บทที่ 1

บทนำ

ในสภาพปัจจุบันประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาในทุก ๆ ด้านตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 5 (พ.ศ.2525-2529) และฉบับที่ 6 (พ.ศ.2530-2534) อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีส่วนสำคัญยิ่งในการพัฒนาประเทศ ในระยะ 3-4 ปีที่ผ่านมาสิ่งก่อสร้างหลายแห่งมีการพังทลายก่อให้เกิดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินจำนวนมาก หน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่ควบคุมกิจการก่อสร้างจึงเข้มงวดมากยิ่งขึ้นเกี่ยวกับมาตรฐานในการก่อสร้าง เหล็กเส้นเป็นสิ่งที่สำคัญมากที่สุดในงานก่อสร้างที่มีผลต่อความแข็งแรงของสิ่งก่อสร้างและเป็นสิ่งแรกที่เจ้าหน้าที่ที่ควบคุมการก่อสร้างจะทำการตรวจสอบ เนื่องจากความแข็งแรงขึ้นอยู่กับขนาดของการประกอบโครงสร้างเสริมคอนกรีตขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นและการต่อเหล็กเส้นในการประกอบโครงสร้าง การต่อเหล็กเส้นซึ่งมีความยาวจำกัดในโครงสร้างเหล็กเพื่อเสริมคอนกรีตจึงมีความจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของรอยต่อด้วย ดังนั้นเหล็กเส้นที่มีมาตรฐานรับรองจากกระทรวงอุตสาหกรรมเท่านั้นจึงเป็นที่นิยมของวงการอุตสาหกรรมก่อสร้างเพราะเชื่อถือได้ในคุณภาพและเป็นการประกันว่าเหล็กเส้นจะมีคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน

ในงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไปการประกอบโครงเหล็กเสริมคอนกรีตมักจะใช้วิธีการผูกเหล็กเส้นด้วยลวดในบริเวณที่มีการต่อกันหรือขวางกันของเหล็กโครงสร้างซึ่งวิธีการดังกล่าวจะใช้ได้ในกรณีที่เป็นสิ่งก่อสร้างหรืออาคารขนาดเล็กซึ่งมีน้ำหนักไม่มากนัก การส่งผ่านแรงจากน้ำหนักของอาคารโดยอาศัยแรงเกาะยึดระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเส้นเพื่อส่งถ่ายแรงไปสู่ฐานรากอาจจะเป็นไปได้ แต่ในอาคารหรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่มีความสูงและความกว้างยาวมาก ๆ การต่อกันของเหล็กเส้นจำเป็นที่จะต้องทำให้รับแรงได้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเท่ากันตลอดจนกระทั่งถึงฐานราก ทำให้เห็นได้ชัดเจนว่าการต่อเหล็กเส้นด้วยการใช้ลวดผูกอาจไม่เพียงพอที่จะรับแรงเพื่อส่งถ่ายกันระหว่างเส้นต่อเส้นในโครงสร้างเสริมคอนกรีตของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ ดังนั้นการต่อเหล็กเส้นด้วยวิธีการเชื่อมจึงมีความสำคัญต่องานก่อสร้างขนาดใหญ่ โดยที่สิ่งก่อสร้างหรืออาคารขนาดใหญ่มีน้ำหนักมาก เหล็กเส้นที่ใช้จึงมีขนาดใหญ่และโดยมากจะเป็นเหล็กข้ออ้อย

เพราะเป็นเหล็กที่มีบั้งตลอดเส้น มีคุณสมบัติที่พิเศษกว่าเหล็กเส้นกลมคือรอยบั้งจะเพิ่มแรงเกาะยึดระหว่างผิวของเหล็กเส้นกับคอนกรีต ในด้านคุณสมบัติเชิงกลเหล็กข้ออ้อยมีความต้านแรงดึงสูงกว่าเหล็กเส้นกลมตาม มอก.24-2527 (ดังตารางที่ 2) ส่วนความต้านแรงดึงของเหล็กเส้นกลมตามมอก.20-2527 กำหนดไว้ว่าไม่น้อยกว่า 385 เมกาปาสกาล (ประมาณ 39 กิโลกรัมแรงต่อตารางมิลลิเมตร) และมีความต้านแรงดึงที่จุดครากไม่น้อยกว่า 235 เมกาปาสกาล (ประมาณ 24 กิโลกรัมแรงต่อตารางมิลลิเมตร) ความยืดไม่น้อยกว่าร้อยละ 21 จะเห็นได้ว่าในอาคารขนาดใหญ่คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเส้นกลมอาจไม่เพียงพอต่อการรับน้ำหนักของอาคาร ดังนั้นเหล็กข้ออ้อยจึงมีใช้มากในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ ด้วยเหตุนี้การวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะการต่อด้วยการเชื่อมต่อชนเหล็กข้ออ้อยเท่านั้น เหล็กข้ออ้อยที่ผลิตในประเทศไทยมี 3 ชั้นคุณภาพตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม มีสัญญลักษณ์ดังนี้ คือ SD 30, SD 40 และ SD 50 โดยมีส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกลตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

<u>ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมี</u> (มอก. 24-2527)

ชั้นคุณภาพ	ร้อยละโดยน้ำหนัก				
	คาร์บอน	แมงกานีส	ฟอสฟอรัส	กำมะถัน	คาร์บอน +แมงกานีส/6
SD 30	<0.28	ไม่ควบคุม	0.058	0.058	0.45
SD 40	ไม่ควบคุม	1.80	0.058	0.058	0.55
SD 50	ไม่ควบคุม	1.80	0.058	0.058	0.60

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเชิงกล (มอก.24 - 2527)

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึง เมกาปาสกาล (กก/มม^2)	ความต้านแรงดึงที่จุดคราก เมกาปาสกาล (กก / มม^2)	ความยืด ร้อยละ
SD 30	480 (49)	295 (30)	17
SD 40	560 (57)	390 (40)	15
SD 50	620 (63)	490 (50)	13

1.1 กรรมวิธีการผลิตเหล็กเส้น

เหล็กที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไปในงานทางวิศวกรรม แบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ตามมาตรฐานของส่วนผสมของธาตุที่ผสมอยู่ในเหล็ก โดยทั่ว ๆ ไปแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกันตามปริมาณของธาตุที่ผสมอยู่ ซึ่งธาตุหลักที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กคือ คาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กและสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้(Bain,1966)

1. เหล็กเหนียว (irons) เป็นเหล็กที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ เพราะปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ต่ำมากแทบจะไม่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเลย

2. เหล็กกล้า (steels) เป็นเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ในปริมาณระหว่าง 0.1 ถึง 1.5% และอาจจะมีได้สูงสุดถึง 2.0% และคาร์บอนจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กอย่างมาก

3. เหล็กหล่อ (cast irons) เป็นเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ในปริมาณระหว่าง 2.0 ถึง 4.5 % ซึ่งคาร์บอนนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้คุณสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน

เหล็กเส้น (Steel bar) คือเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตของโรงงานผลิตเหล็ก ซึ่งแบ่งโรงงานเป็นประเภทที่มีเตาหลอมและโรงงานที่ไม่มีเตาหลอม โรงงานที่มีเตาหลอมจะผลิต

เหล็กประเภทเหล็กเส้นกลม (Rolled steel bar) และเหล็กข้ออ้อย (Deform steel bar) ส่วนโรงงานที่ไม่มีเตาหลอมจะผลิตเหล็กประเภทเหล็กรีดซ้ำ (Rerolled steel bar) เหล็กที่ผลิตจากโรงงานที่มีเตาหลอมแบ่งออกเป็นชั้นคุณภาพต่าง ๆ คือ SR 24 เป็นชั้นคุณภาพของเหล็กเส้นกลม และ SD 30, SD 40 และ SD 50 เป็นชั้นคุณภาพของเหล็กข้ออ้อย ส่วนเหล็กรีดซ้ำจะมีชั้นคุณภาพเป็น SRR 24 เหล็กที่มีชั้นคุณภาพต่าง ๆ นี้จะมีคุณสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน เพราะมีส่วนประกอบทางเคมีต่างกัน

<u>เหล็กเส้นกลม</u> (Rolled steel bar) เป็นเหล็กที่ผลิตจากโรงงานที่มีเตาหลอมเป็นวิธีการผลิตที่สามารถควบคุมส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กได้ กรรมวิธีนี้การผลิตจะเริ่มต้นจากการนำเศษเหล็กที่ซื้อมาไปคัดวัสดุที่เจือปนต่าง ๆ ออกโดยการใช้แม่เหล็กดูดเศษเหล็กไปใส่ถังบรรจุ (Charging bucket) วัสดุอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เหล็กจะไม่ถูกดูดไปทำให้คุณภาพของน้ำเหล็กที่ได้บริสุทธิ์ขึ้น นอกจากนั้นยังมีการปรับปรุงส่วนประกอบทางเคมีโดยการเติมธาตุต่าง ๆ ลงไป เช่น C, Si, Mn เป็นต้น เพื่อทำให้ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กเส้นเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมของกระทรวงอุตสาหกรรม บริษัทที่ผลิตเหล็กเส้นจะมีแผนกควบคุมคุณภาพทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของธาตุที่ผสมอยู่ให้เป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อที่จะทำให้เหล็กเส้นที่ผลิตได้มีคุณสมบัติเชิงกลเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เช่นกัน ดังนั้นในขั้นต้นน้ำเหล็กจากเตาหลอมจะต้องมีปริมาณของธาตุตามมาตรฐานควบคุมก่อนที่จะหล่อออกเป็นแท่งเหล็ก จากนั้นน้ำเหล็กที่ได้คุณภาพดังกล่าวจะถูกเทใส่เบ้ารับน้ำเหล็กที่อุณหภูมิประมาณ 1,650 °C เพื่อนำไปหล่อเป็นแท่ง (Billet) ด้วยเครื่องหล่อเหล็กแท่งแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting Machine) หรือบางโรงงานก็จะเทน้ำเหล็กลงในแบบ (Mold) ซึ่งจะได้เป็นแท่งเหล็ก (Ingot) และแท่งเหล็กที่ได้จากการผลิตด้วยการเทน้ำเหล็กลงในแบบ (Mold) จะต้องถอดออกจากแบบได้เป็นแท่งเหล็ก (Ingot) เพื่อนำไปรีดต่อด้วยเครื่องรีดเหล็กเส้นต่อไป ด้วยวิธีการนำเอาแท่งเหล็กไม่ว่าจะเป็นชนิดที่ผลิตจากเครื่องหล่อแท่งเหล็ก (Billet) หรือผลิตจากการหล่อโดยใช้แบบ (Mold) ไปผ่านการอบด้วยเตาอบให้มีอุณหภูมิประมาณ 1,250 °C ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เหล็กที่อบมานี้สามารถรีดให้เป็นเหล็กเส้นได้ด้วยการลำเลียงเหล็กที่อบแล้วนี้ไปสู่แท่นรีดตั้งแต่ชุดแรกไปจนสำเร็จตามขนาดที่ต้องการ แท่นรีดแบ่งออกเป็น Roughing Mill, Intermediate Mill และ Finishing Mill ตามลำดับเพื่อให้ได้เหล็กเส้นตามขนาดที่ต้องการ หากขั้นตอนต่าง ๆ ในขบวนการผลิตดำเนินไปอย่างราบรื่น

ไม่ชัดช้อง เหล็กเส้นที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายย่อมจะได้คุณภาพตามมาตรฐานอุตสาหกรรมและตามที่ผู้ผลิตตั้งไว้รวมทั้งตามขีดความสามารถของเครื่องจักรของผู้ผลิตต่าง ๆ จะมีให้ได้ด้วย

