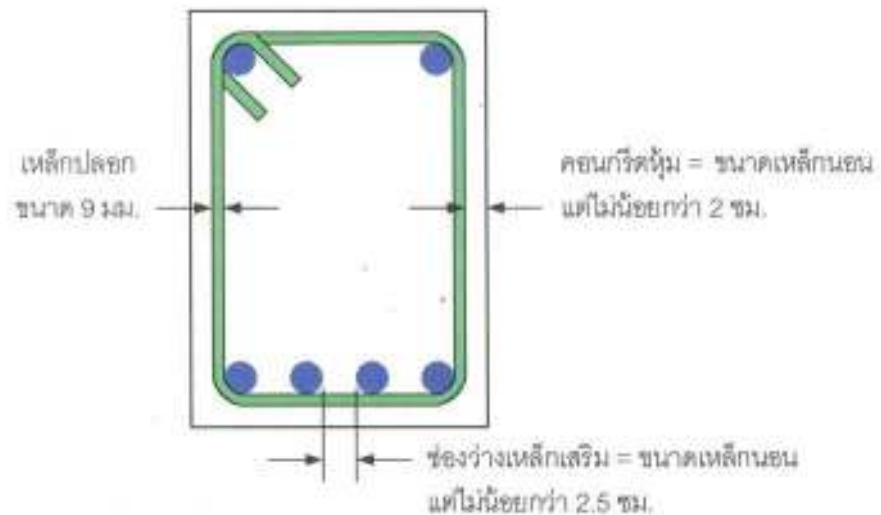


รูปที่ 2.21 ระยะช่องว่างน้อยที่สุดระหว่างเหล็กเสริม

สำหรับคานที่มีการจัดวางเหล็กเสริมหลายชั้น ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมแต่ละชั้นจะต้องไม่น้อยกว่า 2.5 ซม.

ความกว้างน้อยที่สุดของคาน

เนื่องจากกำลังโมเมนต์ดัดของหน้าตัดขึ้นกับค่า bd^2 ดังนั้นเพื่อให้หน้าตัดมีประสิทธิภาพในการรับโมเมนต์ดัดคานโดยทั่วไปจึงมีความลึกมากกว่าความกว้างเช่น กว้าง $\times$ ลึก : 20 $\times$ 40 ซม., 20 $\times$ 50 ซม., 30 $\times$ 50 ซม., 30 $\times$ 60 ซม., 40 $\times$ 70 ซม., 40 $\times$ 80 ซม. นอกจากนี้จากจะมีความจำกัดเรื่องความลึกคานจึงใช้คานแบนที่มีความกว้างมากกว่าความลึก



รูปที่ 2.22 ระยะในการคำนวณความกว้างคานน้อยที่สุด

ความกว้างคานน้อยที่สุดจะขึ้นกับขนาดและจำนวนเหล็กเสริมที่ใช้ ทั้งนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม. และเหล็กเสริมต้องมีอย่างน้อยที่สุดสองเส้นดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความกว้างคานน้อยสุด (ซม.)

ขนาด ของเหล็ก	จำนวนเหล็กใน 1 ชั้น							เพิ่มสำหรับ แต่ละเส้น
	2	3	4	5	6	7	8	
DB12	10.7	14.4	18.1	21.8	25.5	29.2	32.9	3.7
DB16	11.5	15.6	19.7	23.8	27.9	32.0	36.1	4.1
DB20	12.3	16.8	21.3	25.8	30.3	34.8	39.3	4.5
DB25	14.3	19.3	24.3	29.3	34.3	39.3	44.3	5.0
DB28	15.8	21.4	27.0	32.6	38.2	43.8	49.4	5.6
DB32	17.8	24.2	30.6	37.0	43.4	49.8	56.2	6.4

หมายเหตุ : ค่าในตารางคำนวณโดยคิดระยะต่างๆดังนี้

- ▶ ระยะหุ้มคอนกรีตด้านข้างคาน 2 ซม. สำหรับคอนกรีตหล่อในที่ซึ่งไม่สัมผัสกับดินหรือถูกแดดฝน
- ▶ ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม 2.5 ซม. หรือเท่ากับขนาดเหล็กเสริมในกรณีที่ใหญ่กว่า 25 มม.
- ▶ เหล็กปลอกที่ใช้มีขนาด 9 มม.

- ตัวอย่างเช่น DB16 จำนวน 4 เส้น ต้องการความกว้าง

$$b = 2(2.0) + 2(0.9) + 4(1.6) + 3(2.5) = 19.7 \text{ ซม.}$$

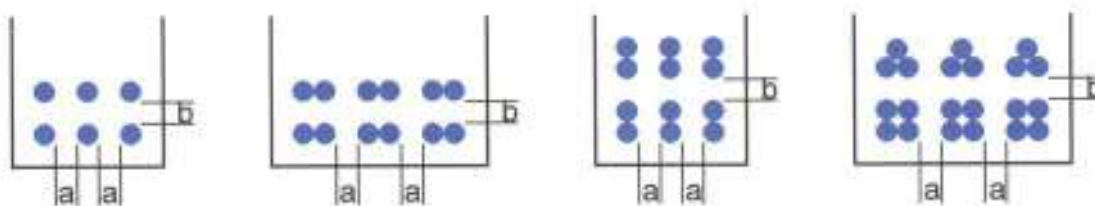
การจัดวางเหล็กเสริมจำนวนมาก

ในกรณีที่จำนวนเหล็กเสริมมีเกินกว่าที่จะจัดวางเรียงในหนึ่งชั้นได้ จะวางเรียงหลายชั้นโดยมีระยะช่องว่างระหว่างชั้นที่เพียงพอ และถ้ายังไม่พอจะมัดเหล็กเสริมติดกันดังแสดงในรูปที่ 2.23 ซึ่งตามมาตรฐาน ACI กำหนดให้มัดเป็นก้ำได้ไม่เกินสี่เส้น



รูปที่ 2.23 ระยะการมัดเหล็กเสริมเป็นก้ำแบบ 2, 3 และ 4 เส้น

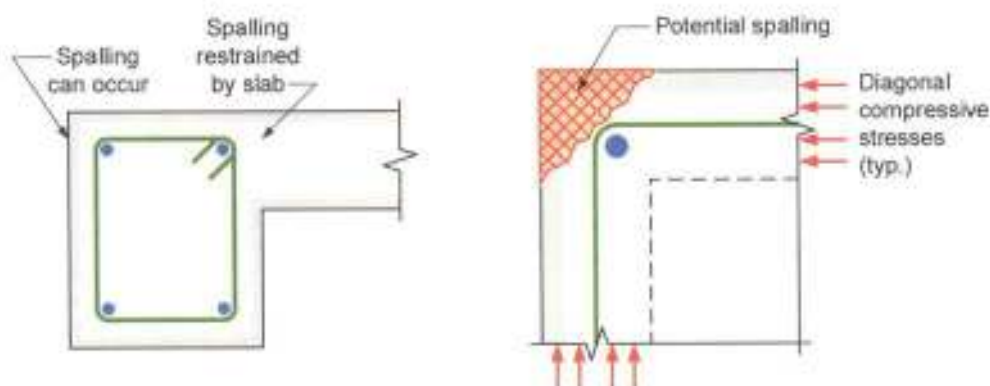
รูปที่ 2.24 แสดงรูปแบบการจัดวางเหล็กเสริมจำนวนมากโดยมีระยะช่องว่างในแนวราบ a คือระยะที่มากที่สุดของ 2.5 ซม., ขนาดเหล็กเสริม และ $4/3$ เท่าของขนาดมวลรวม และระยะช่องว่างในแนวตั้ง $b = 2.5$ ซม.



