



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานการวิจัย

เรื่อง

ผลกระทบของเหล็กเสริมไม่ได้มาตรฐานที่มีต่อพฤติกรรมและ
กำลังขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงดัด

**THE EFFECT OF NON-STANDARD REBARS ON THE BEHAVIOR
AND STRENGTH OF FLEXURAL CONCRETE MEMBERS**

ดร. ฉัตร สุจินดา

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2547

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยศรีปทุมสำหรับทุนในการทำรายงานการวิจัยในครั้งนี้ และ
ขอบคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษาทุกคนที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ และ
ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. สุวิมล สัจจาณิษฐ์ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ช่วยตรวจสอบและชี้แนวทางในการทำ
วิจัยฉบับนี้ และแนวทางในการต่อยอดสำหรับงานวิจัยในอนาคต และขอขอบคุณ ผศ. ดร. สรรค์
สยามภักดิ์ แห่งห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโครงสร้าง สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียที่สละเวลา
ช่วยเหลือ และให้แนะนำเกี่ยวกับการทดสอบต่าง ๆ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้อีกด้วย

ผู้วิจัย

เมษายน 2550

หัวข้อวิจัย : ผลกระทบของเหล็กเสริมไม่ได้มาตรฐานที่มีต่อพฤติกรรมและกำลังขององค์
อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงดัด

ผู้วิจัย : ดร. ฉัตร สุจินดา

หน่วยงาน : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2550

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันตลาดวัสดุก่อสร้างไทย มีเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ไม่ได้มาตรฐานตาม มอก. 20-2543 หรือ 24-2548 ขายในเชิงพาณิชย์อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเหล็กเส้นเหล่านี้ ยังคงนิยมนำไปใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างขนาดเล็กเช่นบ้านพักอาศัย หรืออาคารขนาดเล็ก ที่เจ้าของโครงการไม่มีความรู้หรือไม่เห็นความสำคัญ แต่การใช้เหล็กที่ไม่ได้มาตรฐานอาจมีผลเสียในเชิงวิศวกรรมได้

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของเหล็กเสริมไม่ได้มาตรฐานที่มีต่อพฤติกรรม และกำลังขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ในเชิงปริมาณ โดยการเก็บตัวอย่างเหล็กเส้น จากสถานที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัย จำนวน 100 แห่งในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อหาคุณสมบัติทางกลที่สำคัญและมีผลกระทบต่อกำลังการรับแรงขององค์อาคาร จากนั้นได้ใช้เหล็กเส้นที่สุ่มซื้อจากร้านวัสดุก่อสร้าง ทั้งที่ได้มาตรฐาน และไม่ได้มาตรฐาน มาเสริมในชิ้นส่วนตัวอย่างคาน และพื้นทางเดียวที่จัดเตรียมในห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบหาลำลังการรับแรงดัด

จากการศึกษาเก็บตัวอย่างเหล็กเส้น พบว่าตัวอย่างเหล็กเส้นส่วนใหญ่ ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 20-2543 หรือ 24-2548 ทั้งด้านน้ำหนัก ขนาด และกำลังจากการทดสอบการรับแรงดัดของคาน 2 ตัวอย่างและพื้น 4 ตัวอย่าง พบว่าคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น DB12 ที่ได้มาตรฐานมีกำลังรับโมเมนต์ดัดเป็น 198% ของค่าที่คำนวณได้จากสูตรที่ใช้ในการออกแบบ ส่วนคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น DB12 ที่ไม่ได้มาตรฐานมีกำลังรับโมเมนต์ดัดเป็น 118% ของค่าที่คำนวณได้ จากการทดสอบแผ่นพื้นที่เสริมด้วยเหล็กเส้นกลม กำลังการรับโมเมนต์ดัดของพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 ที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานเป็นสัดส่วน 100% และ 77% ของค่าที่คำนวณได้ตามลำดับ ในขณะที่กำลังการรับโมเมนต์ดัดของพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB9 ที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานเป็นสัดส่วน 121% และ 73% ของค่าที่คำนวณได้ตามลำดับ

ข้อมูลดังกล่าวอาจนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก
สำหรับประเทศไทยต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต, เหล็กไม่ได้มาตรฐาน, การทดสอบการรับแรงค้ำ

Research Title : The Effect of Non-standard Rebars on the Behavior and Strength of Flexural Concrete Members

Name of Researcher : Dr. Chatr Suchinda

Name of Institute : Faculty of Engineering, Sripatum University

Year of Publication : B.E. 2550

ABSTRACT

Now a days, a large portion of reinforcing bars that do not meet the requirement of the TIS 20-2543 nor 24-2548 standards are available in Thai construction market. These reinforcing steel bars are widely used in small projects such as residential or small buildings which the owners have no knowledge or do not realize its importance.

This research aims to study the effect of non-standard rebars on the behavior and strength of structure. The reinforcing bar samples were collected from 100 residential construction sites in Bangkok metropolitan area and its vicinity. The samples were tested for mechanical properties which affected the strength of the structural members. The tested members including two beams and four slabs reinforced with standard and non-standard bars were constructed and tested in the laboratory to investigated their flexural strength.

It was found that most of the collected samples were not meet the requirement of TIS 20-2543 nor 24-2548 standards. From the laboratory tests, the beam reinforced with the standard DB12 rebars yielded 198% of calculated bending moment using the design formula while the one reinforced with the non-standard DB12 rebars could carry 118% of the calculated bending moment. From the tests of four one-way slab specimens, the one-way slabs reinforced with the standard and non-standard RB6 rebars, the test results indicated the have the bending capacities of 100% and 77% of the calculated design value respectively. The one-way slabs reinforced with the standard and non-standard RB9 rebars yielded the bending capacities of 121% and 73% of the calculated design value respectively. This statistical data could be benefit to Thai reinforced concrete design standards in the future.

Keywords : Reinforcing steel bars, Non-standard bars, Flexural strength test

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 คำถามการวิจัย	3
1.4 สมมุติฐานการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย	4
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย	5
2.2 ทฤษฎีที่รองรับ หรือกรอบความคิดทางทฤษฎี	6
2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.4 สรุป	9
3 ระเบียบวิธีการวิจัย	10
3.1 รูปแบบการวิจัย หรือแบบแผนการวิจัย	10
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	10
3.3 เครื่องมือการวิจัย	11
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	15
3.5 การรวบรวมข้อมูล	19
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	20
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	21
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางกลของตัวอย่างเหล็กเสริม	21
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบกำลังและพฤติกรรมการรับ แรงดัดของคานและพื้นทางเดียว	32

บทที่	หน้า
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้การทดสอบแบบ Pull-out เพื่อหาแรง ยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม	42
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	47
5.2 สรุปผลการวิจัย	47
5.3 ข้อเสนอแนะ	48
 บรรณานุกรม	 49
 ภาคผนวก	 53
ภาคผนวก ก คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่าง	54
ภาคผนวก ข รายการคำนวณกำลังรับแรงค้ำของชิ้นส่วนตัวอย่าง.....	94
 อภิธานศัพท์	 97
 ประวัติย่อผู้วิจัย	 98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ชิ้นส่วนของโครงสร้างที่นำมาทดสอบ..... 13
4.1	ร้อยละของจำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์มวลต่อความยาวเฉลี่ยของ มอก. ต่อจำนวน ตัวอย่างทั้งหมด..... 23
4.2	ร้อยละของจำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์หน่วยแรงดึงที่จุดครากของ มอก. ต่อจำนวน ตัวอย่างทั้งหมด 28
4.3	อัตราส่วนของค่าเฉลี่ยต่อค่าที่ระบุ และสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน ของมวลต่อ ความยาว แรงดึงที่จุดคราก หน่วยแรงดึงที่จุดคราก 28
4.4	ทดสอบข้อสมมุติฐานสำหรับเกณฑ์มวลต่อความยาว..... 29
4.5	ทดสอบข้อสมมุติฐานสำหรับเกณฑ์หน่วยแรงดึงที่จุดคราก..... 29
4.6	เกณฑ์ความสูงของบั้งที่กำหนดไว้ใน มอก. 24-2548 (สำนักงานมาตรฐาน อุตสาหกรรมไทย, 2548) 31
4.7	ร้อยละของจำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ความสูงของบั้งที่กำหนดไว้ใน มอก. 24-2548 (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย, 2548) 31
4.8	คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในชิ้นส่วนตัวอย่างคานและพื้นทางเดียวที่ทดสอบ..... 32
4.9	ผลการทดสอบการรับแรงค้ำของคานและพื้นตัวอย่าง..... 33
4.10	การทดสอบแบบ Pullout เหล็ก DB 12 (SD-30) ได้มาตรฐาน..... 42
4.11	การทดสอบแบบ Pullout เหล็ก DB 12 (SD-30) ไม่ได้มาตรฐาน..... 43
4.12	ขนาดบั้งเฉลี่ยของเหล็กเส้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแบบ Pullout..... 44
ก.1	คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 56
ก.2	คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 ที่ไม่ทราบมวลต่อความยาว 64
ก.3	คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9 68
ก.4	คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9 ที่ไม่ทราบมวลต่อความยาว 76
ก.5	คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 77
ก.6	คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 ที่ไม่ทราบมวลต่อความยาว 85
ก.7	คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB16 87