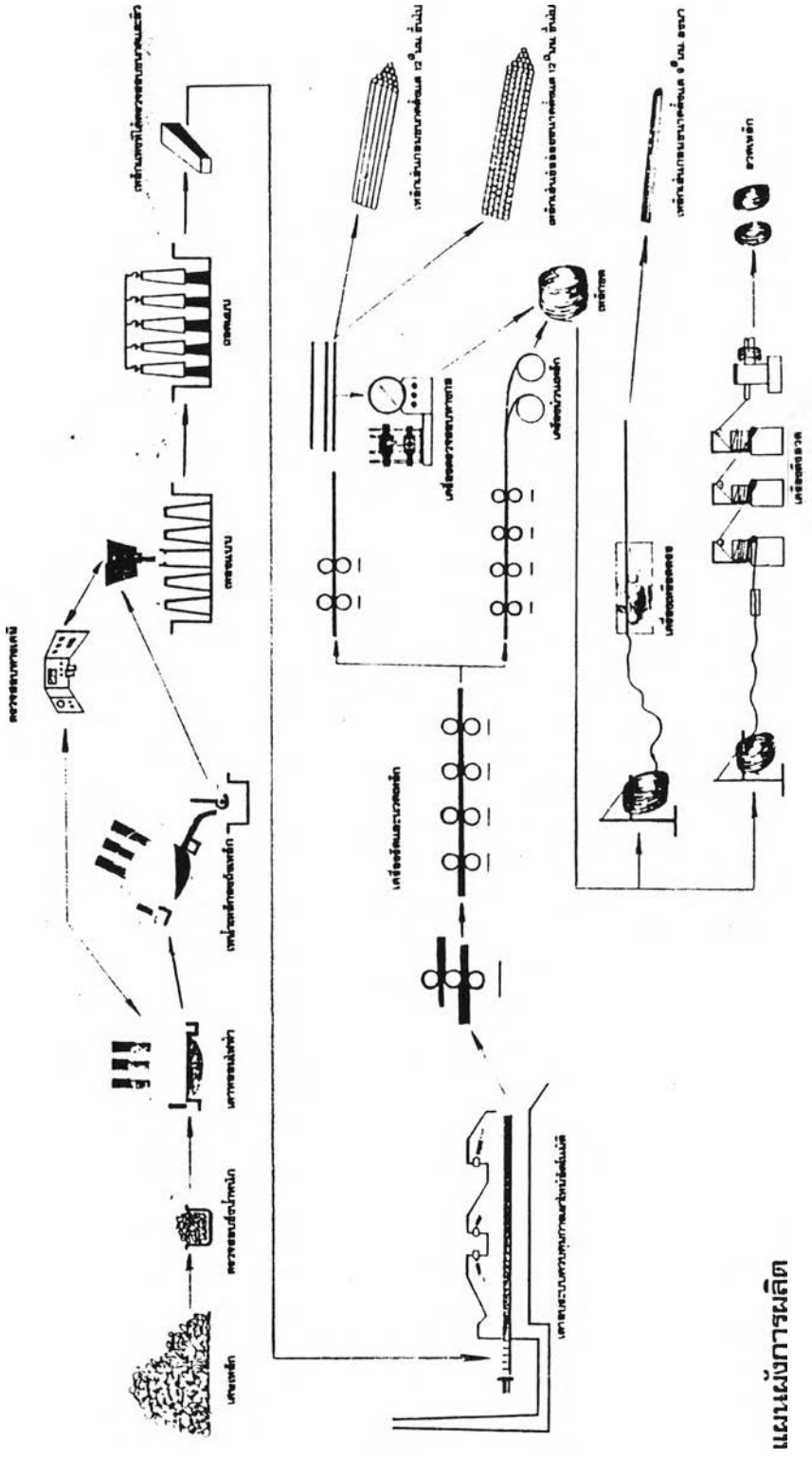
เหล็กข้ออ้อย (Deform bar) เป็นเหล็กเส้นที่มีขั้นตอนการผลิตเพิ่มจากกรรมวิธีการผลิตเหล็กเส้นกลม คือ หลังจากรีดเหล็กได้ผลผลิตเป็นเหล็กเส้นกลมแล้วเหล็กเส้นกลมนี้จะถูกส่งเข้าเครื่องทำบิ้งให้เป็นเหล็กข้ออ้อยซึ่งบิ้งเหล่านี้จะมีผลต่อการเพิ่มแรงเกาะยึดที่ผิวของเหล็กข้ออ้อย เหล็กข้ออ้อยจะแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพตามส่วนประกอบทางเคมี โดยมีสัญลักษณ์แสดงชั้นคุณภาพของเหล็กดังนี้คือ SD 30, SD 40 และ SD 50 ซึ่งเหล็กแต่ละชั้นคุณภาพมีคุณสมบัติเชิงกลตามตารางที่ 2

เหล็กรีดซ้ำ (Re-rolled steel) เป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติเชิงกลไม่แน่นอนเพราะโรงงานที่ผลิตเหล็กประเภทนี้จะไม่มีเตาหลอม วัตถุดิบที่ใช้จะเป็นพวกแผ่นเหล็กเรือ (Ship plate) หรือจากแท่งเหล็ก (Ingot) ที่มีคุณภาพไม่ได้ตามมาตรฐานจากโรงงานที่มีเตาหลอม โดยจะนำเอาวัตถุดิบเหล่านี้ไปเข้าเตาอบให้ได้อุณหภูมิประมาณ 1,250 °C จากนั้นนำเหล็กที่อบแล้วไปเข้าเครื่องรีดเหล็กเส้นซึ่งเป็นเครื่องรีดประเภทเดียวกันกับเครื่องรีดที่ใช้กันในโรงงานที่มีเตาหลอม เหล็กเส้นที่ได้จะมีคุณภาพเป็นไปตามคุณภาพของวัตถุดิบเนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตไม่ได้ทำการหลอมใหม่ ดังนั้นจึงทำให้มาตรฐานของเหล็กรีดซ้ำไม่แน่นอน

1.2 ความสำคัญของเหล็กเส้นต่องานก่อสร้าง

อุตสาหกรรมการก่อสร้างจะเจริญและพัฒนาไปพร้อม ๆ กับเศรษฐกิจของประเทศและสิ่งที่จะขาดเสียไม่ได้ในกิจการก่อสร้างคือเหล็กเส้นเพราะความแข็งแรงของสิ่งก่อสร้างมีผลมาจากเหล็กเส้น ตัวอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ จะประกอบไปด้วยเหล็กเส้นและคอนกรีตเป็นส่วนประกอบสำคัญ เหล็กเส้นจะทำหน้าที่รับแรงดึง ส่วนคอนกรีตจะรับแรงอัดและเนื่องจากในส่วนต่าง ๆ ของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างจะต้องรับทั้งแรงอัดและแรงดึง การเตรียมการเพื่อให้สามารถรับได้ทั้งแรงอัดและแรงดึงจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เหล็กเส้นเป็นโครงสร้างหลักในตัวอาคารต่าง ๆ เหล็กเส้นมีคุณสมบัติในการรับแรงดึงได้ดีจึงเป็นวัสดุที่สำคัญและมีบทบาทมากในงาน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนผังการผลิตเหล็กเส้น

ก่อสร้างที่แล้ว ๆ มาอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ มีการพังทลายลงมานั้น สาเหตุหนึ่งก็เนื่องมาจากการใช้เหล็กเส้นที่ไม่เหมาะสมในการรับแรงของสิ่งก่อสร้าง ในอาคารหรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่และมีความสูงมาก ๆ เหล็กเส้นที่ใช้ก็ยิ่งต้องมีขนาดใหญ่ตามไปด้วยเพื่อเป็นการประกันถึงความมั่นคงของสิ่งก่อสร้างรวมทั้งเพิ่มความปลอดภัยต่อสิ่งก่อสร้างและทรัพย์สินต่าง ๆ ดังนั้นเหล็กเส้นจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดที่ควรพิจารณาในการก่อสร้างต่าง ๆ