รูปที่ 2.24 รูปแบบการจัดวางเหล็กเสริมจำนวนมากในคาน

คานรับโมเมนต์บิด

สำหรับคานที่รับโมเมนต์บิดเช่นคานขอบนั้น ACI กำหนดให้ใช้เหล็กปลอกแบบบิดเพื่อต้านทานหน่วยแรงดึงทแยง เนื่องจากเมื่อหน้าตัดรับโมเมนต์บิดสูงขึ้นคอนกรีตหุ้มด้านข้างนอกเหล็กปลอกจะกะเทาะออกดังแสดงในรูปที่ 2.25

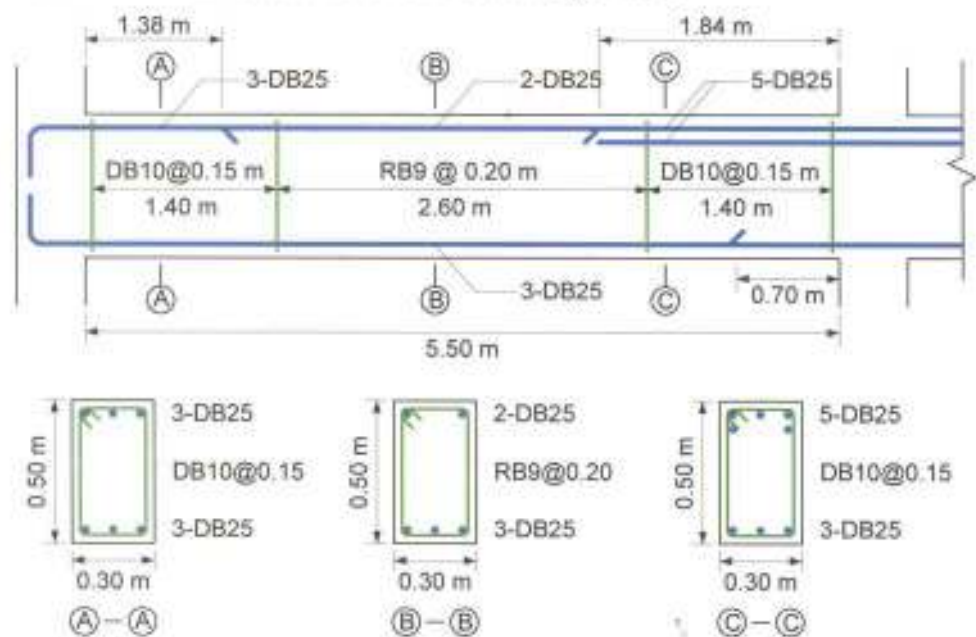


รูปที่ 2.25 การกะเทาะที่มุมคานรับการบิดทำให้ต้องใช้เหล็กปลอกบิด

โดยปกติแล้วในเมืองไทยมักจะใช้บล็อกปิดทับคานโดยทั่วไปอยู่แล้ว สำหรับคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมรับการบิด การกระแทกจะเกิดขึ้นที่มุมเนื่องจากหน่วยแรงอัดเฉียง โดยเฉพาะที่มุมด้านนอกที่ไม่มีการยึดรั้งโดยพื้นด้านล่าง

แบบรายละเอียดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

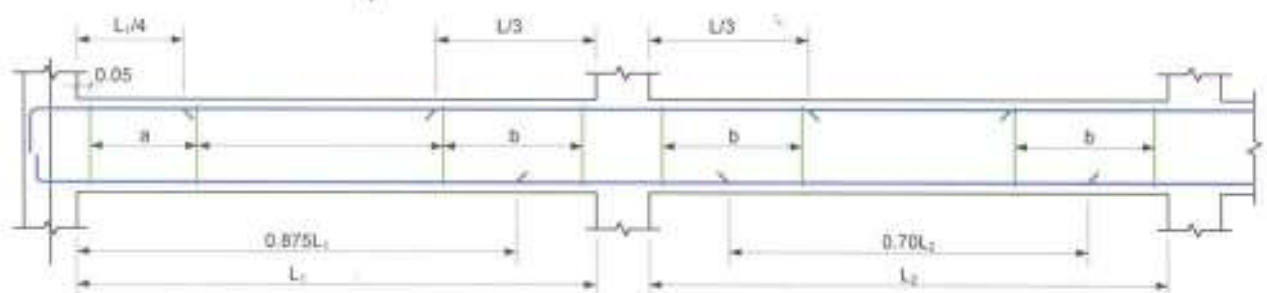
แบบรายละเอียดคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่สมบูรณ์ประกอบด้วยแบบด้านข้างแสดงช่วงความยาวคานโดยมีเหล็กเสริมนอน เหล็กเสริมพิเศษ และเหล็กปลอก พร้อมตำแหน่งและความยาวเหล็กเสริม และรูปหน้าตัดคานที่ตำแหน่งต่างๆที่มีการเปลี่ยนแปลงเหล็กเสริมซึ่งโดยปกติจะเป็นที่ปลายคานข้างซ้าย กลางช่วงคาน และปลายคานข้างขวา ดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แบบรายละเอียดคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่สมบูรณ์

แบบรายละเอียดคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบตาราง

ในอาคารขนาดใหญ่ที่มีคานจำนวนมากอาจทำเป็นแบบรายละเอียดต้นแบบ (Typical Detailing) ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยกำหนดระยะต่างๆเป็นตัวเลข แล้ววาดหน้าตัดคานของแต่ละคานลงในตารางพร้อมระบุค่าตัวเลข



หมายเหตุ: L ให้อ้างอิงที่จุดระหว่างค่า L_1 และ L_2

รูปที่ 2.27 แบบรายละเอียดคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

เมื่อนำไปทำการก่อสร้างผู้อ่านแบบจะคำนวณระยะต่างๆเพื่อนำมาก่อสร้างได้เอง ทำให้แบบมีความรวบรัดและดูเป็นระเบียบ โดยใช้กับคานธรรมดาทั่วไป ส่วนคานที่มีลักษณะพิเศษจะเขียนแบบรายละเอียดแยกออกมาต่างหาก

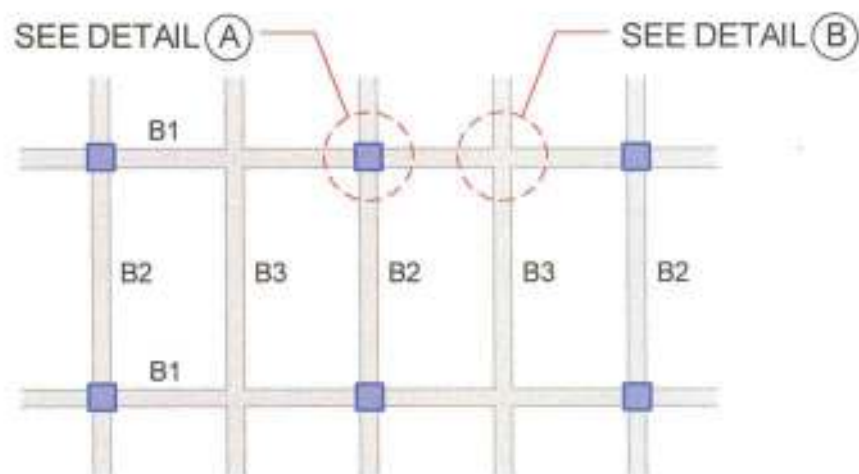
	B1		
	จุดรองรับนอก	กลางช่วง	จุดรองรับใน
ขนาดหน้าตัด	0.30x0.50		
เหล็กบน	3-DB20	3-DB20	5-DB20
เหล็กล่าง	3-DB20	3-DB20	2-DB20
เหล็กปลอก	DB10@0.15 a = 1.5 m	RB9@0.20	DB10@0.15 c = 2.0 m

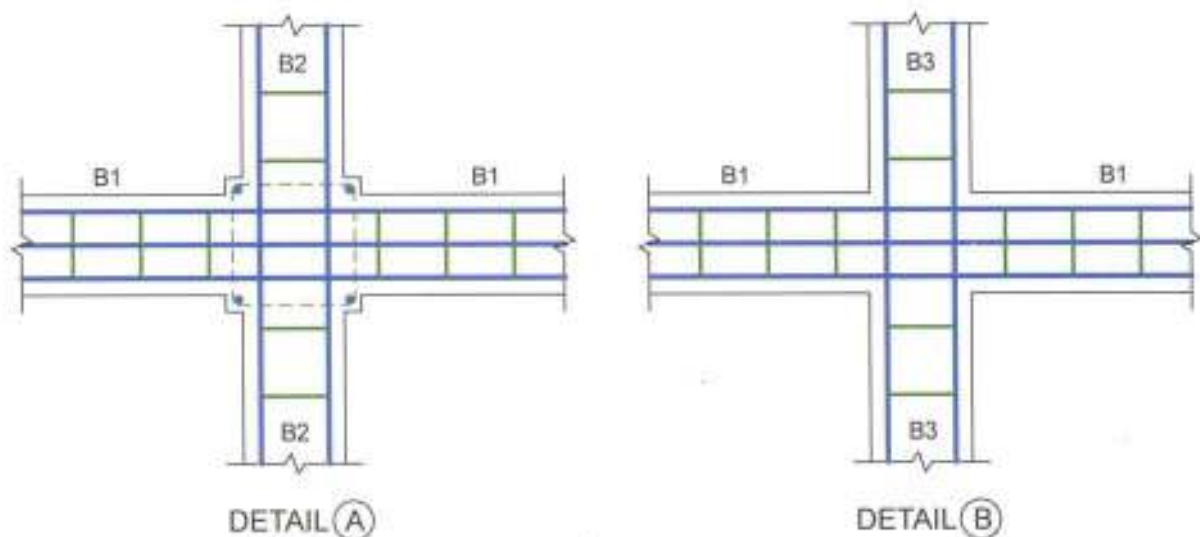
รูปที่ 2.28 แบบรายละเอียดคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบตาราง