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบขนาดระหว่างเหล็กเสริมที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน RB6 RB9 DB12 และ DB16	2
2.1 การกระจายของความน่าจะเป็นของฟังก์ชันของผลการทำนาย g	7
3.1 รายละเอียดของคานตัวอย่างที่ใช้เหล็กเสริม DB12	12
3.2 หน้าตัดของพื้นทางเดี่ยวดตัวอย่างที่ใช้เสริมตามขนาด RB6 และ RB9	13
3.3 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของเหล็กเสริม	14
3.4 โมเดลคอนกรีตที่ใช้	14
3.5 รายละเอียดการทดสอบสำหรับคานตัวอย่าง	16
3.6 รายละเอียดการทดสอบสำหรับพื้นทางเดี่ยวดตัวอย่าง	17
3.7 รายละเอียดของชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแบบ Pullout	18
3.8 การเตรียมชิ้นเหล็กเส้นตัวอย่างที่จะนำไปฝังในคอนกรีตสำหรับการทดสอบแบบ Pullout	19
3.9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแบบ Pullout	19
4.1 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนของมวลของเหล็กเสริมตัวอย่างเมื่อเทียบกับที่ระบุตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB6	21
4.2 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนมวลที่วัดได้ต่อมวลที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB9	22
4.3 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนมวลที่วัดได้ต่อมวลที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB12	22
4.4 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนมวลที่วัดได้ต่อมวลที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB16	23
4.5 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB6	24
4.6 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB9	24
4.7 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB12	25

ภาพประกอบที่	หน้า
4.8 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB16	25
4.9 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนหน่วยแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB6	26
4.10 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนหน่วยแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB9	26
4.11 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนหน่วยแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐานของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB12	27
4.12 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนหน่วยแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐานของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB16	27
4.13 แผนภูมิแท่งความถี่ของขนาดของบั้ง ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB12	30
4.14 แผนภูมิแท่งความถี่ของขนาดของบั้ง ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB16	30
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการ โกงตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 ที่ได้มาตรฐาน	36
4.16 ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น DB12 ที่ได้มาตรฐาน.....	36
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการ โกงตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 ที่ไม่ได้มาตรฐาน	37
4.18 ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น DB12 ที่ไม่ได้มาตรฐาน	38
4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการ โกงตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของพื้นทางเดียวตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก RB6 ที่ได้มาตรฐาน	39
4.20 ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 ที่ได้มาตรฐาน.....	40
4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการ โกงตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของพื้นทางเดียวตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก RB6 ที่ไม่ได้มาตรฐาน.....	41

ภาพประกอบที่	หน้า
4.22 ลักษณะการแตกของชั้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 ที่ไม่ได้มาตรฐาน.....	42
4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการ โกงตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของพื้นทางเดียวตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก RB9 (SR-24) ที่ได้มาตรฐาน.....	43
4.24 ลักษณะการแตกของชั้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB9 (SR-24) ที่ได้มาตรฐาน.....	44
4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการ โกงตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของพื้นทางเดียวตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก RB9 (SR-24) ที่ไม่ได้มาตรฐาน.....	45
4.26 ลักษณะการแตกของชั้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB9 (SR-24) ที่ไม่ได้มาตรฐาน.....	46
4.27 ลักษณะการพังของชั้นตัวอย่างทดสอบแบบ Pullout.....	46

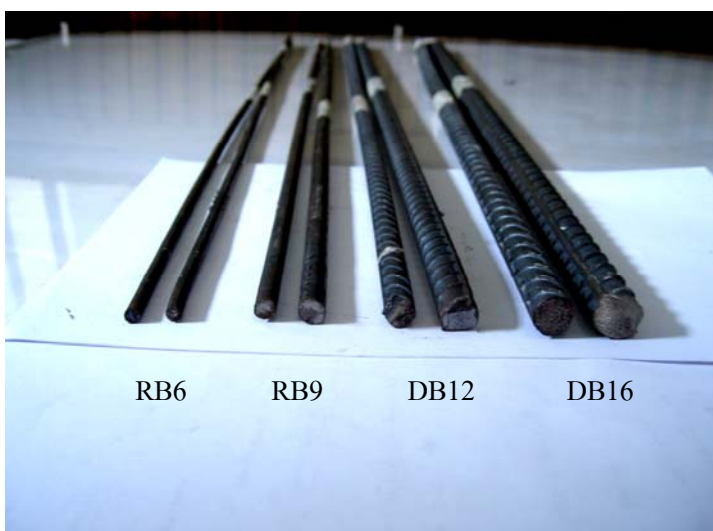
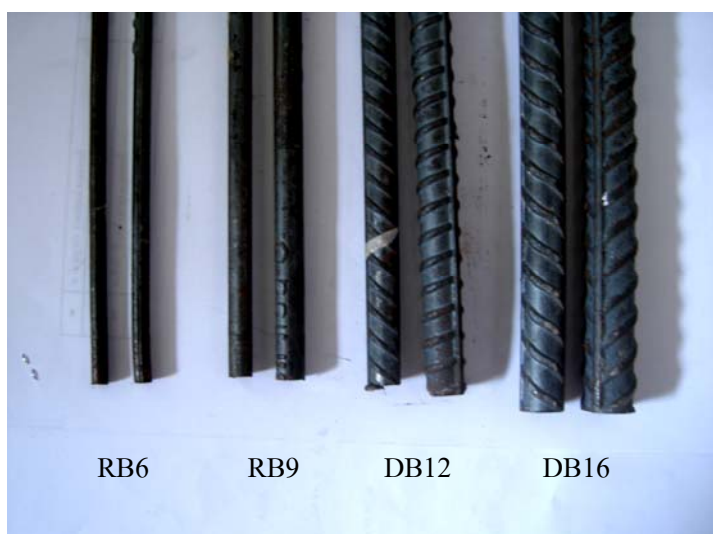
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันตลาดวัสดุก่อสร้างไทยมีเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตอยู่จำนวนหนึ่งที่ไม่ได้มาตรฐานตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย(สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย, 2543 : 2548) ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวผลิตออกมาในเชิงการค้า เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้รับเหมาที่ต้องการจะลดต้นทุน และเป็นแรงจูงใจให้ผู้รับเหมาบางรายเลือกเหล็กที่ไม่ได้มาตรฐานมาใช้ ในงานก่อสร้างโครงการขนาดเล็ก เช่นบ้านพักอาศัยและอาคารขนาดเล็ก ที่เจ้าของงานเองหรือผู้ควบคุมงานอาจไม่มีความรู้เพียงพอหรือไม่ได้ตระหนักถึงผลกระทบที่จะตามมา และปล่อยให้ผู้รับเหมาใช้เหล็กเส้นดังกล่าวในโครงการหรือบ้านพักอาศัยของตน เหล็กเส้นที่ไม่ได้มาตรฐานเหล่านี้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าเหล็กเส้นที่ได้มาตรฐานโดยทั่วไป โดยการลดปริมาณเนื้อเหล็กลงดังแสดงในภาพประกอบ 1.1 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการใช้เหล็กเสริมไม่ได้มาตรฐาน จะมีผลโดยตรงทั้งต่อพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตซึ่งขึ้นโดยตรงกับขนาด นอกจากนี้ผู้ผลิตรายย่อยอาจไม่มีการควบคุมปริมาณส่วนผสมของโลหะที่เจือปนอยู่ในเนื้อเหล็ก และไม่มีการควบคุมกระบวนการผลิตที่ทำให้เหล็กมีหน่วยแรงที่จุดครากไม่ได้ตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งจะมีผลทำให้เหล็กเสริมดังกล่าวมีกำลังการรับแรงที่ไม่เพียงพอ หรืออาจมีพฤติกรรมการวิบัติที่เปลี่ยนไปจากที่ผู้ออกแบบกำหนด และอาจทำให้ระดับความปลอดภัยของโครงสร้างดังกล่าวต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

นอกจากนี้ในกรณีของเหล็กเส้นข้ออ้อย ที่มีขนาดของบั้งไม่เป็นไปตามมาตรฐาน อาจมีขนาดเล็กเกินไป จนทำให้แรงยึดเหนี่ยวเชิงกลระหว่างคอนกรีตและเหล็กไม่เพียงพอตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งอาจทำให้เกิดการวิบัติอันไม่พึงประสงค์ขึ้นได้ ผลกระทบต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ไม่ได้ถูกพิจารณารวมอยู่ในตัวแปรของสูตรคำนวณที่ใช้ในข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบ ปัจจุบัน (ACI Committee 318, 2005) ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กไม่ได้มาตรฐานให้ผิดพลาดไปจากความเป็นจริง สำหรับมาตรฐานการออกแบบในประเทศไทยหรือ วสท. 1008-38 (คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา ประจำปี 2537-2538, 2538) ได้คัดลอกใช้สูตรในการคำนวณมาตรฐาน ACI318 โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนแต่อย่างใด



ภาพประกอบ 1.1 เปรียบเทียบขนาดระหว่างเหล็กเสริมที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน RB6
RB9 DB12 และ DB16

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกล ที่เกี่ยวข้อง ของเหล็กเส้นสำหรับใช้เสริมในโครงสร้างคอนกรีต ทั้งชนิดที่ได้มาตรฐานกับไม่ได้มาตรฐานที่ผลิตออกมาใช้ในเชิงพาณิชย์โดยอิงถึงมาตรฐาน มอก. 20-2532 (สำหรับเหล็กเส้นกลม) และ มอก. 24-2548 (สำหรับเหล็กเส้นข้ออ้อย) (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย, 2543 : 2548) สำหรับเหล็กเส้นขนาดต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันในโครงการขนาดเล็ก โดยศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างเหล็กเส้นที่สุ่มตัวอย่างจากสถานที่ก่อสร้างในเขต กทม. และปริมณฑล และทดสอบชิ้นส่วนคานและพื้นตัวอย่างจริงเพื่อ