1.3 ปัญหาเกี่ยวกับการใช้เหล็กเส้นในประเทศไทย

เหล็กเส้นเป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถผลิตขึ้นใช้เองในประเทศไทย ปัญหาที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับการใช้เหล็กเส้นในการก่อสร้างต่าง ๆ ก็คือการเลือกใช้เหล็กเส้นที่มีมาตรฐานเพราะในโครงการต่าง ๆ ต้องการความมั่นใจในคุณภาพของเหล็กเส้นนอกเหนือจากการรับรองคุณภาพด้วยเครื่องหมายของกระทรวงอุตสาหกรรม ดังนั้นผู้รับเหมาจึงมีการทดสอบคุณภาพของเหล็กเส้นด้วยการทดสอบความต้านแรงดึงของเหล็กเส้นด้วยเครื่องทดสอบในห้องปฏิบัติการจากสถานที่ราชการและมีการออกใบรับรองยืนยันผลการทดสอบเพื่อให้ผู้รับเหมานำไปแสดงต่อเจ้าของโครงการหรือผู้ตรวจงาน ปัญหาก็คือจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนี้มากรวมทั้งเสียเวลาในการรอผลทดสอบ ยิ่งเป็นงานหรือโครงการใหญ่ ๆ การทดสอบก็จะต้องมีชิ้นตัวอย่างมากตามไปด้วย การต่อเหล็กเส้นในการประกอบโครงสร้างเสริมคอนกรีตเป็นจุดหนึ่งที่สำคัญมากซึ่งต้องพิจารณา เพราะอาคารหรือสิ่งก่อสร้างจะมีความแข็งแรงมากขึ้นหรือน้อยลงจะขึ้นอยู่กับรอยต่อต่าง ๆ ของเหล็กเส้น เนื่องจากอาคารหรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ต้องใช้เหล็กเส้นที่มีขนาดใหญ่โดยมากมักเป็นเหล็กข้ออ้อยซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ชั้นคุณภาพให้เลือกใช้นอกจากนั้นการต่อเหล็กเส้นขนาดที่โตกว่า 12.7 มม. จะต้องต่อด้วยวิธีการเชื่อม (Rippstein, 1970) ดังนั้น เหล็กเส้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างนอกจากจะมีมาตรฐานรับรองจากกระทรวงอุตสาหกรรมแล้วการนำไปใช้ประกอบเป็นโครงสร้างเสริมคอนกรีตโดยจะมีการต่อเหล็กเส้นในแบบต่าง ๆ ซึ่งความแข็งแรงของการต่อแต่ละแบบจะต้องมีข้อมูลหรือผลการทดลองที่แน่นอน เพื่อให้เหมาะสมกับน้ำหนักของอาคารที่ถ่ายทอดผ่านไปสู่ฐานราก ดังนั้น ปัญหาเกี่ยวกับการทดลองเพื่อรับประกันว่ามีความแข็งแรงเหมาะสมกับน้ำหนักของอาคารจะลดลง ถ้าหากมีข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับการทดลองที่เป็นมาตรฐานเพื่อที่จะนำไปใช้งานได้ทันที

1.4 วัตถุประสงค์และขอบเขตการทำวิจัย

ใน 3-4 ปีที่ผ่านมาสิ่งก่อสร้างหลายแห่งมีการพังทลายลงมาทำให้เกิดการสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินมากมาย จากการตรวจสอบพบว่าสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการใช้เหล็กเส้นไม่เหมาะสมหรือต่อเติมอาคารขึ้นไปอีกโดยไม่ได้คำนึงถึงโครงสร้างที่รับน้ำหนักอยู่ว่ารับได้หรือไม่ รวมทั้งการต่อและประกอบโครงสร้างเหล็กไม่ถูกวิธี ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จะกระทำเพื่อเพิ่มความปลอดภัยต่อสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ด้วยการวิจัยเพื่อหาข้อมูลของการต่อปลายเหล็กเส้นอย่างเหมาะสมและความแข็งแรงของรอยต่อแต่ละแบบของโครงสร้างเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้างอันจะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงต่อตัวอาคารหรือสิ่งก่อสร้างด้วย โดยเฉพาะในอาคารหรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่การต่อเหล็กเส้นในการประกอบเป็นโครงสร้างเสริมคอนกรีตเป็นสิ่งที่จำเป็นยิ่งเพราะความยาวของเหล็กเส้นมีขนาดจำกัด การต่อเหล็กเส้นเพื่อให้การส่งถ่ายน้ำหนักจากส่วนต่าง ๆ ไปสู่ฐานรากเป็นไปอย่างเหมาะสมและสม่ำเสมอการวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบวิธีการต่อชนแบบต่าง ๆ ด้วยการเชื่อมตามมาตรฐานของ CRSI โดย Rippstein,(1970) เหล็กเส้นที่ใช้ต่อชนจะเป็นเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 12.7 มม. เท่านั้น เนื่องจากอาคารที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ๆ เหล็กเส้นที่ใช้ก็จะมีขนาดใหญ่ตามไปด้วยจะไม่ใช้วิธีการต่อเกยเพราะจะทำให้เนื้อคอนกรีตในบริเวณรอยต่อน้อยลง การต่อเกยด้วยการเชื่อมทำให้ลักษณะการรับแรงของรอยต่อเกยเป็นการรับแรงเฉือนซึ่งจะทำให้ไม่เพียงพอต่อการรับแรง ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้สรุปได้ดังนี้

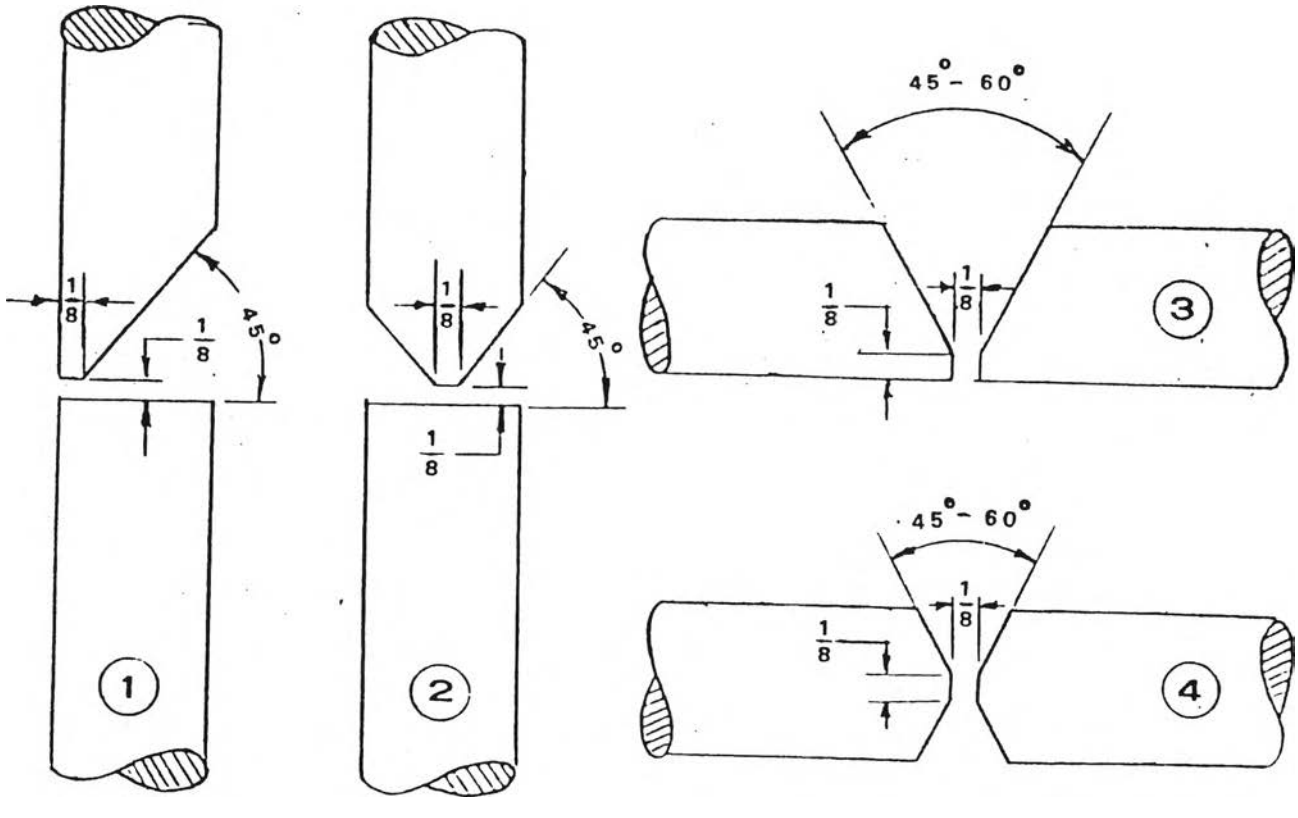
1. เพื่อศึกษาการทำนายปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กเส้นจากรูปถ่ายโครงสร้างจุลภาค
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลที่มีผลมาจากคาร์บอนที่ผสมอยู่และจากโครงสร้างจุลภาค
3. เพื่อศึกษาความต้านแรงดึงของเหล็กเส้นที่ต่อชนด้วยการเชื่อมแบบต่าง ๆ
4. เพื่อเสริมสร้างฐานข้อมูลที่สามารถทำนายความแข็งแรงของเหล็กเส้นที่เชื่อมต่อชนลักษณะต่าง ๆ ได้