แบบรายละเอียดจุดตัดคานหลัก-คานรอง

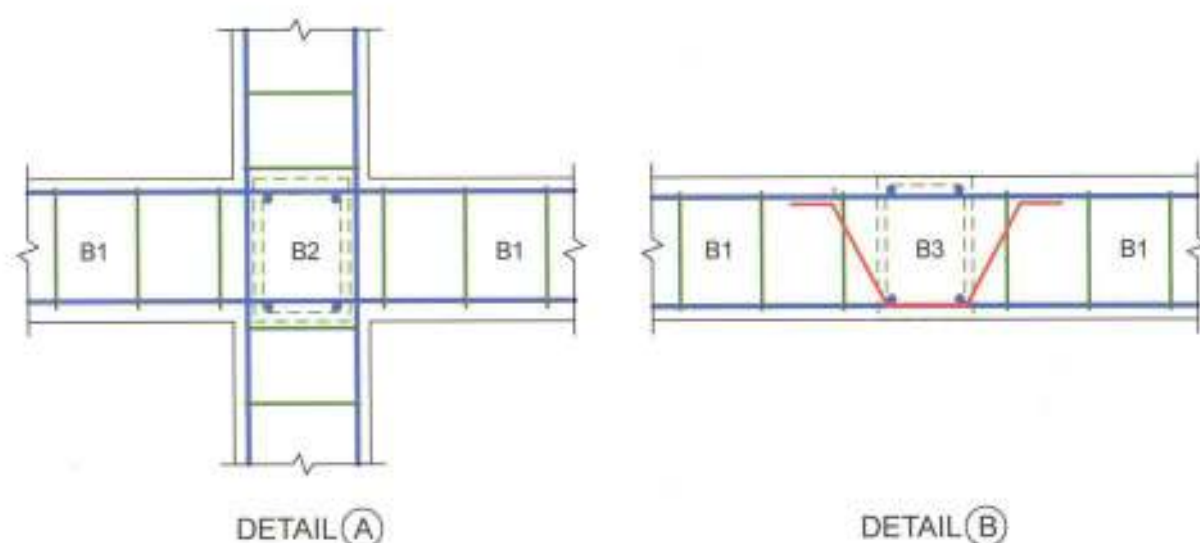
แบบรายละเอียดจุดตัดระหว่างคาน-เสา และคานหลัก-คานรอง จะแสดงรายละเอียดในการจัดวางเหล็ก เพื่อให้ผู้ทำการก่อสร้างจัดวางเหล็กตรงตามตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างชัดเจน โดยแสดงรายละเอียดทั้งรูปด้านบนและรูปตัดด้านข้าง ในกรณีของจุดตัดระหว่างคานหลักและคานรอง เหล็กเสริมในคานรองจะวางพาดบนเหล็กเสริมของคานหลักทำให้ระยะหุ้มคอนกรีตด้านบนและด้านล่างของคานรองไม่เท่ากัน นอกจากนั้นควรจัดให้มี เหล็กลูกค้ำหุน (Hanger bar) ช่วยรองรับน้ำหนักจากคานรองในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกมีมาก





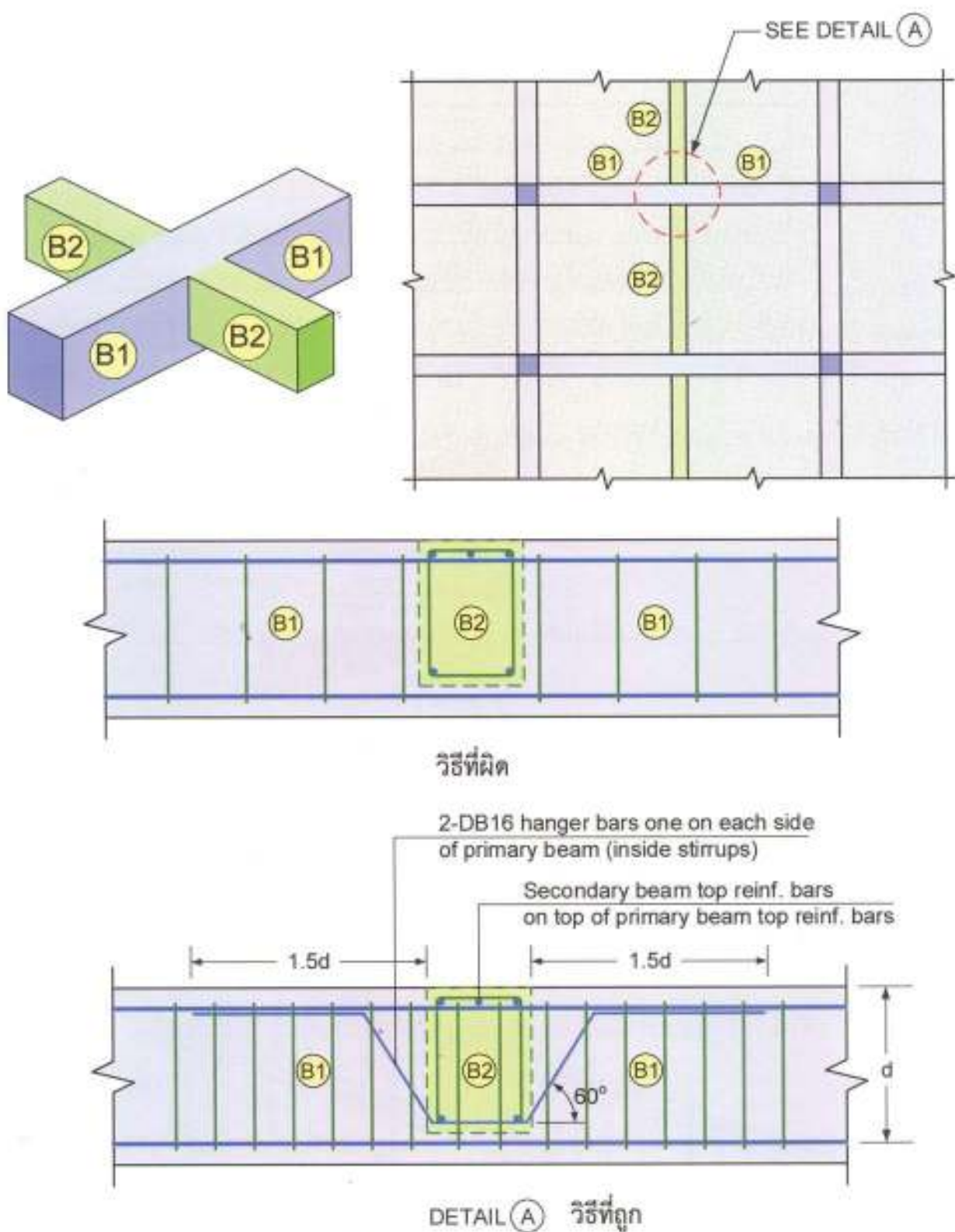
รูปที่ 2.29 แบบรายละเอียดจุดตัดคาน (รูปด้านบน)

จากในรูป DETAIL A คาน B1 และคาน B2 ตัดผ่านกันที่หัวเสา ในแบบรายละเอียดด้านข้างที่ชัดเจนจะวาดแสดงตำแหน่งของเหล็กเสริมบนในคานทั้งสองว่าเส้นใดอยู่บนเส้นใดอยู่ล่าง ส่วนใน DETAIL B จะเห็นว่าคาน B1 เป็นคานหลัก ส่วนคาน B3 เป็นคานรองที่มาถ่ายน้ำหนักลงคาน B1 ดังนั้นจึงควรมีเหล็กเสริมช่วยรองรับคาน B3 ดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แบบรายละเอียดจุดตัดคาน (รูปด้านข้าง)

รูปที่ 2.31 แสดงการเสริมเหล็กในจุดต่อระหว่างคานหลักและคานรองที่มีขนาดเล็กกว่า โดยจะมีการลดระดับเหล็กเสริมบนเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันระหว่างเหล็กเสริมในคานทั้งสองทิศทาง จัดให้มีเหล็กเสริมยก (Hanger reinforcement) ในคานหลัก และเหล็กปลอกที่หนาแน่นบริเวณจุดต่อ