เปรียบเทียบ ผลการศึกษาจะให้ข้อมูลที่เป็นจริงซึ่งอาจเป็นการโยชน์ในการปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบสำหรับประเทศไทย ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาข้อมูลการกระจายทางสถิติของคุณสมบัติเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ที่ใช้จริงในเขต กทม. และปริมณฑล สำหรับโครงสร้างบ้านพักอาศัยที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพของวัสดุที่ใช้ ข้อมูลนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อเลือกตัวคูณลดกำลัง (Strength reduction factor) สำหรับมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับประเทศไทยต่อไปในอนาคต
2. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการใช้เหล็กเสริมไม่ได้มาตรฐาน ที่มีต่อความสามารถรับแรงดัดในพื้นทางเดียวและคานคอนกรีต

1.3 คำถามการวิจัย

1. มีการแพร่กระจายของการใช้เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ไม่ได้มาตรฐานอยู่จริงหรือไม่ในโครงสร้างขนาดเล็กในเขต กทม. และปริมณฑล ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติ (การกระจาย) ของเหล็กเส้นที่ใช้เป็นเท่าใด
2. หากมีการทดสอบเปรียบเทียบโดยนำเหล็กเส้นที่ได้มาตรฐานและไม่มาตรฐานมาเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างเช่น คานและพื้นทางเดียว จะมีผลต่อกำลังการรับแรงดัดของชิ้นส่วนในปริมาณเท่าใด

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

1. H_0 : ประชากรเหล็กเสริมทั้งหมดในเขต กทม. และปริมณฑล ทั้งหมดที่มีคุณสมบัติทางกล อันได้แก่ มวลต่อความยาว และ หน่วยแรงดึงที่จุดคราก ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 20-2532 (สำหรับเหล็กเส้นกลม) และ มอก. 24-2548 (สำหรับเหล็กเส้นข้ออ้อย)
 H_1 : ประชากรเหล็กเสริมทั้งหมดในเขต กทม. และปริมณฑล เฉพาะบางส่วนที่มีคุณสมบัติทางกล อันได้แก่ มวลต่อความยาว และ หน่วยแรงดึงที่จุดคราก ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 20-2532 (สำหรับเหล็กเส้นกลม) และ มอก. 24-2548 (สำหรับเหล็กเส้นข้ออ้อย)

2. องค์อาคาร โครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กเส้นที่ได้มาตรฐานและไม่มาตรฐาน มีกำลังการรับแรงค้ำ ไม่แตกต่างกัน

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะเหล็กเสริมเหล็ก RB6 RB9 DB12 และ DB16 ซึ่งเป็นขนาดที่นิยมใช้ใน โครงการขนาดเล็ก
2. ทำการศึกษาการกระจายของการใช้เหล็กเสริมไม่ได้มาตรฐานในโครงการขนาดเล็กที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพของวัสดุที่ใช้ (ผู้ประกอบการไม่ได้การเก็บตัวอย่างวัสดุไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ) เฉพาะในเขต กทม. และปริมณฑล
3. งานวิจัยนี้จะศึกษา ผลกระทบของการใช้เหล็กเสริมที่ได้มาตรฐาน โดยการเปรียบเทียบกำลังการรับแรงค้ำในคานและพื้นทางเดียวที่ใช้เหล็กเสริมที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานจำนวนจำกัดโดยการทดสอบแบบทำลาย (Destructive test)

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย

การออกแบบโครงสร้างเพื่อให้เกิดความปลอดภัยนั้น ผู้ออกแบบจะต้องออกแบบให้ทุก ๆ ส่วนของโครงสร้างสามารถรับแรงไม่น้อยกว่าแรงที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ที่คาดหวัง

สำหรับการออกแบบด้วยวิธีกำลัง (Strength design method) นั้น เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในความปลอดภัยของตัวโครงสร้าง ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดส่วนเผื่อไว้ เพื่อรองรับถึงความแปรผันที่จะอาจเกิดขึ้นในโครงสร้างนั้น ๆ ความแปรผันดังกล่าวอาจแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ (Nowak and Collins, 2000)

- 1) ความแปรผันของความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างจริง อันอาจเกิดได้จาก
 - ก) ความแปรผันเนื่องของความแข็งแรงของวัสดุ (เช่นคอนกรีตและเหล็กเสริม) ที่ใช้ก่อสร้าง
 - ข) ความผิดเพี้ยนของขนาดที่สร้างจริง (เช่นความกว้าง ความลึก และตำแหน่งและการวางของเหล็กเสริม) เมื่อเทียบกับแบบก่อสร้าง
 - ค) ผลกระทบของการตั้งข้อสมมุติฐานและการประมาณค่าที่ใช้ในสูตรคำนวณสำหรับการออกแบบ
- 2) ความแปรผันของน้ำหนักบรรทุก ซึ่งน้ำหนักบรรทุกต่างประเภทกันอาจมีความแปรผันที่แตกต่างกัน

ดังนั้นข้อกำหนดของการออกแบบ (Design code) ด้วยวิธีกำลังจึงได้กำหนดให้มีส่วนเผื่อสำหรับความแปรผันทั้งสองนี้แยกออกอย่างเด่นชัดดังแสดงไว้ในสมการที่ 2.1

$$R_n \geq \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n}{\phi} \quad (2.1)$$

เมื่อ R_n คือความสามารถในการรับแรง และ $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ คือแรงภายในของหน้าตัดในชิ้นส่วน โครงสร้างที่พิจารณาซึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักบรรทุกประเภทที่ 1, 2, 3, ..., n ตามลำดับ

ค่า $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ คือส่วนเพื่อสำหรับความแปรผันของน้ำหนักบรรทุก ส่วนค่า ϕ คือตัวคูณลดกำลัง (Strength reduction factor) ซึ่งใช้เป็นส่วนเพื่อสำหรับความแปรผันของความสามารถในการรับแรงของโครงสร้าง

สำหรับการออกแบบหน้าตัดของชิ้นส่วน โครงสร้างเมื่อพิจารณาถึงแรงดัดภายในที่เกิดจากน้ำหนักคงที่ (Dead load) และน้ำหนักจร (Live load) สมการที่ 2.1 สามารถเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$M_n \geq \frac{\alpha_D M_D + \alpha_L M_L}{\phi_M} \quad (2.2)$$

เมื่อ M_n คือความสามารถในการรับดัดแรงปกติ (Nominal moment resistance) ซึ่งคำว่า “ปกติ” (Nominal) นี้หมายถึงค่าที่คำนวณได้จากสูตร โดยสมมุติว่าชิ้นส่วน โครงสร้างนั้น ๆ สร้างได้สมบูรณ์ตามแบบก่อสร้างทุกประการ โดยไม่มีความแปรผันหรือความผิดพลาดใด ๆ เลย และถือว่าสูตรที่ใช้ในการออกแบบไม่มีความผิดพลาด ส่วน M_D และ M_L คือแรงดัดซึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักคงที่และน้ำหนักจรตามลำดับ ค่า ϕ_M คือตัวคูณลดกำลังสำหรับแรงดัดซึ่งต่อไปนี้จะละตัวอักษรห้อย M ไว้ในฐานที่เข้าใจและใช้กันเหลือเพียงสัญลักษณ์ ϕ เท่านั้น ค่า α_D และ α_L คือสัมประสิทธิ์ของน้ำหนัก (Load factor) คงที่และจรตามลำดับ

2.2 ทฤษฎีที่รองรับ หรือกรอบความคิดทางทฤษฎี

เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในความปลอดภัยสำหรับการออกแบบโครงสร้าง ค่าของตัวคูณลดกำลัง ที่ใช้จะต้องถูกเลือกให้เหมาะสมตามเกณฑ์

$$M^{pred} = \phi M^{th} \quad (2.3)$$

เมื่อ M^{pred} (Predicted) คือค่าความสามารถในการรับแรงดัดจากการทำนาย ส่วน M^{th} (Theory) คือค่าความสามารถในการรับแรงดัดที่คำนวณได้ตามสูตรจากทฤษฎีการออกแบบ (Melchers, 1999)

ขั้นตอนในการเลือกค่า ϕ ที่เหมาะสมนั้น จะกำหนดฟังก์ชันของผลการทำนาย (Performance Function) g ดังนี้

$$g = M^{\text{exp}} - M^{\text{pred}} = M^{\text{exp}} - \phi M^{\text{th}} \quad (2.4)$$

เมื่อ M^{exp} (Experiment) คือความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดที่อาจจะเกิดขึ้นในแต่ละหน้าตัดของโครงสร้างจริง ซึ่งได้มีผู้เสนอให้ใช้เกณฑ์การเลือกค่า ϕ ที่ทำให้ $g > 0$ โดยที่มีความน่าจะเป็นของความสำเร็จ p_s (Success) (โอกาสที่จะได้ค่า $g > 0$) มีค่ามากพอ

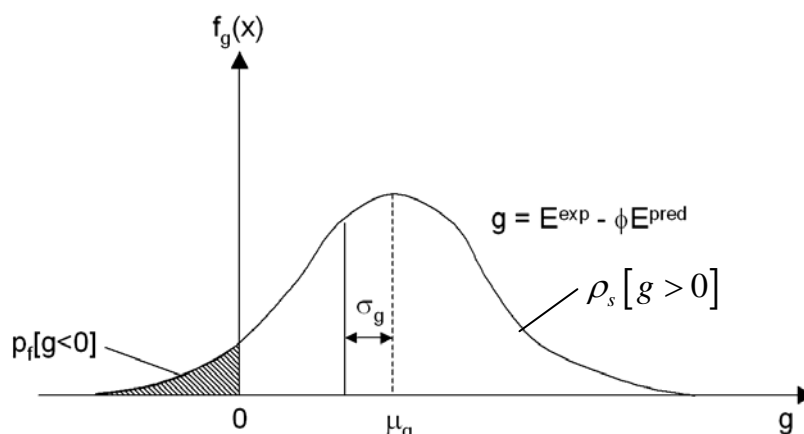
$$p_s = 1 - \Phi(-\beta) \quad (2.5)$$

เมื่อ $\Phi(-\beta)$ ฟังก์ชันการกระจายสะสม (Cumulative distribution function) ซึ่งขึ้นอยู่กับ g และ β ซึ่งเป็นดัชนีของความเชื่อมั่น (Reliability index)