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาความแข็งแรงของรอยต่อเหล็กข้ออ้อยที่ต่อชนด้วย

การเชื่อมซึ่งใช้เหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 12.7 มม. ขึ้นไปเท่านั้น การต่อจะกระทำตามมาตรฐาน CRSI โดย Rippstein,(1970) ซึ่งแนะนำว่าการต่อเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 12.7 มม. จะใช้วิธีการต่อชน โดยแบ่งออกเป็น 4 แบบด้วยกัน คือ

1. ต่อชนท่าตั้งบากงานด้านเดียว
2. ต่อชนท่าตั้งบากงานทั้งสองด้าน
3. ต่อชนท่าขนานนอนบากงานด้านเดียว
4. ต่อชนท่าขนานนอนบากงานทั้งสองด้าน



รูปที่ 1 แบบต่าง ๆ ของการต่อชนเหล็กเส้น

<u>การเตรียมชิ้นทดสอบ</u>

1. ทำหนังสือขอวัสดุทดลอง (เหล็กข้ออ้อย) จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นำหนังสือนี้ไปติดต่อขอวัสดุจากบริษัท A และ บริษัท E (ตามที่ระบุในเอกสารโครงการเสนอวิทยานิพนธ์) แต่เพื่อให้ง่ายต่อการเขียนวิทยานิพนธ์จะใช้เป็นบริษัท A และ B ตามลำดับ(B คือวัสดุจากบริษัท E เดิมนั่นเอง) เหตุที่เลือก 2 บริษัทนี้เพราะเป็นบริษัทที่มีเหล็กครบทุกชั้นคุณภาพซึ่งการทดลองจะกระทำตามแบบการต่อชนที่แนะนำโดย Rippstien, (1970) ในรูปที่ 1 จะมีการต่อ 4 แบบด้วยกัน แต่ละแบบจะใช้ชิ้นตัวอย่างจำนวน 8 ชิ้นด้วยกัน และกระทำกับเหล็กข้ออ้อยทุกชั้นคุณภาพ คือ SD 30, SD 40 และ SD 50 ดังนั้นจะมีชิ้นตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 192 ชิ้นตัวอย่างจากการต่อทุกชั้นคุณภาพและทุกๆแบบๆละ 8 ชิ้นจากทั้ง 2 บริษัท ดังผังข้อมูลการทดลอง (Data Layout) ในตารางที่ 3

2. เตรียมชิ้นงานทดสอบโดยโดยตัดชิ้นตัวอย่างและบากมุมตามแบบการต่อชนในรูปที่ 1 จนครบจำนวนทุกตัวอย่างตามผังข้อมูลการทดลองชิ้นทดสอบจะกำหนดรหัสและตอกไว้ที่ปลายชิ้นทดสอบ ตัวอย่างเช่น

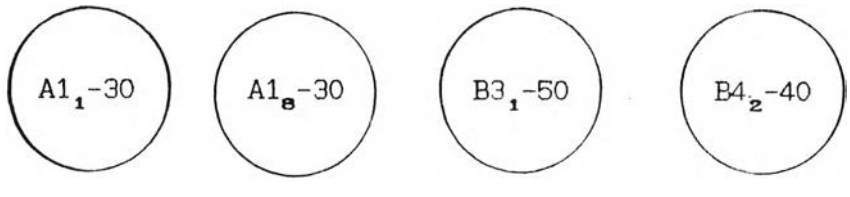
$A1_1$-30 = ชิ้นตัวอย่างของบริษัท A ต่อแบบที่ 1 ชิ้นที่ 1 เกรด SD 30

$A1_8$-30 = ชิ้นตัวอย่างของบริษัท A ต่อแบบที่ 1 ชิ้นที่ 8 เกรด SD 30

$B3_1$-50 = ชิ้นตัวอย่างของบริษัท B ต่อแบบที่ 3 ชิ้นที่ 1 เกรด SD 50

$B4_2$-40 = ชิ้นตัวอย่างของบริษัท B ต่อแบบที่ 4 ชิ้นที่ 2 เกรด SD 40

ฯลฯ



รูปที่ 2 ตัวอย่างการกำหนดรหัสชิ้นทดลอง

ตารางที่ 3 ผังข้อมูลการทดลอง (Data layout)

ลักษณะของรอยต่อ	ชั้นคุณภาพของเหล็กข้ออ้อย (Q)					
	SD 30 (G_1)		SD 40 (G_2)		SD 50 (G_3)	
	A	B	A	B	A	B
ต่อชนท่าตั้งบากงานด้านเดียว B1	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X
ต่อชนท่าตั้งบากงานทั้งสองด้าน B2	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X
ต่อชนท่าขนานนอนบากงานด้านเดียวB3	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X
ต่อชนท่าขนานนอนบากงานสองด้านB4	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X	X X X X X X X X