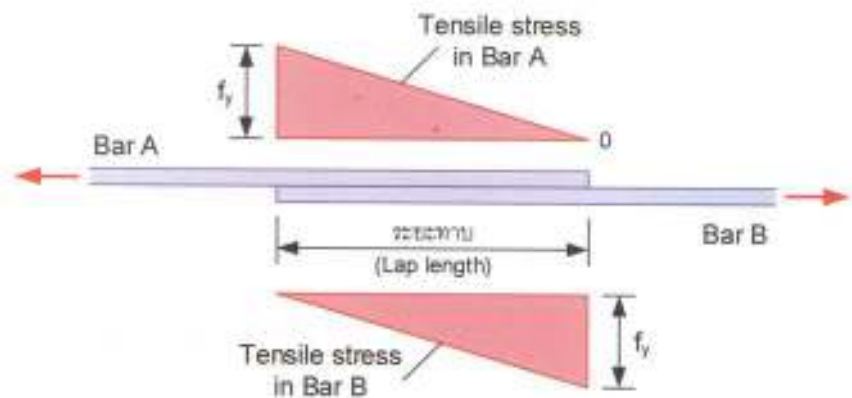
รูปที่ 2.31 การเสริมเหล็กจุดต่อคานหลัก-คานรอง

การต่อเหล็กเสริม

เหล็กเส้นที่ใช้เสริมในคอนกรีตจะถูกผลิตออกมาโดยมีความยาวมาตรฐานซึ่งขึ้นกับความสะดวกในการขนส่งและการคั่นน้ำหนัก โดยปกติจะผลิตที่ความยาว 10 เมตร ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในคานหรือพื้นต่อเนื่องหลายๆช่วงจึงต้องมีการต่อเหล็กโดยการทาบง่ายๆแบบสัมผัสหรือแยกกัน หรืออาจต่อแบบ

ชนโดยการเชื่อม โดยทั่วไปจุดที่ต่อเชื่อมควรอยู่ห่างจากจุดที่มีหน่วยแรงดึงมากที่สุด และควรสลับกัน ต่อเพื่อไม่ให้เหล็กทุกเส้นในหน้าตัดถูกต่อพร้อมกัน

คานที่มีการต่อเหล็กควรมีความเหนียวเทียบเท่ากับที่ไม่มีการต่อเหล็ก ข้อกำหนดของ ACI ต้องการให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดการวิบัติที่จุดต่อเมื่อถึงกำลังดัดสูงสุดของคานที่จุดต่อเหล็ก ข้อกำหนดของระยะหาค้นน้อยที่สุดสำหรับการต่อแบบสัมผัสมีไว้เพื่อให้มีคอนกรีตหุ้มเพียงพอ เพื่อต้านทานการแตกแยกตัว แต่สำหรับการหาแบบไม่สัมผัส เหล็กแต่ละเส้นไม่ควรวางห่างกัน จนเกินไป รูปที่ 2.32 แสดงการกระจายหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมที่จุดต่อหาบ โดยหน่วยแรงจะเพิ่มขึ้นจากศูนย์ที่ปลายแล้วมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะหาบจนมีหน่วยแรงมากที่สุดคือ f_y



รูปที่ 2.32 การกระจายหน่วยแรงในเหล็กต่อหาบ

มาตรฐาน วสท. 1008-38 กำหนดให้ทำการต่อเหล็กเสริมได้เมื่อมีความจำเป็น หรือที่ยอมให้ ตามแบบก่อสร้าง หรือในข้อกำหนดประกอบแบบ หรือโดยอนุมัติจากวิศวกร โดยการต่อเหล็กเสริม อาจทำได้ 2 วิธีคือ การต่อหาบ และ การต่อเชื่อมและข้อต่อทางกล

การต่อหาบจะใช้กับเหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่ไม่เกิน DB36 โดยความยาวในการต่อหาบรับแรง ดึงจะขึ้นกับชั้นคุณภาพในการต่อ A หรือ B แต่ต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม. โดยที่

การต่อชั้นคุณภาพ A $1.0 l_d$

การต่อชั้นคุณภาพ B $1.3 l_d$

เมื่อ l_d คือความยาวฝังยึดรับแรงดึงของเหล็กเสริม มีค่าเท่ากับ $0.06 A_b f_y / \sqrt{F'_c}$ สำหรับคอนกรีต กำลัง $F'_c = 240 \text{ ksc}$ และเหล็กเสริม SD40 กำลัง $f_y = 4,000 \text{ ksc}$ ความยาว l_d ของเหล็กเสริมขนาด ต่างๆอาจคำนวณได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความยาวฝังยึด l_d (ซม.)

เหล็กเสริม	พื้นที่ (ซม. ²)	ความยาว l_d (ซม.)
DB10	0.785	12.2
DB12	1.13	17.5

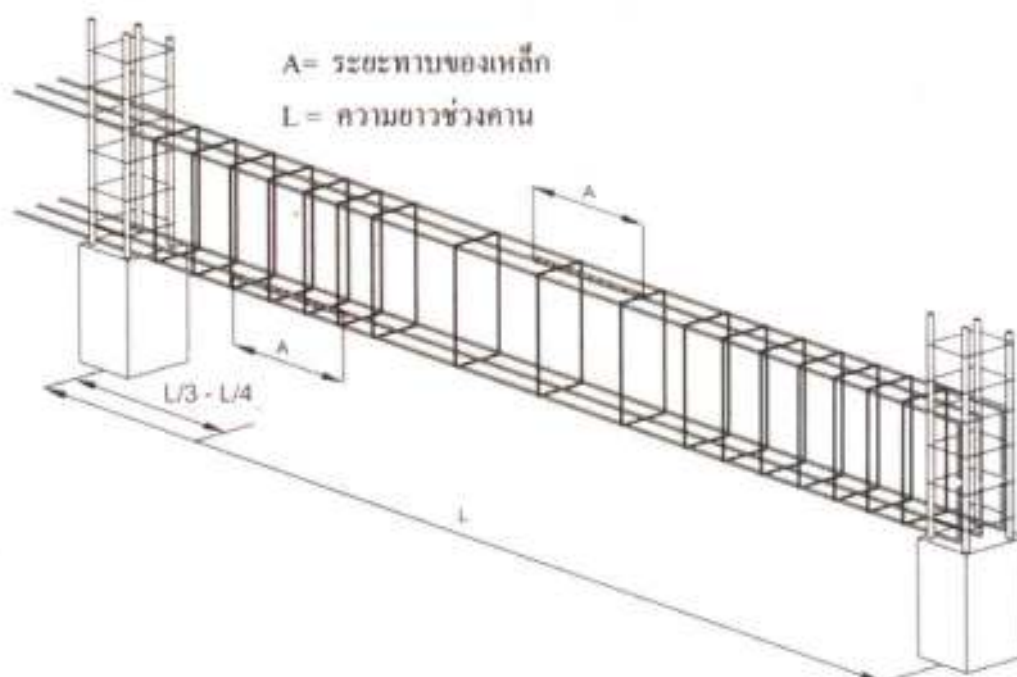
DB16	2.01	31.1
DB20	3.14	48.6
DB25	4.91	76.1
DB28	6.16	95.4
DB32	8.04	125
DB36	10.18	158

หรืออาจใช้สูตรอย่างง่ายแบบดั้งเดิมคือ ระยะทาบของเหล็กข้ออ้อยให้ใช้ไม่น้อยกว่า 36 เท่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแต่ต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม.

การต่อทาบของเหล็กข้ออ้อยและลวดข้ออ้อยรับแรงดึงให้ใช้ชั้นคุณภาพ B โดยยกเว้นให้ใช้ชั้นคุณภาพ A ได้ในกรณีดังนี้

1. พื้นที่เหล็กเสริมที่ใช้มีอย่างน้อยสองเท่าของที่ต้องการโดยการวิเคราะห์ตลอดความยาวการต่อ และ
2. ปริมาณเหล็กเสริมที่ต่อทาบต้องไม่เกินครึ่งหนึ่งของพื้นที่เหล็กเสริมทั้งหมดภายในระยะทาบที่ต้องการ

ตำแหน่งที่จะทำการต่อทาบเหล็กเสริมรับแรงดึงควรอยู่ห่างจากบริเวณที่รับแรงดึงสูง มาต่อในบริเวณที่มีปริมาณเหล็กเสริมมากกว่าที่ต้องการจากการวิเคราะห์อย่างน้อยสองเท่า ซึ่งในคาน โดยทั่วไป เหล็กเสริมบนจะต่อที่กลางช่วงคาน และ เหล็กเสริมล่างจะต่อริมช่วงดังในรูปที่ 2.33