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} \quad (2.6)$$

ค่าของ μ_g และ σ_g คือค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของกลุ่มตัวแปร g ตามลำดับ

สมการ (2.4) สามารถเขียนได้เชิงรูปภาพดังภาพประกอบ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 การกระจายของความน่าจะเป็นของฟังก์ชันของผลการทำนาย g (Vose, 2000)

ในภาพที่ 2.1 พื้นที่แรงงาคือความน่าจะเป็นซึ่งโครงสร้างจริงจะวิบัติ (Fail), p_f ข้อกำหนดของ $g > 0$ ถ้าการกระจายของกลุ่มตัวแปร g เป็นแบบปกติ (Normal distribution) ค่า p_f จะสัมพันธ์กับค่า β

2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีต มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กเช่นในประเทศสหรัฐอเมริกา ACI318-63 (ACI Committee 318, 1963) เป็นวิธีหน่วยแรงใช้งาน โดยอาศัยหลักการของการจำกัดค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน (Working load) ไม่ให้เกินกว่าค่าหน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้ (Allowable stress) ซึ่งหน่วยแรงใช้งานที่ยอมให้นี้ได้จากการพิจารณาหน่วยแรงที่ทำให้วัสดุวิบัติ (ทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริม) มาหารด้วยอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of safety) แต่การออกแบบวิธีนี้ไม่สามารถทำนายถึงความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดหรือที่เรียกว่ากำลังประลัยของโครงสร้างได้ ดังนั้นวิธีหน่วยแรงใช้งานจึงแค่เป็นแนวทางสำหรับออกแบบโครงสร้างให้ “ปลอดภัย” เท่านั้น ขณะเดียวกัน Mattock และคณะ (1961) ได้เสนอทฤษฎีใหม่ในการออกแบบโครงสร้าง ซึ่งสามารถทำนายความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างสูงสุดหรือประลัยได้ อีกทั้งยังได้มีศาสตร์แขนงใหม่เกิดขึ้นคือ ความเชื่อมั่นของโครงสร้าง (Nowak and Collins, 2000 และ Collins and Nowak, 2000) ซึ่งประเมินความเชื่อมั่นของโครงสร้าง (Structural reliability) จากข้อมูลทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นจริง และคุณภาพการก่อสร้าง Ellingwood และคณะ (1980) ได้ทำการศึกษาและเสนอค่าดัชนีความเชื่อมั่น (Reliability index) ของโครงสร้างสำหรับกรณีต่าง ๆ ซึ่งต่อมา ACI318-71 ได้ประยุกต์วิธีที่ Mattock และคณะ (1961) เสนอ และใช้ดัชนีความเชื่อมั่นที่กำหนดโดย Ellingwood และคณะ (1980) มาเป็นตัวกำหนด แฟกเตอร์ของน้ำหนักบรรทุก (Load Factor) และตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction factor) และเรียกวิธีออกแบบนี้ว่าวิธีกำลังประลัย (Ultimate strength design) ซึ่งต่อมาได้เปลี่ยนไปเรียกกันว่าวิธีกำลัง (Strength design) วิธีกำลังนี้จึงเป็นที่ยอมรับและใช้ออกแบบโครงสร้างคอนกรีตในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่นในโลกกันอย่างแพร่หลายมานานหลายสิบปี ในปี คศ 2003 Nowak และ Szerszen (2003a, 2003b) ได้ใช้สถิติล่าสุดของคุณภาพการก่อสร้างและวัสดุที่ใช้ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในประเทศสหรัฐอเมริกา มาปรับเทียบใหม่ (Recalibrate) เพื่อเลือกค่าของตัวคูณลดกำลังที่เหมาะสมยิ่งขึ้นสำหรับมาตรฐาน ACI318-99 และ ACI318-02 ได้เปลี่ยนไปใช้ค่าแฟกเตอร์ของน้ำหนักบรรทุกให้ตรงตามข้อกำหนด ASCE7 (ASCE, 1992) ซึ่งเหมือนกับที่ใช้ในมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็ก (AISC, 2005) แต่มีการปรับค่าตัวคูณลดกำลังให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

สำหรับประเทศไทยมีการปรับปรุง วสท. 1008-38 มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง (คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา ประจำปี 2537-2538, 2538) ซึ่งอ้างอิง ACI318-89 (ACI Committee 318, 1989) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ของน้ำหนักบรรทุก (1.4D+1.7L) และตัวคูณลดกำลังเช่นเดียวกับ ACI อย่างไรก็ตามค่าที่ ACI318-89 แนะนำเหล่านี้ได้กำหนดให้เหมาะสมกับสถิติที่เก็บจากการก่อสร้างของประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งอาจต่างจากประเทศไทย ในปี 2548 ทางคณะกรรมการปรับปรุงกฎกระทรวงด้านวิศวกรรมโครงสร้างและปฐพี (2548) ได้เสนอให้ใช้แฟกเตอร์ของน้ำหนักบรรทุกเท่ากับของ ACI318-89 (1.4D+1.7L) แต่ได้แบ่งการใช้ค่าตัวคูณลดกำลังออกเป็นสองกรณีดังนี้ กรณีที่ 1 คือกรณีที่มีการระบุมาตรฐานงานก่อสร้างและการควบคุมคุณภาพวัสดุเป็นอย่างดี ให้ใช้ค่าตัวคูณลดกำลังเหมือนที่มาตรฐาน ACI318-89 ระบุไว้ ส่วนกรณีที่ 2 คือกรณีที่ไม่มีการระบุฯ ให้ใช้ค่าตัวคูณลดกำลังในอัตราส่วน 5/6 เท่าของที่ใช้สำหรับกรณีที่ 1 อย่างไรก็ตามอัตราส่วนนี้ นอกเหนือจากงานของผู้วิจัยเองแล้ว (ฉัตร สุจินดา, 2548, 2549a, 2549b) ผู้วิจัยยังไม่พบถึงที่มาอันเป็นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หรือหลักฐานสิ่งตีพิมพ์อื่นซึ่งแสดงถึงความเที่ยงตรงของค่าอัตราส่วนดังกล่าวแต่อย่างใด

2.4 สรุป

หากมีการเก็บสถิติการกระจายของคุณภาพการก่อสร้างและวัสดุที่ใช้ในประเทศไทย แล้วนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อเลือกค่า แฟกเตอร์ของน้ำหนักบรรทุก และ/หรือ ตัวคูณลดกำลัง ที่สะท้อนถึงคุณภาพการก่อสร้างและวัสดุที่ใช้ในประเทศไทยเอง ก็ย่อมให้ข้อมูลที่ถูกต้องกว่าการใช้ค่าที่คัดลอกมาจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งและเป็นก้าวแรกของการเก็บสถิติดังกล่าวเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนามาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมยิ่งขึ้นสำหรับประเทศไทยต่อไปในอนาคต

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย หรือแบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งได้เป็นสองส่วนดังนี้ ส่วนแรกเป็นการศึกษาการกระจายของคุณสมบัติเหล็กเส้นที่ใช้ในงานก่อสร้างขนาดเล็กเช่นบ้านพักอาศัย ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ส่วนที่สองเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของกำลังการรับแรงคัดในคานและพื้นทางเดียว ที่เสริมด้วยเหล็กเส้นทั้งที่ได้และไม่ได้มาตรฐาน โดยอ้างอิงกับ มอก. 20-2543 (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย, 2543) และ มอก. 24-2538 (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย, 2548) รูปแบบการวิจัยในส่วนแรกเป็นการสุ่มเก็บตัวอย่างเหล็กเส้นที่ศึกษา ส่วนรูปแบบการวิจัยในส่วนที่สองเป็นการทดสอบกำลังการรับแรงคัดโดยวิธีทำลายของคานและพื้นทางเดียวตัวอย่าง ที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยใช้เหล็กเสริมที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานเปรียบเทียบกัน ในห้องปฏิบัติการ

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างของเหล็กเส้น

บ้านพักอาศัยส่วนใหญ่อาจไม่มีการควบคุมคุณภาพในการก่อสร้าง เนื่องจากเจ้าของบ้านอาจขาดความรู้และไม่เห็นความสำคัญของการควบคุมคุณภาพการก่อสร้าง ซึ่งการควบคุมคุณภาพนี้รวมถึง การเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่หล่อ เพื่อนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัย การเก็บตัวอย่างเหล็กเส้นที่ใช้ในการก่อสร้างเพื่อนำมาทดสอบหาแรงดึงที่จุดคราก และแรงดึงประลัย รวมไปถึงระยะและขนาดต่าง ๆ ที่อาจผิดพลาดไปจากแบบก่อสร้าง หากไม่มีกลไกของการควบคุมคุณภาพดังกล่าวแล้ว จะเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้ก่อสร้างใช้เหล็กที่ไม่ได้มาตรฐาน โดยที่เจ้าของบ้านที่ไม่มีความรู้หรือไม่ทราบถึงผลกระทบจากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงกำหนดขอบเขตของตัวอย่างที่ใช้ศึกษา เป็นเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่สุ่มจากการใช้งานก่อสร้างบ้านพักอาศัยจริงในเขต กทม. และปริมณฑล และได้กำหนดขนาดเหล็กเส้น ที่ศึกษาเฉพาะขนาดที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างบ้านโดยทั่วไปไว้เพียง 4 ขนาดคือขนาด RB6 RB9 (ชั้นคุณภาพ SR-24) และ DB12 DB16 (ชั้นคุณภาพ SD-30)