W = ลักษณะการต่อเหล็กเส้นด้วยการเชื่อม

B1= ต่อชนท่าตั้งบากงานด้านเดียว

B3= ต่อชนท่าขนานนอนบากงานด้านเดียว

G_1= SD 30

G_3= SD 50

Q = ชั้นคุณภาพของเหล็กข้ออ้อย

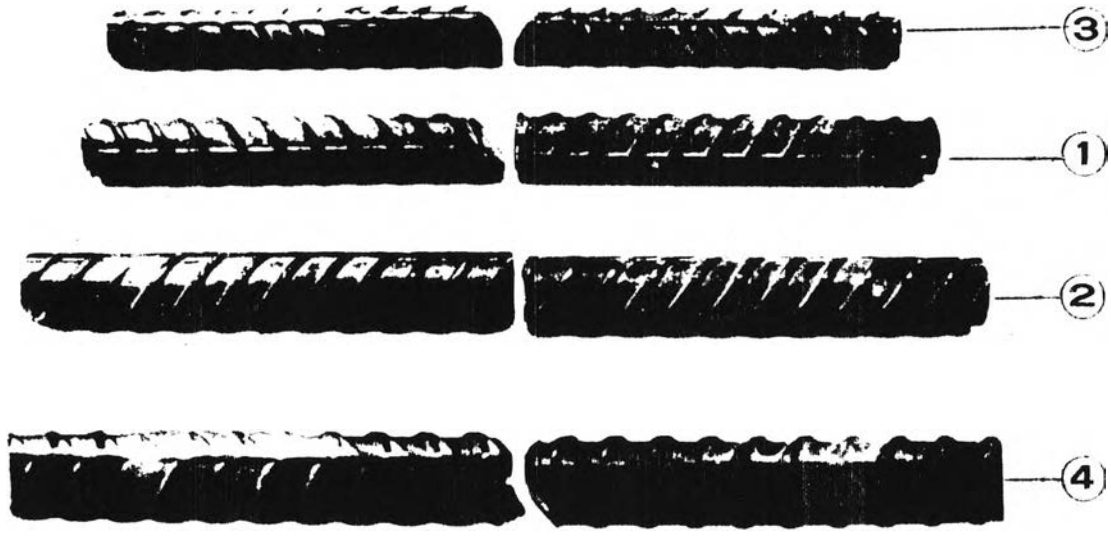
B2= ต่อชนท่าตั้งบากงานทั้งสองด้าน

B4= ต่อชนท่าขนานนอนบากงานทั้งสองด้าน

G_2= SD 40

X = ผลการทดสอบความต้านแรงดึง

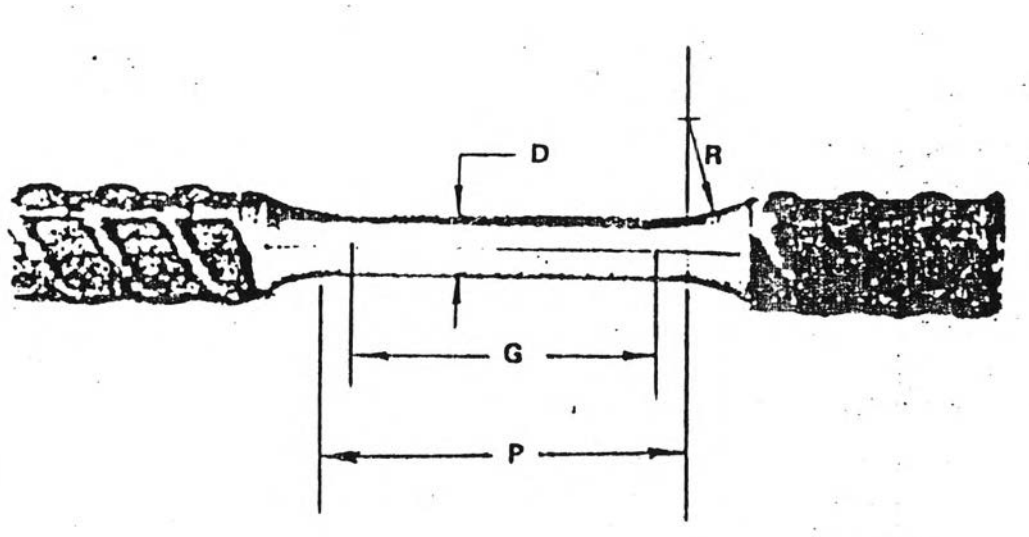
3. เมื่อเตรียมชิ้นงานเสร็จแล้วก็เตรียมยึดชิ้นงานแล้วเชื่อมตามท่าต่าง ๆ ที่ออกแบบไว้ตามมาตรฐานการต่อโครงสร้างเหล็ก (มาตรฐาน CRSI โดย Rippstein, 1970) ท่าเชื่อมจะต้องกระทำตามท่าของการต่อตามมาตรฐานซึ่งเสมือนการจำลองสถานการณ์จริงมาทดลองโดยใช้ช่างเชื่อมเพียงคนเดียว เพื่อให้ผลการทดลองเป็นผลของการต่อในแบบต่าง ๆ จริง ๆ ตามหัวข้อการวิจัย ชิ้นงานที่เชื่อมแสดงให้เห็นดังในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การต่อแบบต่างๆ เพื่อการทดลอง

4. หลังจากเชื่อมเสร็จแล้วชิ้นทดสอบจะต้องกลึงลดขนาดลงให้เป็นไปตามแบบของชิ้นทดสอบความต้านแรงดึงตามมาตรฐานการทดสอบความต้านแรงดึง (มอก. 24-2527) ซึ่งกำหนด

ไว้ว่าการทดสอบความต้านแรงดึงถ้าเป็นเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 16 มม. ลงมาให้ทดสอบโดยไม่ต้องกลึงชิ้นทดสอบให้เล็กลงส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 20 มม. ขึ้นไปอาจกลึงลดขนาดลงให้เหมาะสมที่จะใช้กับเครื่องทดสอบแรงดึงก็ได้ แต่ต้องไม่เล็กกว่า 16 มม. (เฉพาะเหล็กเส้นที่ไม่ได้เชื่อม) แต่เนื่องจากงานที่จะทดสอบนี้เป็นงานที่ผ่านการเชื่อม ดังนั้นจึงต้องทดสอบตามมาตรฐาน (JIS Z 3111-1970) ซึ่งกำหนดไว้ว่าให้กลึงลดขนาดลงให้ D = 12.5 มม. ระยะ G = 50 มม. ระยะ P = 60 มม.และ R = 15 มม. ดังในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชิ้นทดสอบความต้านแรงดึง

5. เมื่อกลึงชิ้นทดสอบความต้านแรงดึงเสร็จแล้วจะส่งชิ้นทดสอบไปทดสอบความต้านแรงดึงที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อนำผลการทดสอบมาสรุปและวิเคราะห์ต่อไป