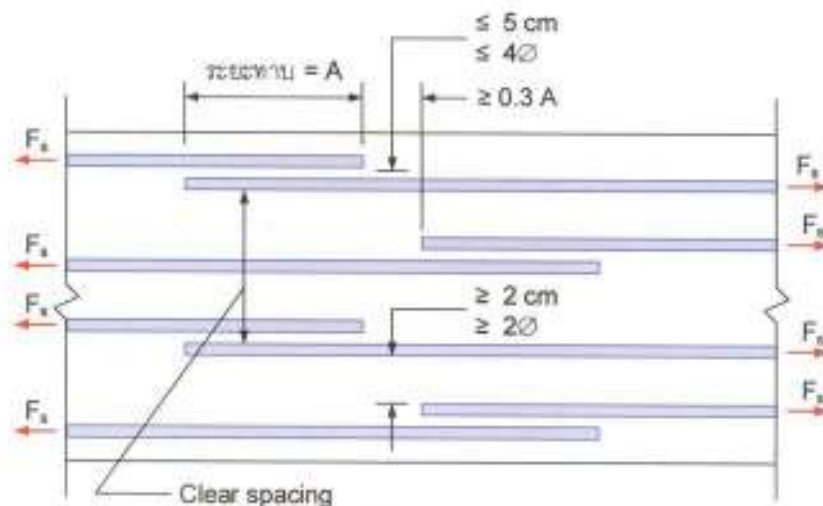


รูปที่ 2.33 ตำแหน่งการต่อทาบเหล็กเสริมคาน

การต่อทาบของเหล็กเส้นที่มีมัดรวมเป็นกำต้องเป็นไปตามความยาวระยะต่อทาบที่ต้องการของเหล็กเส้นแต่ละเส้นภายในมัดนั้น โดยเพิ่มความยาวอีกร้อยละ 20 สำหรับเหล็ก 3 เส้นมัดรวมเป็นกำ และเพิ่มร้อยละ 33 สำหรับเหล็ก 4 เส้นมัดรวมเป็นกำ

การต่อเหล็กโดยวิธีต่อทาบที่ผิวไม่สัมผัสกันในองค์อาคารรับแรงดัด ต้องวางห่างกัน (clear spacing) ไม่เกิน $1/5$ ของระยะทาบ และไม่เกิน 15 ซม. ในกรณีที่เหล็กที่จะต่อทาบมีหลายเส้นให้ต่อแบบสลับเส้นตามเงื่อนไขดังนี้

- ▶ ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กที่ต่อทาบต้องไม่เกิน 4 เท่าขนาดเหล็กเสริมหรือ 5 ซม. มิฉะนั้นให้เพิ่มระยะทาบตามส่วนที่เกิน
- ▶ ระยะห่างตามยาวของส่วนต่อทาบที่ติดกันต้องไม่น้อยกว่า 0.3 เท่าของระยะทาบ
- ▶ ระยะช่องว่างระหว่างเหล็กที่ต่อทาบติดกันต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าขนาดเหล็กเสริมหรือ 2 ซม.

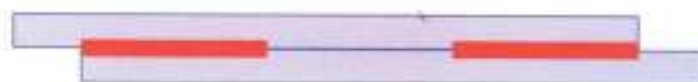


รูปที่ 2.34 การต่อทาบสลับเหล็กเสริม

สำหรับการต่อเชื่อมเหล็กเสริมและข้อต่อเชิงกล การต่ออย่างสมบูรณ์ต้องสามารถรับแรงได้อย่างน้อย 1.25 เท่าของกำลังคราก f_t ของเหล็กเสริม โดยทำการต่อเชื่อมในบริเวณที่เนื้อที่เหล็กเสริมจริงมีปริมาณน้อยกว่า 2 เท่าของที่ต้องการโดยการวิเคราะห์



Metal-arc butt weld with double-V preparation

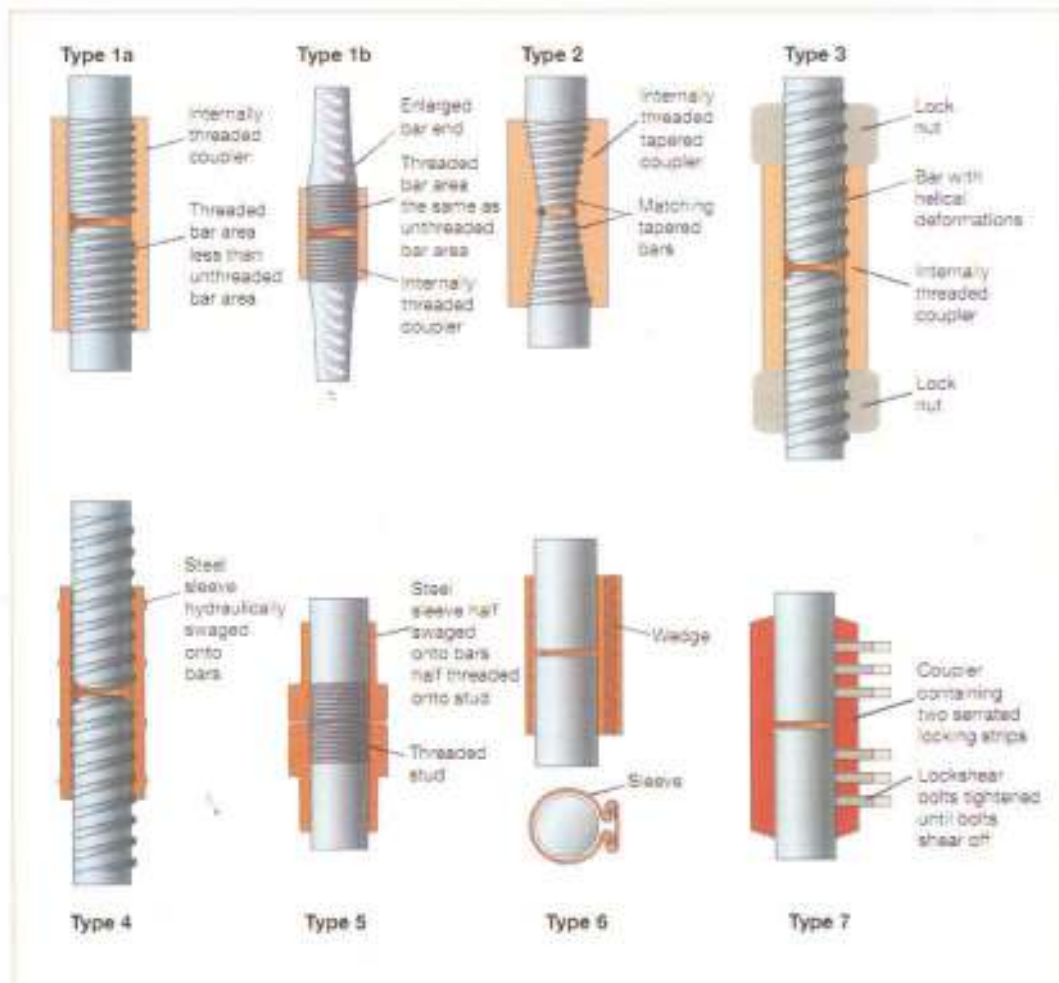


15 x bar size with 2 metal-arc fillet welds 5 x bar size in length



Metal-arc butt weld with fillet weld 10 x bar size in length

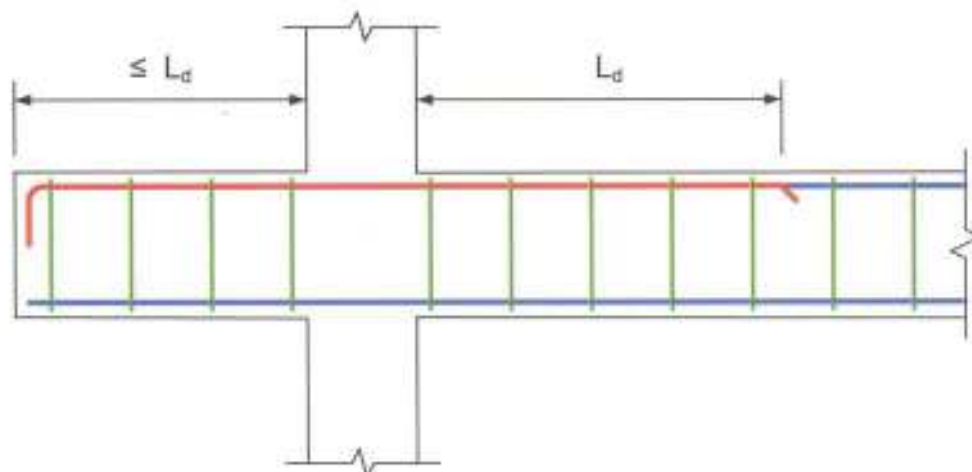
รูปที่ 2.35 การเชื่อมต่อเหล็กเสริมแบบต่างๆ