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นการสุ่มตัวอย่างจากสถานที่ก่อสร้างจริงจำนวน 100 แห่ง ซึ่งมีผู้รับเหมาที่ไม่ซ้ำกัน และเก็บตัวอย่างเหล็กเส้นจากแต่ละสถานที่ก่อสร้างโดยสุ่มตัดตัวอย่างให้มีความยาวประมาณ 80 ซม. ซึ่งเพียงพอที่จะใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางกลได้ เหล็กเส้นทั้ง 4 ขนาดอย่างละ 1 เส้น จากแต่ละแห่ง (สมมุติว่าเหล็กเส้นที่ผลิตจากโรงงานแต่ละโรงงานในแต่ละขนาด มักจะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเป็นการสุ่มเหล็กจากสถานที่ก่อสร้างจริงแต่ละแห่ง เพื่อให้ทราบว่ามาจากโรงงานใด ไม่ใช่เป็นการสุ่มถึงเหล็กหลาย ๆ เส้นจากโรงงานเดียวกัน) เนื่องจากมีจำนวนสถานที่ที่ต้องเก็บตัวอย่างมีมากถึง 100 แห่ง จึงได้จำกัดจำนวนตัวอย่างและความยาวไว้เพื่อสะดวกต่อการขนส่งตัวอย่างมาสะสมไว้

3.2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างชิ้นส่วนโครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น

สำหรับการศึกษาผลกระทบของกำลังการรับแรงดัด เพื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้าง ที่เสริมด้วยเหล็กได้มาตรฐาน กับเหล็กที่ไม่ได้มาตรฐานนั้น ประชากรที่ศึกษา คือชิ้นส่วนโครงสร้างคานและพื้นทางเดียว ที่ใช้เหล็กเสริมที่มีสมมุติฐานของค่าการกระจายทางสถิติ (Distribution curve) ของคุณสมบัติทางกลซึ่งมีผลต่อความสามารถในการรับแรง แต่เนื่องจากมีทฤษฎีและสูตรคำนวณที่สามารถคำนวณกำลังการรับแรงดัดอยู่แล้ว ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างจึงเป็นการทดสอบการรับแรงดัดจริงจนวิบัติของชิ้นส่วนคานและพื้นที่หล่อในห้องปฏิบัติการซึ่งเสริมด้วยเหล็กเส้นตัวอย่าง ในการศึกษานี้ได้จำกัดเหล็กเส้นตัวอย่างไว้เพียง 2 ประเภท คือเหล็กเส้นตัวอย่างที่ได้มาตรฐาน กับเหล็กเส้นตัวอย่างที่ไม่ได้มาตรฐานโดยลักษณะของชิ้นส่วนของโครงสร้างที่นำมาทดสอบ เหล็กเส้นตัวอย่างที่ใช้และคุณสมบัติทางกล และขนาดของเหล็กเสริมที่ใช้แสดงในตาราง 3.1 ภาพประกอบ 3.1 และ 3.2 แสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนโครงสร้างตัวอย่างที่นำมาทดสอบ การกำหนดขนาด และจำนวนเหล็กเสริมที่ใช้ในตัวอย่าง ได้จากการออกแบบตามมาตรฐาน วสท. 1008-38 ข้อกำหนด 3407

3.3 เครื่องมือการวิจัย

3.3.1 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลอเนกประสงค์ (Universal testing machine) ขนาด 15 ตัน เครื่องทดสอบนี้ ใช้สำหรับทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงของเหล็กเส้นตัวอย่าง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.3

3.3.2 ตาชั่งละเอียด ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 กรัม ใช้หามวลของเหล็กเสริมตัวอย่าง

3.3.3 โม่ผสมคอนกรีต ใช้สำหรับผสมคอนกรีตที่ใช้หล่อเป็นคานและพื้นตัวอย่าง รวมทั้งขึ้นคอนกรีตสำหรับ Pullout Test ซึ่งต้องมีความจุเพียงพอที่จะผสมคอนกรีตสำหรับขึ้นตัวอย่างพื้นที่ 4 พร้อมตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกได้ดังแสดงในภาพประกอบ 3.4

3.3.3 แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างรูปทรงกระบอก ตามมาตรฐาน ASTM C39/C39M-05 (ASTM Subcommittee C09.61, 2005)

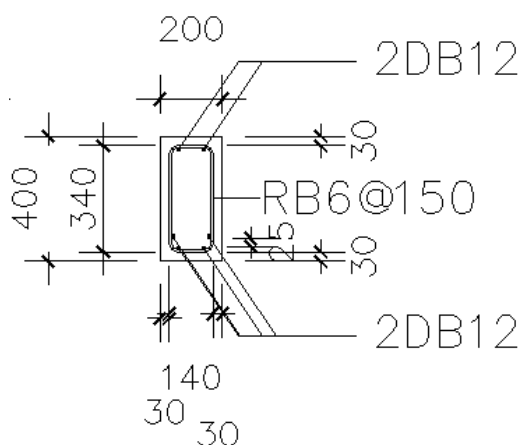
3.4.4 โครงสำหรับทดสอบโครงสร้าง (Testing frame) โครงสำหรับทดสอบโครงสร้างนี้จะต้องตั้งอยู่บนแผ่นพื้นแข็งแรง (Strong floor) ซึ่งจะต้องมีความสามารถในการรับแรงมากพอที่จะทดสอบชิ้นส่วนตัวอย่างจนวิบัติ ในการศึกษานี้ใช้การทดลองที่ห้องปฏิบัติการ โครงสร้าง สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

3.3.5. Hydraulic ram สำหรับใช้สร้างแรงให้ชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบ จะต้องมีความเหมาะสมกับแรงที่จะใช้ทดสอบ สำหรับการทดสอบแบบ Pullout นั้น Hydraulic ram ที่ใช้ต้องเป็นชนิดมีรูกลวงตรงกลางเพื่อให้สามารถสอดเหล็กเสริมเข้าไปได้

3.3.6. Load cell capacity สำหรับวัดค่าแรงที่ได้จาก Hydraulic ram ผ่านไปยังชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบ จะต้องมาขนาดเหมาะสมกับแรงที่จะใช้ทดสอบ สำหรับการทดสอบแบบ Pullout นั้น Load cell ที่ใช้ต้องเป็นชนิดมีรูกลวงตรงกลางเพื่อให้สามารถสอดเหล็กเสริมเข้าไปได้

3.3.7. Potentiometer capacity ใช้วัดระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง (Vertical deflection) ของชิ้นส่วนตัวอย่างคานและพื้นทางเดียว สามารถวัดการเคลื่อนตัวอย่างน้อย 50 มม. และมีความผิดพลาดไม่เกินกว่า ± 0.05 มม.

3.3.8. Data logger ใช้บันทึกค่าต่าง ๆ ที่อ่านได้จาก Load cell และ Potentiometer ระหว่างการทดสอบ

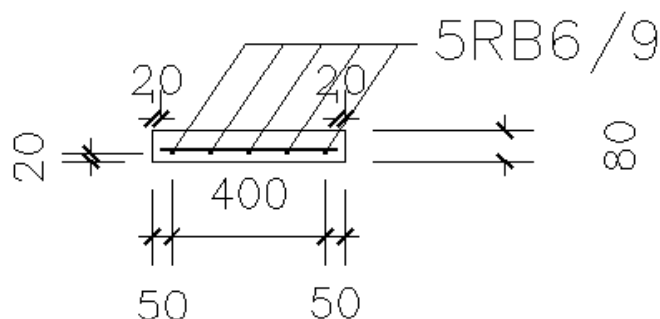


ภาพประกอบ 3.1 รายละเอียดของคานตัวอย่างที่ใช้เหล็กเสริม DB12 (ระยะต่าง ๆ มีหน่วยเป็น มม)

ตาราง 3.1 ชั้นส่วนของโครงสร้างที่นำมาทดสอบ

ประเภทของตัวอย่างที่ทดสอบ	ขนาดเหล็กเสริม	ประเภทของเหล็กเสริม	เครื่องหมายการค้ำบนเหล็ก
คาน (รวมจำนวน 2 ตัวอย่าง)	DB12	ได้มาตรฐาน	บกส
		ไม่ได้มาตรฐาน	AMR
พื้นทางเดียว (รวมจำนวน 4 ตัวอย่าง)	RB6	ได้มาตรฐาน	บกส
		ไม่ได้มาตรฐาน	“ลาย” *
	RB9	ได้มาตรฐาน	บกส
		ไม่ได้มาตรฐาน	NAT

* เหล็กเส้น “ลาย” เป็นการขนานนามโดยช่างก่อสร้างโดยทั่วไปของเหล็กเส้นขนาด RB6 และ RB9 จากโรงงานเล็กแห่งหนึ่ง ซึ่งไม่มีเครื่องหมายการค้า แต่ผิวของเหล็กเส้น มีลักษณะเป็นลายเส้นผิวมันตามแนวยาวบนผิวด้าน มองแล้วคล้ายเป็นลาย