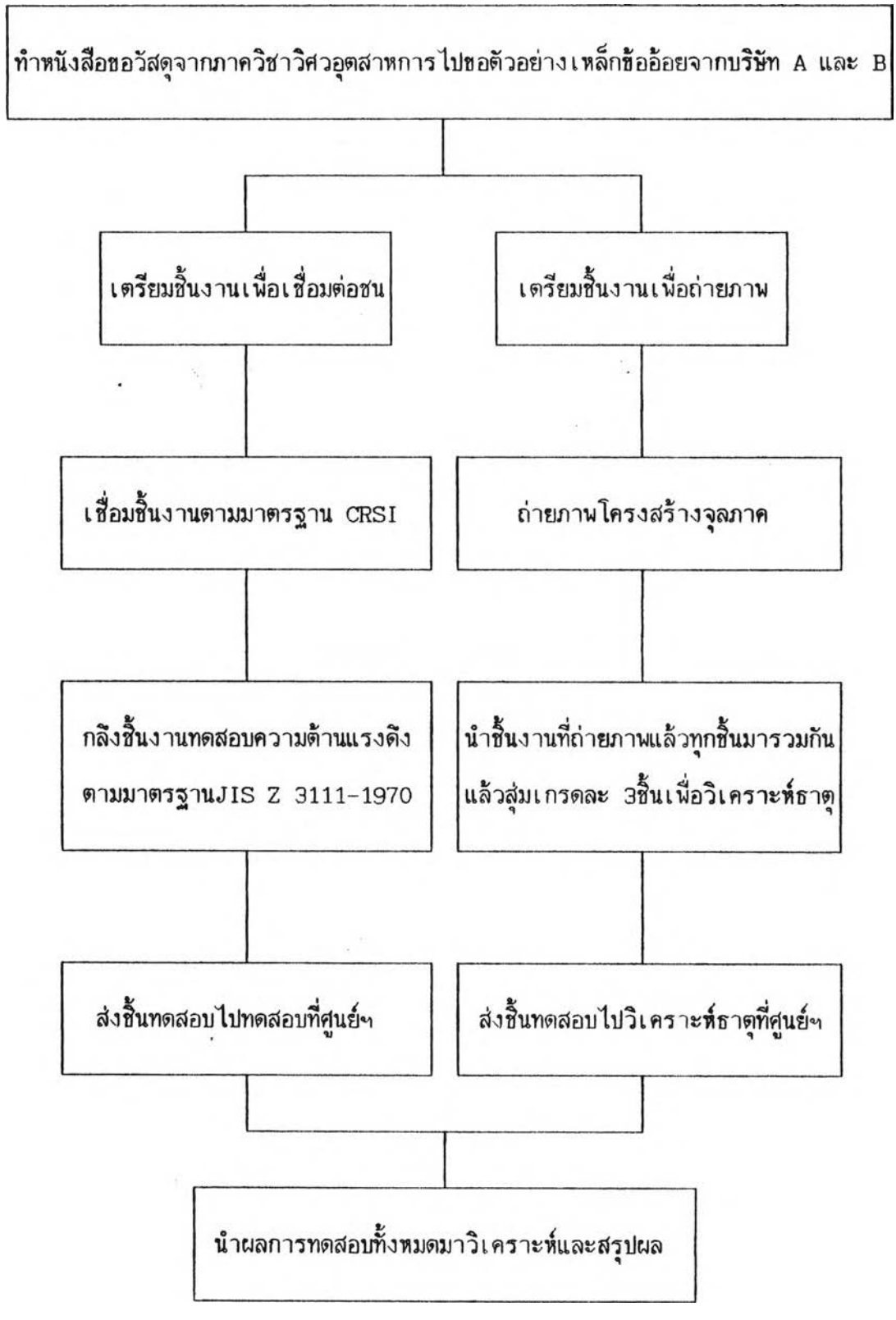
6. นอกจากนั้นเหล็กที่นำมาทดสอบแต่ละชั้นคุณภาพของแต่ละบริษัทจะนำมาตัดและขัดเพื่อถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาค (Micro Structure) โดยจะเตรียมชิ้นตัวอย่างชั้นคุณภาพละ 3 ชิ้น ดังนั้น 3 ชั้นคุณภาพจะมีชิ้นตัวอย่างรวม 9 ชิ้นต่อหนึ่งบริษัท รวมแล้ว 2 บริษัทจะมีชิ้นตัวอย่างทั้งสิ้น 18 ชิ้น จะถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคตัวอย่างละ 2 ภาพโดยกำหนดตำแหน่งที่จะถ่ายภาพ

ชิ้นตัวอย่างทุกชิ้นที่บริเวณศูนย์กลางของชิ้นตัวอย่างเพื่อหลีกเลี่ยงการลำเอียง (Bias) เมื่อได้ภาพถ่ายแล้วจะนำภาพถ่ายนั้น ๆ ไปคำนวณหาปริมาณคาร์บอน (%C) ด้วยวิธีการ Quantitative Stereology โดย Underwood E.,(1970) และวิธีการของ Rolfe,(1937) หลังจากถ่ายภาพแล้วจะนำชิ้นตัวอย่างมารวมกันตามกลุ่มของชิ้นคุณภาพแล้วสุ่มตัวอย่างเอาชิ้นคุณภาพละ 3 ชิ้น เพื่อส่งไปทดสอบหาปริมาณคาร์บอน (%C) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อนำค่า %C มาเปรียบเทียบกับ %C ที่ได้จากการคำนวณว่าจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Significance)หรือไม่

7. นำผลการทดสอบมาสรุปเพื่อเปรียบเทียบจุดเด่นของแต่ละแบบพร้อมข้อเสนอแนะต่อผู้ที่จะนำผลไปใช้ เพื่อให้ผู้ใช้แน่ใจได้ว่ามีความปลอดภัยแน่นอน

1.6 <u>ทฤษฎีและแนวความคิดที่จะนำมาใช้ในการวิจัย</u>

Rolfe,(1937) ได้แนะนำว่าคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กจะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะส่วนผสมที่มีอยู่และธาตุที่ผสมอยู่ซึ่งธาตุที่สำคัญที่สุดคือ คาร์บอน และยังได้กล่าวสรุปต่อไปว่าเหล็กคาร์บอนต่ำจะมีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรท์ (Ferrite) และเพียร์ไลท์(Pearlite) โดยที่สัดส่วนของโครงสร้างเหล่านี้จะทำให้คุณสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงไป ธาตุที่อยู่ในเหล็กโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุคาร์บอนจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดสัดส่วนของโครงสร้างแตกต่างกัน เราสามารถหาสัดส่วนของโครงสร้างเหล่านี้ได้จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคโดยคำนวณได้จากโครงสร้างซีเมนต์ไตท์ (Cementite) เพราะในโครงสร้างซีเมนต์ไตท์จะมีคาร์บอนผสมอยู่จำนวนคงที่เท่ากับ 6.67 % ส่วนโครงสร้างที่เห็นเป็นเพียร์ไลท์ (Pearlite) จากการทดสอบโครงสร้างจุลภาคจะพบว่ามีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.80 % ในโครงสร้างเพียร์ไลท์จะประกอบด้วยซีเมนไตท์ 1 ส่วน และเฟอร์ไรท์อีก 7 ส่วนโดยน้ำหนักและมีน้ำหนักของโมเลกุล (Molecular weight)เท่ากับ 180 ขณะที่น้ำหนักของอะตอม (Atomic weight) ของคาร์บอนที่รวมตัวอยู่เท่ากับ 12 ดังนั้นปริมาณของซีเมนไตท์ในเหล็กทั่ว ๆ ไปจะมีปริมาณที่แน่นอนคือ 15 เท่าของคาร์บอนที่ผสมอยู่ และ Rolfe ได้แนะนำสมการที่ใช้ในการทำนายคุณสมบัติเชิงกลที่มีผลมาจากปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ดังต่อไปนี้