รูปที่ 2.36 การต่อเหล็กเสริมเชิงกลแบบต่างๆ

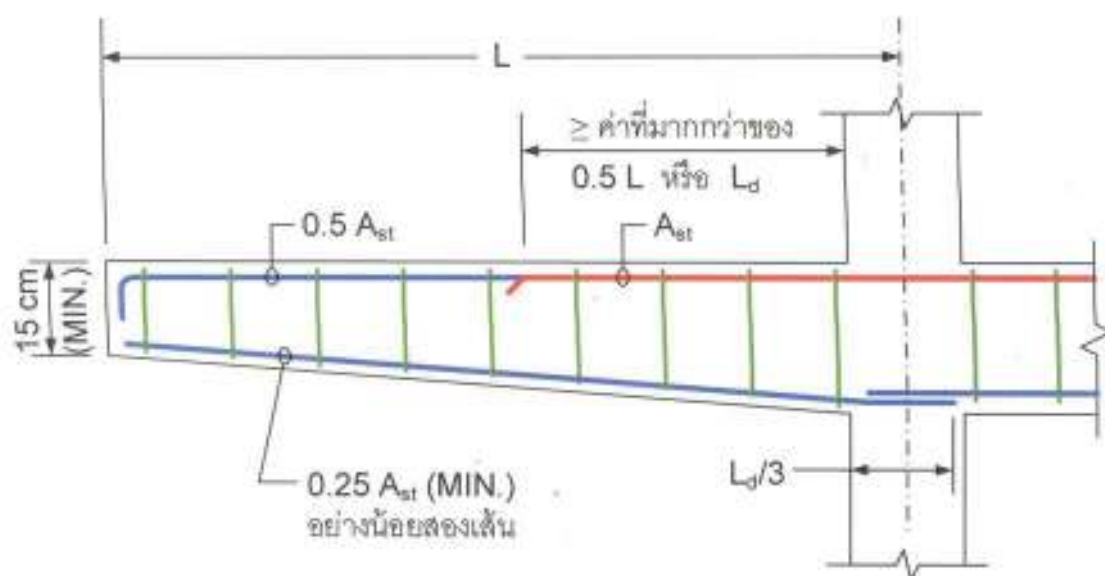
คานยื่น

เหล็กเสริมบนรับแรงดึงในคานยื่นจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่าความยาวฝังยึด L_d โดยวัดจากจุดที่มีแรงดึงสูงสุดที่ผิวเสาออกมาทั้งสองข้าง ซึ่งในกรณีที่ช่วงยื่นน้อยกว่า L_d ให้ทำการงอฉากที่ปลายยื่นเพื่อช่วยในการฝังยึด



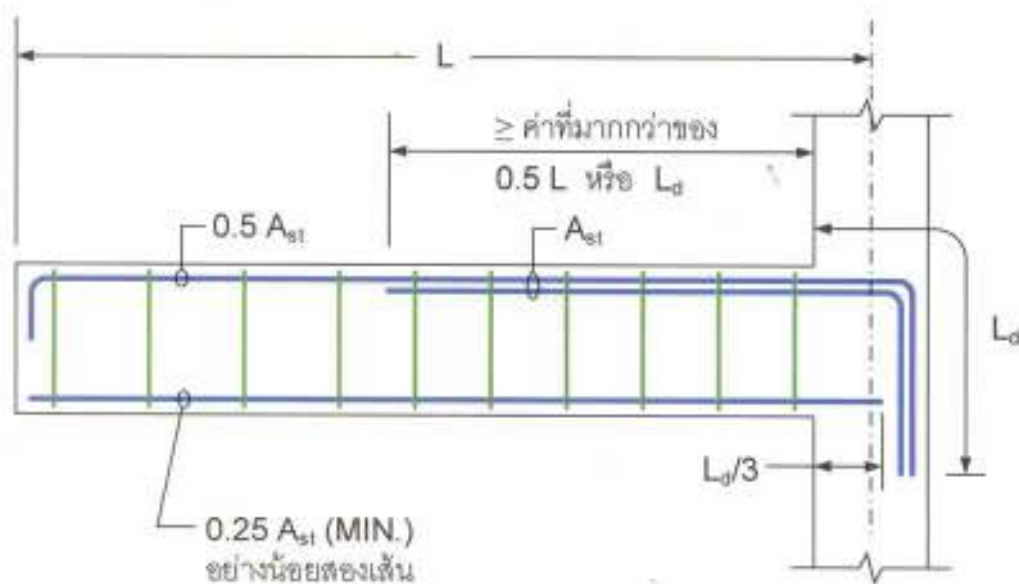
รูปที่ 2.37 การเสริมเหล็กในคานยื่นช่วงสั้น

ในกรณีที่ปลายยื่นมีความยาวมากพออาจหยุดเหล็กครึ่งหนึ่งที่ระยะไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของระยะยื่นหรือความยาวฝั่งยึด โดยอาจลดความลึกคานจนถึงปลายคานไม่น้อยกว่า 15 ซม.



รูปที่ 2.38 การเสริมเหล็กในคานยื่นช่วงยาว

ในกรณีของคานยื่นจากเสาโดยไม่มีคานช่วงในให้ทำการงอฉากเหล็กเสริมบน โดยให้มีระยะปลายงอขอเพื่อให้มีการฝังยึดที่เพียงพอ

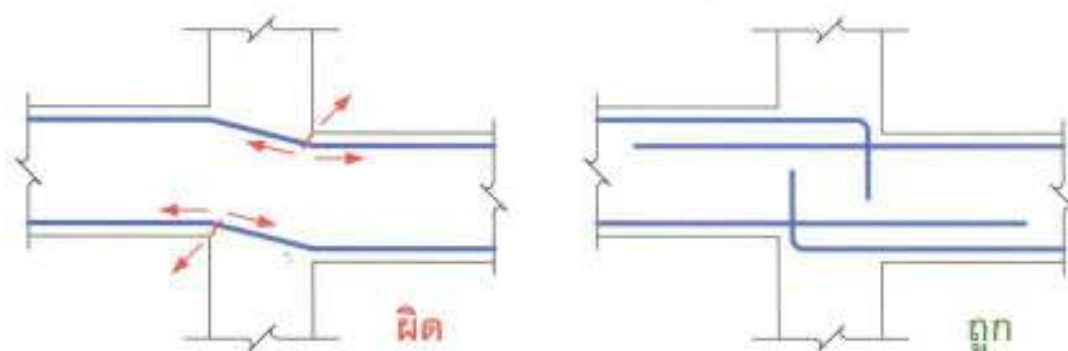


รูปที่ 2.39 การเสริมเหล็กในคานยื่นจากเสา

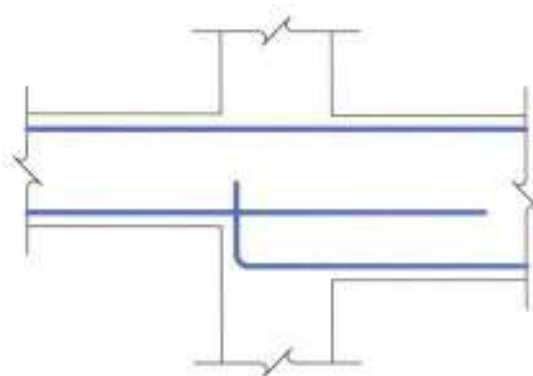
การเสริมเหล็กต่างระดับ

เหล็กเสริมในคานต่อเนื่องโดยปกติจะวางเป็นแนวเส้นตรงผ่านหัวเสา แต่ในกรณีที่คานที่มาต่อทั้งสองข้างของเสามีการเปลี่ยนระดับ หรือมีความความลึกต่างกัน การดัดเหล็กเสริมอาจก่อให้เกิดการ

แตกร้าวของคอนกรีตอันเนื่องมาจากแรงดึงในเหล็กเสริม ดังนั้นจึงต้องแยกเหล็กเป็นคนละเส้นโดยใช้การจ่อเหล็กช่วยในการฝังยึดเพื่อรับแรงดึงในเหล็กเสริม