ภาพประกอบ 3.2 หน้าตัดของพื้นทางเดียวตัวอย่างที่ใช้เสริมตามขนาด RB6 และ RB9 (ระยะต่าง ๆ มีหน่วยเป็น มม)



ภาพประกอบ 3.3 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลอเนกประสงค์ Shimadzu ขนาด 200 ตัน



ภาพประกอบ 3.4 โม่ผสมคอนกรีตที่ใช้ (ห้องปฏิบัติการ โครงสร้าง สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย)

3.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

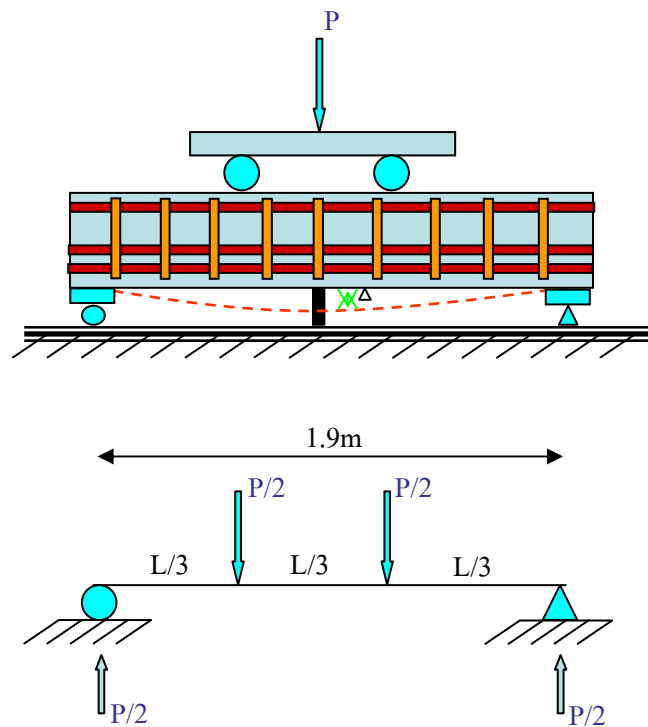
3.4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของตัวอย่างเหล็กเสริม

1. เก็บตัวอย่างเหล็กเส้นจากสถานที่ก่อสร้างจริงในเขต กทม. และ ปริมณฑล จำนวน 100 แห่ง เลือกเฉพาะสถานที่ก่อสร้างที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพ โดยการสอบถามเจ้าหน้าที่ ณ สถานที่ก่อสร้าง เกณฑ์การควบคุมคุณภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การหล่อตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลัง การส่งตัวอย่างเหล็กเส้นที่ใช้ไปทดสอบเก็บตัวอย่างเหล็กเส้น 4 ตัวอย่างต่อหนึ่งสถานที่ก่อสร้าง โดยประกอบด้วย เหล็กเส้นขนาด RB6 RB9 DB12 และ DB16 ยาว 80 ซม เพื่อให้สะดวกต่อการเก็บตัวอย่างจากสถานที่ก่อสร้างและการทดสอบ
2. นำตัวอย่างที่ได้มาตัดปลายให้ตรงทั้งสองด้านแล้ววัดความยาวของเหล็กเส้นแต่ละตัวอย่างไว้
3. นำเหล็กเส้นตัวอย่างไปชั่งด้วยตาชั่งละเอียด เพื่อคำนวณหามวลต่อความยาว
4. วัดขนาดของบั้ง (กรณีเหล็กข้ออ้อย) โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์
5. นำเหล็กเส้นตัวอย่างไปทดสอบแรงดึงที่จุดครากและแรงดึงประลัย ด้วยเครื่องทดสอบ Universal testing machine (UTM) เพื่อคำนวณหาดึงแรงที่จุดคราก และแรงดึงประลัย

3.4.2 การทดสอบหาลำดับและพฤติกรรมการรับแรงดัดของคานและพื้นทางเดียว

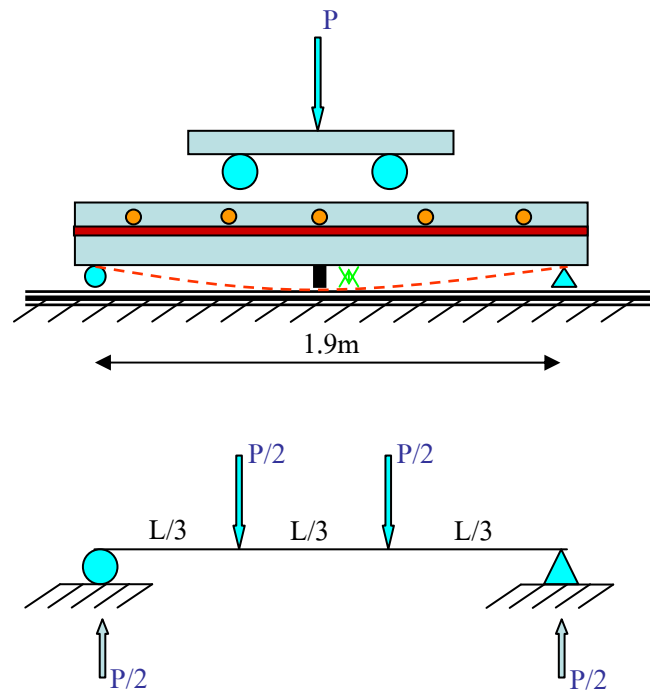
1. ออกแบบหน้าตัดของคานและพื้นทางเดียวให้เหมาะสมกับการทดสอบการรับแรงดัด ซึ่งมีรายละเอียดของหน้าตัดคานและพื้นทางเดี่ยวดังแสดงในภาพประกอบ 3.1 และ 3.2
2. สร้างชิ้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้นที่ได้มาตรฐานและไม่มาตรฐาน ดังตาราง 3.1 เพื่อใช้ทดสอบ สำหรับคานทั้ง 2 ตัวอย่าง ใช้คอนกรีตที่ผสมจากไม้ครั้งเดียวกัน ส่วนพื้นทางเดียวทั้ง 4 ตัวอย่างใช้คอนกรีตที่ผสมจากอีกไม้เดียวกันและใช้เหล็กปลอกที่ได้มาตรฐาน (บกล) ล็อตเดียวกัน เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตระหว่างตัวอย่างคานหรือพื้นที่จะนำมาเปรียบเทียบกันให้มีคุณภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด เก็บตัวอย่างทรงกระบอกคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C39/C39M-05 (ASTM Subcommittee C09.61, 2005) เพื่อนำไปทดสอบหาลำดับอัดประลัยของคอนกรีต ในวันเดียวกันกับที่ทดสอบชิ้นตัวอย่างคานหรือพื้นนั้น ๆ

3. ทาปูนขาวด้านข้างทั้งสองด้านของชิ้นตัวอย่างบางๆ เพื่อให้เห็นรอยแตกร้าวในชิ้นตัวอย่างได้ชัดเจนมากขึ้น
4. จัดตั้งอุปกรณ์ทดสอบไว้ดังแสดงในภาพประกอบ 3.5 (สำหรับคานตัวอย่าง) และภาพประกอบ 3.6 (สำหรับพื้นตัวอย่าง)



ภาพประกอบ 3.5 รายละเอียดการทดสอบสำหรับคานตัวอย่าง

5. เริ่มการทดสอบโดยเพิ่มแรงกด P (ดังแสดงในภาพประกอบ 3.5 และ 3.6) ที่กดลงบนชิ้นส่วนที่ทดสอบและวัดระยะการโก่งตัว เมื่อมีเสียงแตกของคอนกรีต ให้หยุดการเพิ่มแรงชั่วคราวเพื่อเขียนรอยร้าวที่เกิดขึ้นด้วยปากกาเคมี (Permanent marker) ตรงด้านข้างทั้งสองด้านคานหรือพื้นตัวอย่าง และบันทึกค่าแรงในขณะนั้นไว้กำกับไว้ที่ปลายของรอยแตกทุกรอย จากนั้นจึงเพิ่มแรงต่อไป (และเขียนรอยร้าวเพิ่มเติม) จนกว่าชิ้นตัวอย่างจะไม่สามารถรับแรงเพิ่มต่อไปได้อีก



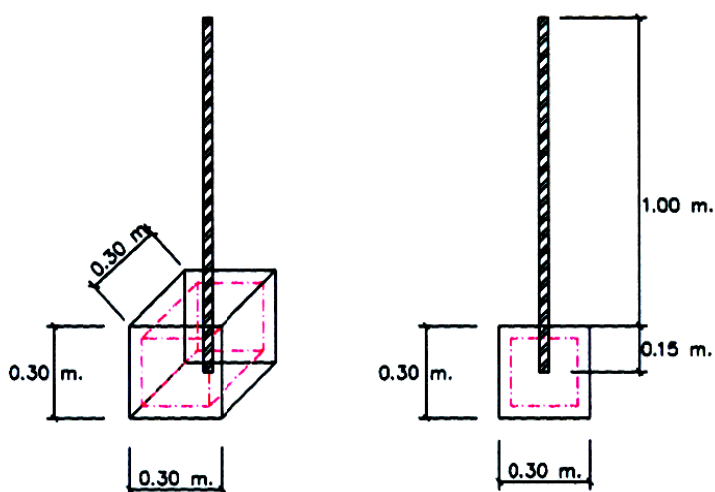
ภาพประกอบ 3.6 รายละเอียดการทดสอบสำหรับพื้นทางเดี่ยวตัวอย่าง

ในบางกรณีอาจต้องถอดอุปกรณ์วัดระยะการโก่งตัวออกก่อน เนื่องจากชิ้นตัวอย่างอาจวิบัติโดยเฉียบพลันซึ่งจะทำให้อุปกรณ์วัดเสียหายได้