ขั้นตอนของการทดลอง

014369

TS =(((93*%C)+41)/2)*1.55 ----------(1ก)

เมื่อ TS =ความต้านแรงดึง, กก/มม^2

% C =เปอร์เซนต์คาร์บอนที่ผสมอยู่, เปอร์เซนต์

และ E =43.7 - (46.5*%C) ----------(1ข)

เมื่อ E =เปอร์เซนต์การยืดตัว, เปอร์เซนต์

Irvine และ Pickering, (1963) แนะนำว่าการรวมตัวกันของธาตุต่าง ๆ มีผลกระทบอย่างมากต่อความเค้นที่จุดคราก (Yield Stress) เช่น ซิลิกอนมีผลกระทบต่อความเหนียว ดีบุกจะทำให้การทนทานต่อความร้อนสูงลดลง (Hot Shortness) ฟอสฟอรัสมีผลกระทบต่อความยืดหยุ่นและความเหนียว สำหรับคาร์ไบด์ (Carbide) และไนไตรด์ (Nitride) อาจทำให้ความเค้นที่จุดครากลดลงถ้าคาร์บอนและไนโตรเจนแยกตัวออกจากสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ลดลงประมาณ 5,000 ปอนด์/นิ้ว^2 หรือ 3.46 กก./มม^2 ต่อการแยกตัวออก 0.01% การเพิ่มกำลังของวัสดุ (strength) จะเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากการเพิ่มจำนวนเกรนของเพียร์ไลท์ที่พอเพียง Irvine และ Pickering ได้เสนอสมการที่ใช้ในการทำนายคุณสมบัติเชิงกลดังนี้

TS = (42,800+4,000(%Mn)+12,000(%Si)+5,670(%Pearlite)
+ 224($d^{-0.5}$)) * 0.00069 , กก/มม^2 ---------(2ก)

YS = (15,000+4,730(%Mn)+12,200(%Si)+550($d^{-0.5}$))
* 0.00069 , กก/มม^2 ---------(2ข)

RA = 78.5+5.39(Mn)-0.53(%Pearlite)
- 8.399(d) , เปอร์เซนต์ ---------(2ค)

เมื่อ TS = ความต้านแรงดึง ,กก/มม^2

YS = ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ,กก/มม^2

RA = เปอร์เซนต์พื้นที่หน้าตัดลดลง ,เปอร์เซนต์

และสัดส่วนของ Mn และ Si เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก และเพียร์ไลท์ (Pearlite)เป็นร้อยละโดยปริมาตร ส่วน d เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนเพียร์ไลท์มีหน่วยเป็นนิ้ว

Brick, Gordon และ Phillips,(1965) ได้กล่าวถึงความแข็งแรงของเหล็กคาร์บอนว่า มีผลมาจากโครงสร้าง โดยที่เหล็กชนิดนี้จะมีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรท์ - เพียร์ไลท์ (Ferrite - Pearlite) ประกอบกัน ขนาดของเกรนเฟอร์ไรท์และปริมาณของเกรนเพียร์ไลท์จะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กชนิดนี้ และได้เสนอสมการที่ใช้ในการทำนายความต้านแรงดึงดังนี้

$$TS = ((41{,}000(\%Ferrite) + 115{,}000(\%Pearlite)/100) * 0.00069 \quad , \text{กก/มม}^2 \qquad \text{--------(3ก)}$$

$$\text{หรือ} = (41{,}000(1-(\%C/0.8) + 115{,}000(\%C/0.8) * 0.00069 \quad , \text{กก/มม}^2 \qquad \text{--------(3ข)}$$

เมื่อ TS = ความต้านแรงดึง , กก/มม^2

จากสูตรที่แนะนำโดยนักวิจัยทั้ง 3 กลุ่มที่กล่าวนั้นจากการเปรียบเทียบผลคำนวณกับการทดลองจริง ๆ พบว่าวิธีการของ Rolfe เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการทำนายความต้านแรงดึง ฉะนั้นในการวิจัยนี้จะใช้วิธีการของ Rolfe,(1937) ทำนายความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบในการวิจัยครั้งนี้

Bain และ Paxton,(1966)แนะนำว่าโครงสร้างของเหล็กคาร์บอนต่ำที่มีการเย็นตัวลงอย่างสม่ำเสมอจะมีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรท์-เพียร์ไลท์(Ferrite - Pearlite) คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กชนิดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเกรนเฟอร์ไรท์ (Ferrite) และ ปริมาณของเกรนเพียร์ไลท์ (Pearlite) ที่มีอยู่ในโครงสร้างเป็นประการสำคัญ นอกจากนี้ปริมาณของเกรนเพียร์ไลท์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต้านแรงดึง (Tensile Strength) และความแข็งแรงที่จุดคราก (Yield Strength) กล่าวโดยสรุปคือความแข็งแรงของเหล็กชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับ

ก. สารละลายของแข็ง (Solid Solution)

ข. ขนาดของเกรนเฟอร์ไรท์

ค. ปริมาณของเกรนเพียร์ไลท์

ง. ระยะห่างระหว่างผลึกของเกรนเพียร์ไลท์

จ. การเกิดผลึกของเกรนเฟอร์ไรท์

คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กที่มีโครงสร้างประเภทนี้นอกจากจะมีอิทธิพลมาจากขนาดของเกรนเฟอร์ไรท์และปริมาณของเกรนเพียร์ไลท์แล้วยังขึ้นอยู่กับการเย็นตัวของเหล็กและอิทธิพลอีกส่วนหนึ่งที่มีส่วนในการทำให้เกิดคุณสมบัติเชิงกลเหล่านี้ คือธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนผสมอยู่ในเนื้อเหล็ก

1.7 <u>ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย</u>

1. เป็นการเรียนรู้เทคโนโลยีการวิจัยในห้องทดลองอย่างเป็นระบบ

2. เป็นการเพิ่มความปลอดภัยต่อสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ และผู้ที่อยู่อาศัย

3. เป็นการเพิ่มความแข็งแรงในรอยต่อของโครงเหล็กเสริมคอนกรีตซึ่งจะทำให้เพิ่มความแข็งแรงของอาคารต่างๆ

4. เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบและเป็นแนวทางต่อผู้ออกแบบโครงสร้างเสริมคอนกรีต

5. เป็นแนวทางของผู้รับเหมาที่จะใช้เป็นข้อมูลในการก่อสร้างทำให้ไม่ต้องวิตกกังวลในความแข็งแรงของสิ่งก่อสร้างที่ตนรับผิดชอบ

6. เป็นแนวทางต่อผู้ตรวจงานก่อสร้างสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วในคุณภาพของรอยต่อ