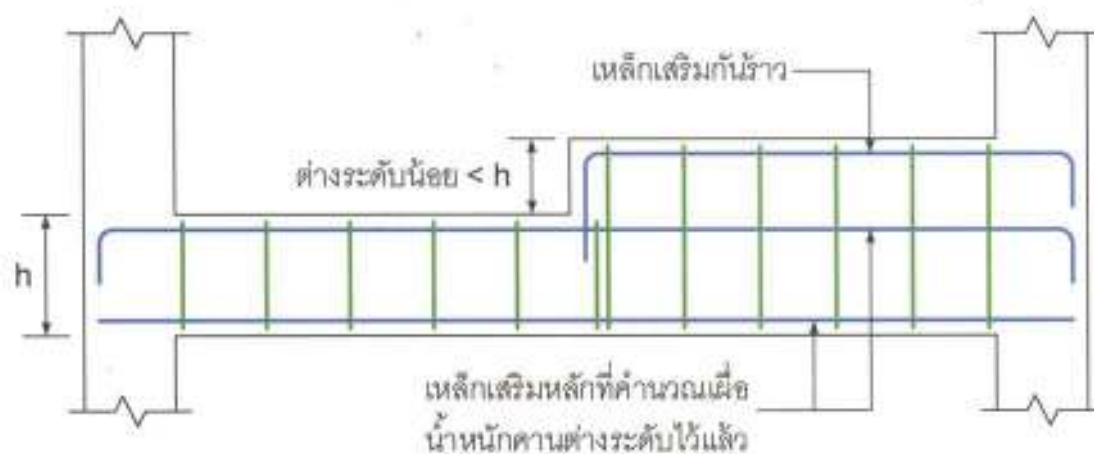


รูปที่ 2.40 การเสริมเหล็กในคานต่างระดับ



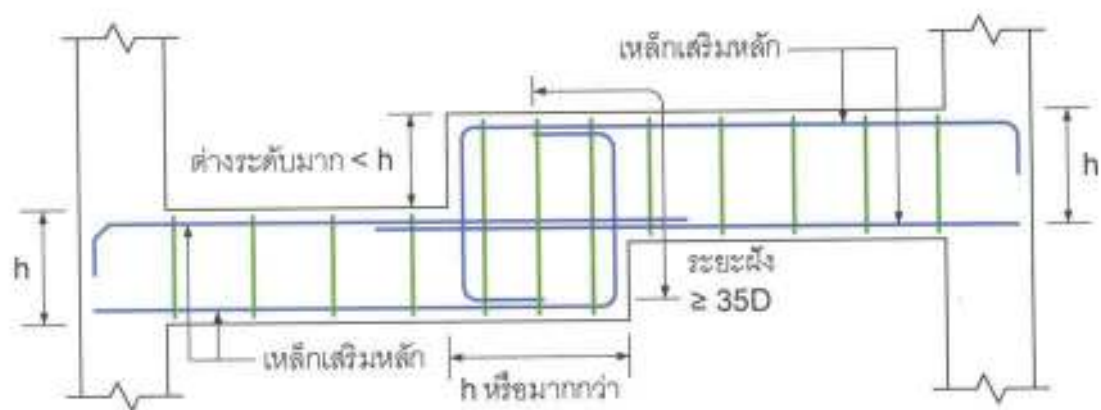
รูปที่ 2.41 การเสริมเหล็กในคานที่มีความลึกต่างกัน

สำหรับคานต่างระดับระหว่างช่วงความยาวจะมีรายละเอียดการเสริมเหล็กแตกต่างกันไปตามความสูงของระยะที่ต่างระดับดังแสดงในรูปที่ 2.42 เป็นการเสริมเหล็กในกรณีที่มีความต่างระดับน้อยเมื่อเทียบกับความลึกคาน h โดยจะเสริมเหล็กกันร้าวเพิ่มในคานส่วนที่ระดับสูงกว่า

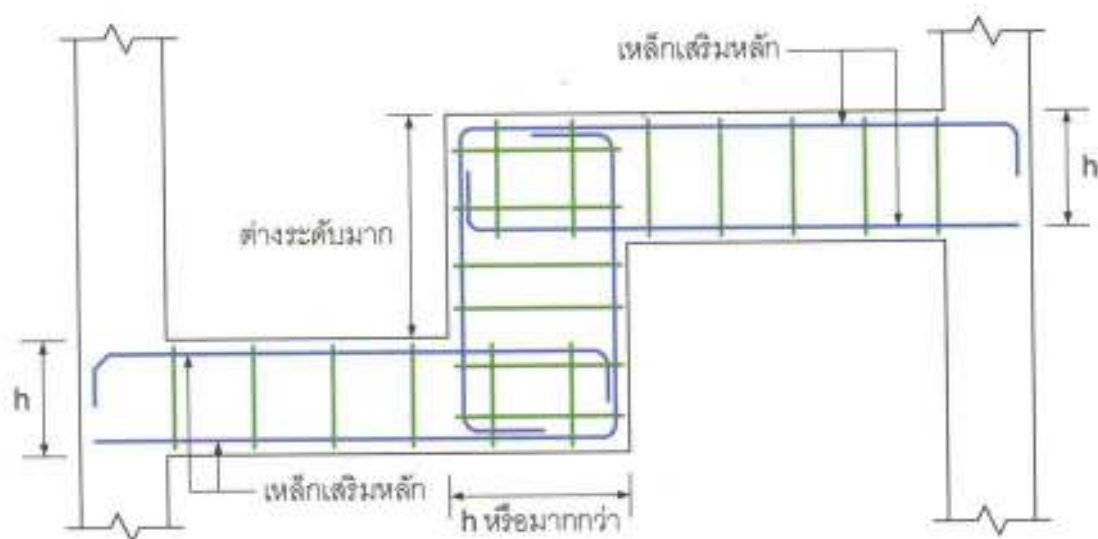


รูปที่ 2.42 การเสริมเหล็กในคานที่มีความต่างระดับน้อย

เมื่อความต่างระดับมีมากขึ้นแต่ยังไม่เกินความลึกคาน h ให้ทำการเสริมเหล็กดังในรูปที่ 2.43 โดยมีช่วงทับไม่น้อยกว่า h

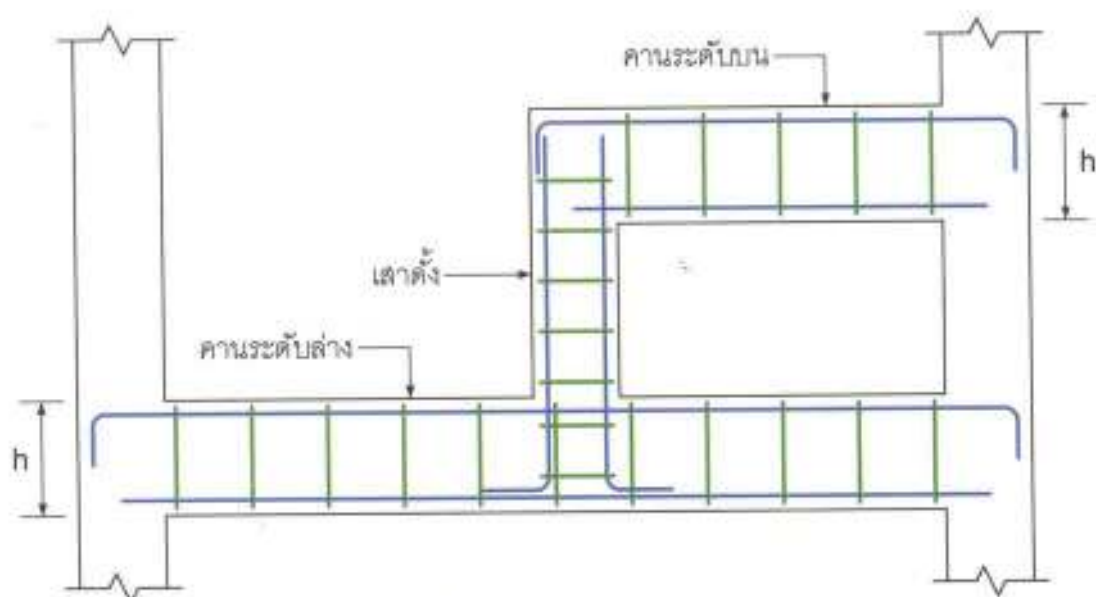


รูปที่ 2.43 การเสริมเหล็กในคานที่มีความต่างระดับมากแต่ยังไม่เกิน h



รูปที่ 2.44 การเสริมเหล็กในคานที่มีความต่างระดับมากเกิน h

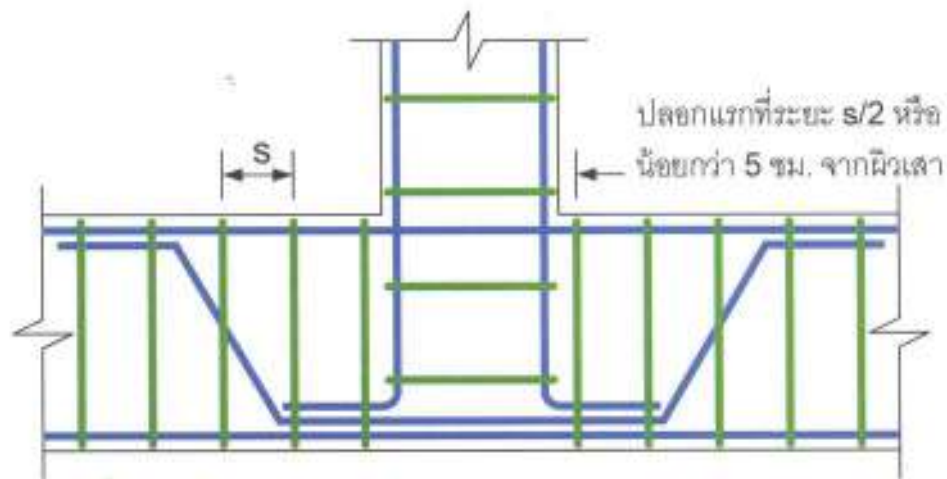
ในกรณีที่คานต่างระดับมากกว่า h อาจทำดังในรูปที่ 2.44 หรือทำเป็นคานสองชั้นโดยมีเสาดังรองรับคานระดับบนเพื่อถ่ายน้ำหนักลงมาที่คานระดับล่างดังในรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 การเสริมเหล็กในคานสองระดับ