6. ถ่ายรูปรอยแตกของชิ้นส่วนตัวอย่างหลังการทดสอบ และนำค่าแรงกดและระยะการโก่งตัวมาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์
7. นำเหล็กเส้นในลวดเดียวกับที่ใช้เสริมในคานและหรือพื้นตัวอย่างไปทดสอบคุณสมบัติทางกลที่มีผลต่อกำลังการรับแรง

3.4.3 การทดสอบแบบ Pullout เพื่อหาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

1. ตัดชิ้นเหล็กเส้นขนาด DB12 ลวดเดียวกันกับที่ใช้เสริมในคานตัวอย่างที่ทดสอบกำลังการรับแรงตัด ทั้งชนิดที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานจำนวนอย่างละ 2 แท่งยาว 1 เมตร พันหุ้มด้วยเทปกระดาษกาว ให้มีความยาวระยะฝัง 15 ซม. (12.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้น) ดังแสดงในภาพประกอบ 3.7



ภาพประกอบ 3.7 รายละเอียดของชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแบบ Pullout

2. ใช้คอนกรีตที่ผสมจากโมเดียวกับที่ใช้หล่อคานตัวอย่าง หล่อเป็นชิ้นคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 30cm ซึ่งเสริมด้วยเหล็ก RB6 รอบเพื่อป้องกันการแตกด้านข้าง แล้วฝังตัวอย่างเหล็กเส้นที่เตรียมไว้ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.8 โดยให้เทพกระดาษากาวที่ติดไว้ เป็นตัวกำหนดความยาวระยะฝังของเหล็กในคอนกรีต

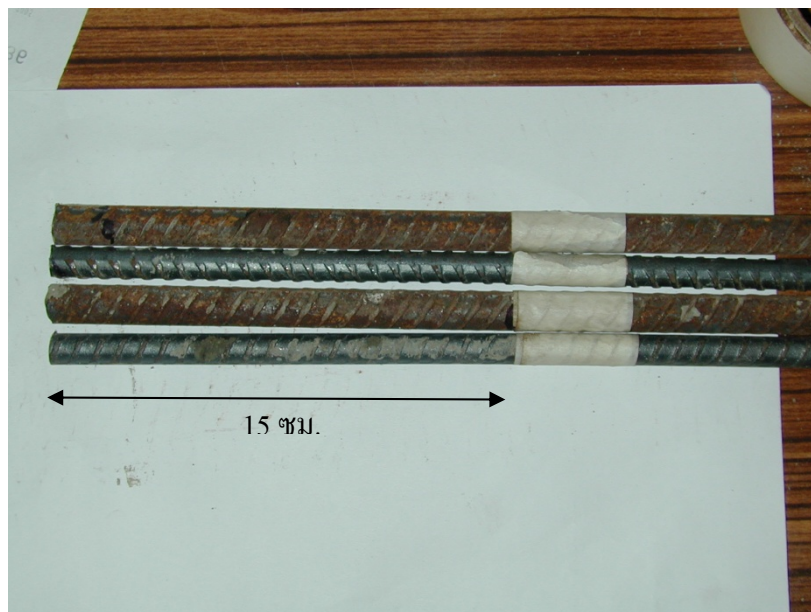
3. ทดสอบเหล็กเสริมที่ฝังในคอนกรีตทั้ง 4 ตัวอย่าง ในวันเดียวกับที่ทดสอบตัวอย่างคาน โดยวิธีทดสอบแบบ Pullout โดยการติดตั้ง Hydraulic ram เพื่อให้แรงดึงดึงเหล็กเส้นออกจากคอนกรีตและวัดค่าแรงดึง (โดยใช้ Load cell) ที่ทำให้เหล็กเส้นขาดหรือหลุดออกจากคอนกรีต ดังแสดงในภาพประกอบ 3.9

3.5 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลคุณสมบัติทางกลได้ถูกนำมารวบรวมกันและคำนวณค่าต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จาก Data logger สำหรับการทดสอบการรับแรงดัดของคานและพื้นตัวอย่างทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 4.15, 4.17, 4.19, 4.21, 4.23 และ 4.25

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบ Pullout ได้รวบรวมไว้ในตาราง 4.10 และ 4.11



ภาพประกอบ 3.8 การเตรียมชิ้นเหล็กเส้นตัวอย่างที่จะนำไปฝังในคอนกรีตสำหรับการทดสอบแบบ

Pullout



ภาพประกอบ 3.9 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแบบ Pullout

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1. การวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางกลของตัวอย่างเหล็กเส้น

เป็นการหาพารามิเตอร์ทางสถิติ อันได้แก่ค่าเฉลี่ย ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเลือกลักษณะการกระจายทางสถิติที่ใกล้เคียงกับข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งค่า พารามิเตอร์เหล่านี้สามารถนำไปใช้ร่วมกับค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลคุณภาพของการก่อสร้างอื่น ๆ (เช่น กำลังอัดของคอนกรีต และการแปรผันของขนาด โครงสร้าง ฯลฯ) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าตัวคูณลดกำลัง ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนามาตรฐานออกแบบ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับประเทศไทยต่อไปในอนาคต

3.6.2. การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหากล้างและพฤติกรรมการรับแรงค้ำของคานและพื้นทางเดียว

เป็นการเปรียบเทียบกำลังการรับแรงค้ำ ของคานและพื้นทางเดียว โดยเปรียบเทียบระหว่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้นที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน อีกทั้งยังมีการเปรียบเทียบถึงกำลังการรับแรงค้ำที่คำนวณได้จากสูตรที่ใช้ในการออกแบบอีกด้วย

3.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแบบ Pullout เพื่อหาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

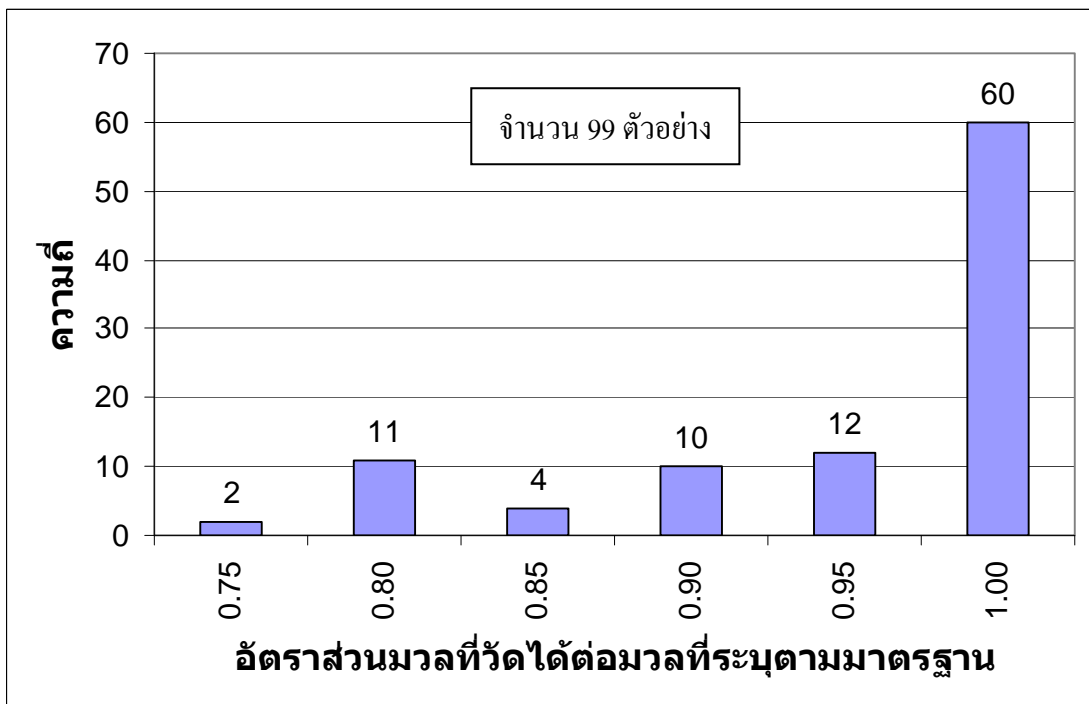
เป็นการเปรียบเทียบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม ระหว่างเหล็กเส้นที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน รวมถึงลักษณะการวิบัติ (Failure mode) ของชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบว่าวิบัติโดยเหล็กเสริมที่ฝังอยู่หลุดออกมาจากคอนกรีต หรือเหล็กเสริมขาด