คานรองรับเสา

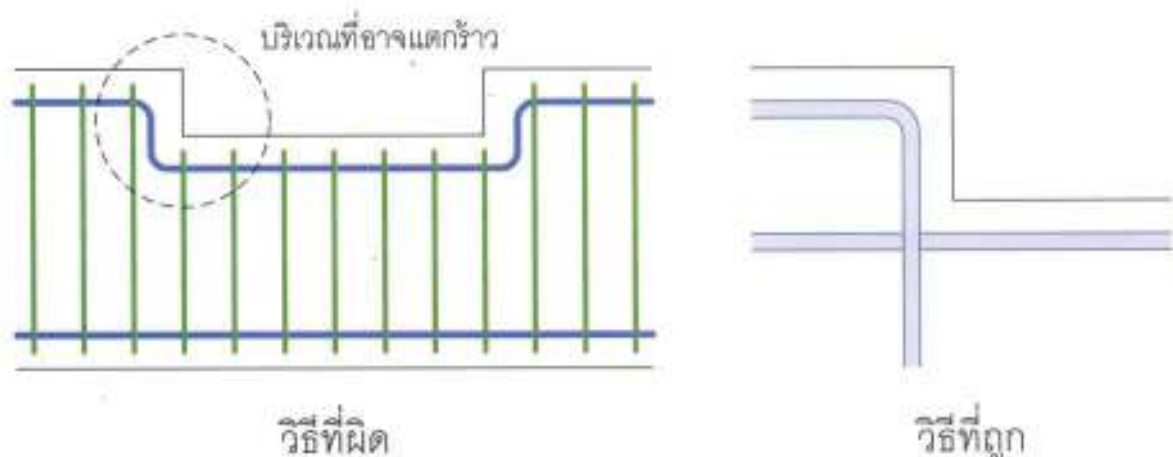
ให้อันเหล็กเสริมในเสา ลงมาจนถึงเหล็กเสริมล่างของคาน โดยจัดให้มีเหล็กปลอกอย่างหนาแน่น เพื่อให้มีการโอบอุ้มอย่างเพียงพอที่จะส่งผ่านแรงไปยังส่วนบนของคาน ถ้าหน้าทับบรรทุกมีขนาดใหญ่อาจใช้เหล็กรูปค้อมมาเข้ามาช่วยเสริมดังในรูป



รูปที่ 2.46 การเสริมเหล็กในคานรองรับเสา

การเสริมเหล็กคานเข่าร่อง

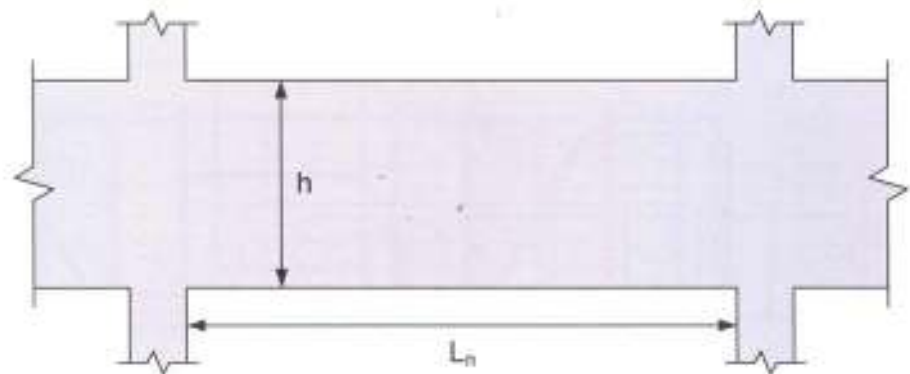
ในคานที่มีการเข่าร่องบริเวณกลางช่วงดังแสดงในรูปทางด้านซ้าย เหล็กเสริมจะถูกตัดไปตามขอบร่องซึ่งไม่เหมาะสม เนื่องจากต้องการให้เหล็กเสริมรับแรงทางตรง ซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกร้าวได้ ดังนั้นจึงควรแยกเหล็กเสริมเป็นคนละเส้นดังในรูปทางขวาของรูปที่ 2.47



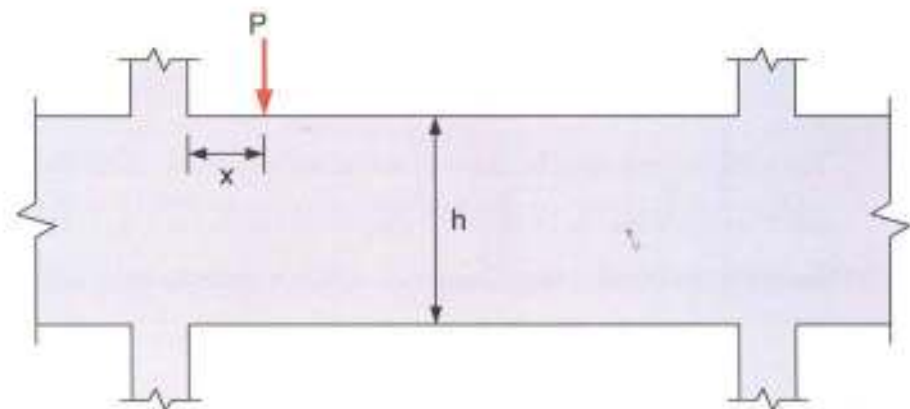
รูปที่ 2.47 การเสริมเหล็กในคานเข่าร่อง

คานลิก

องค์อาคารรับการตัดจะถูกออกแบบเป็นคานลิกเมื่อมีอัตราส่วนความลึกต่อความหนามากจนทำให้น้ำหนักบรรทุกถูกถ่ายเทผ่านลงสู่จุดรองรับผ่านแท่งรับแรงอัด ACI กำหนดว่าคานลิกคือองค์อาคารที่รับน้ำหนักบนหน้าหนึ่งและจุดรองรับอยู่ด้านตรงข้าม และ (ก) อัตราส่วนของระยะช่วงคาน L_n (วัดระหว่างผิวจุดรองรับ รูปที่ 2.48(ก)) ต่อความลึก h มีค่าน้อยกว่า 4 หรือ (ข) บริเวณที่รับน้ำหนักกระทำเป็นจุดภายในระยะสองเท่าความลึกคานวัดจากผิวจุดรองรับ (รูปที่ 2.48(ข))



(ก) คานลิกเมื่อ $L_n/h \leq 4$



(ข) คานลิกเมื่อ $x < 2h$

รูปที่ 2.48 เงื่อนไขการพิจารณาคานลิก

สำหรับคานลิกจะต้องพิจารณาการกระจายหน่วยแรงแบบไม่เป็นเส้นตรงและการโก่งเดาะด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 2.49 โดยในรูปที่ 2.49(ก) แสดงการกระจายหน่วยแรงอีลาสติกที่กึ่งกลางช่วงของคานลิก และรูปที่ 2.49(ข) แสดงเส้นทางหน่วยแรงหลักของคานลิกที่รับน้ำหนักเป็นจุดที่ทำให้กลางช่วงด้านบน เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง รอยร้าวตึงเอียงจะปรากฏขึ้นโดยมีทิศทางตั้งฉากกับหน่วยแรงดึงหลักดังในรูปที่ 2.49(ค)

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีทั้งเหล็กเสริมในแนวนอนและแนวตั้งเพื่อดำเนินทานหน่วยแรงจากน้ำหนักบรรทุก นอกจากนี้ยังต้องมีเหล็กเสริมรับแรงดึงจากการตัดในส่วนล่างหนึ่งในห้าของความลึกหน้า