บทที่ 4

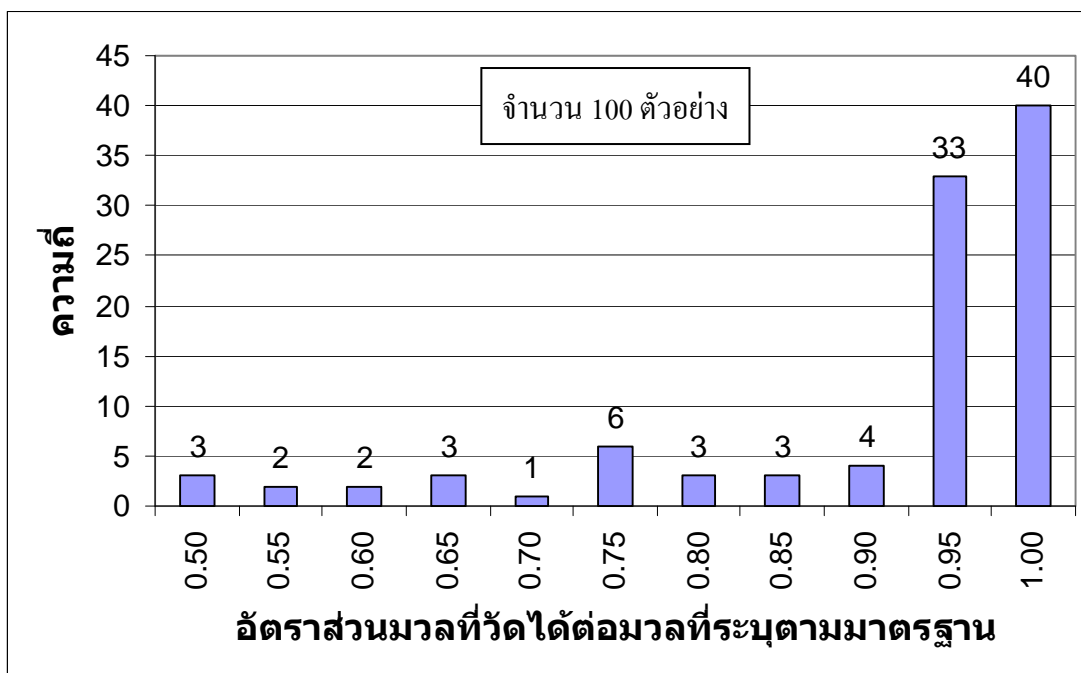
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติทางกลของตัวอย่างเหล็กเสริม

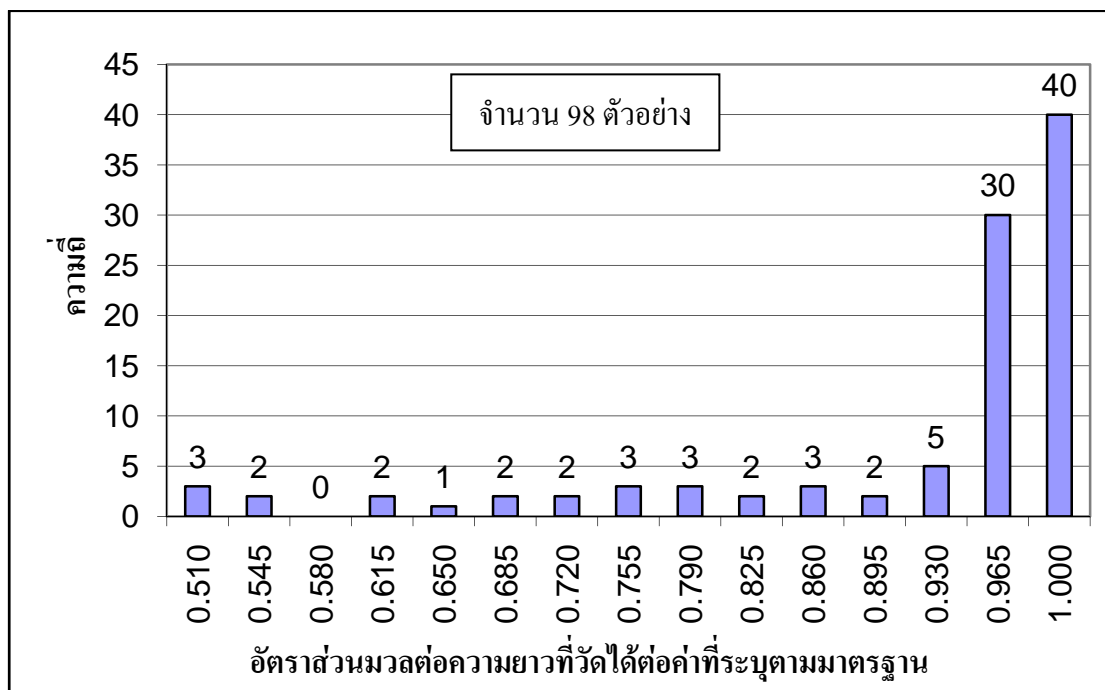
จากข้อมูลตัวอย่างเหล็กเสริมในภาคผนวก ก. ได้เลือกคุณสมบัติทางกลที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงคดของชิ้นส่วนโครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กเส้นดังกล่าวโดยตรง ได้แก่ มวลต่อความยาว แรงดึงที่จุดคราก และ หน่วยแรงดึงที่จุดคราก นำมาเขียนเป็นแผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนค่าที่วัดได้ต่อค่าที่ระบุไว้ในมาตรฐานสำหรับเหล็กเส้นขนาดต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 4.1 ถึง 4.12 ตาราง 4.1 และ 4.2 ที่ผ่านเกณฑ์ต่าง ๆ ของ มอก.



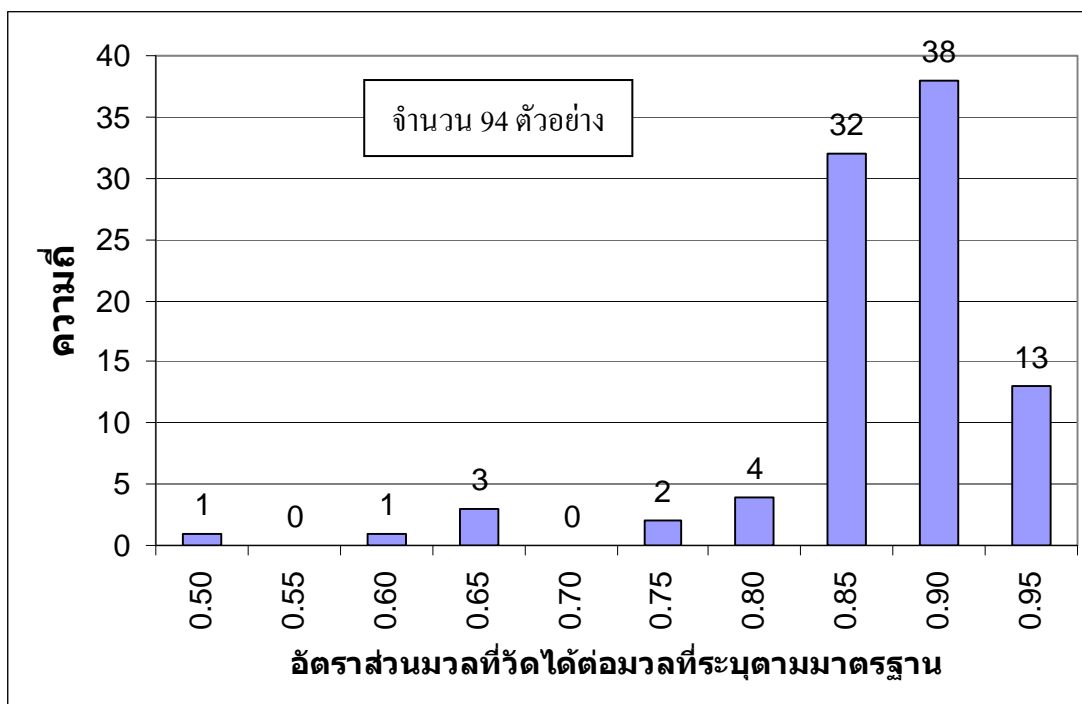
ภาพประกอบ 4.1 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนของมวลเหล็กเสริมตัวอย่างเมื่อเทียบกับที่ระบุตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB6



ภาพประกอบ 4.2 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนมวลที่วัดได้ต่อมวลที่ระบุตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB9



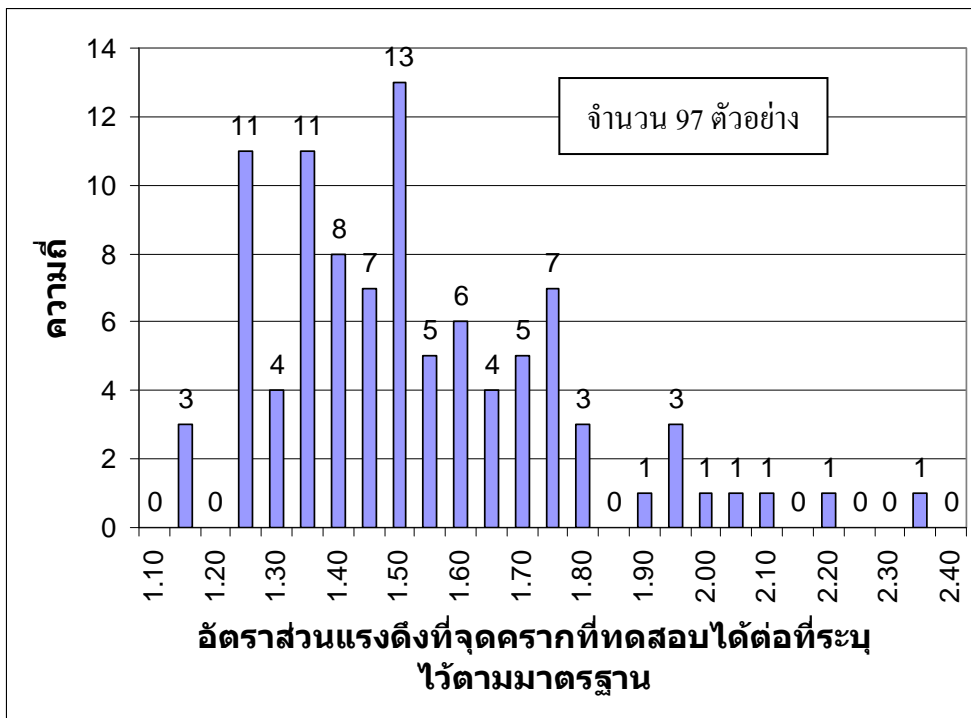
ภาพประกอบ 4.3 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนมวลที่วัดได้ต่อมวลที่ระบุตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB12



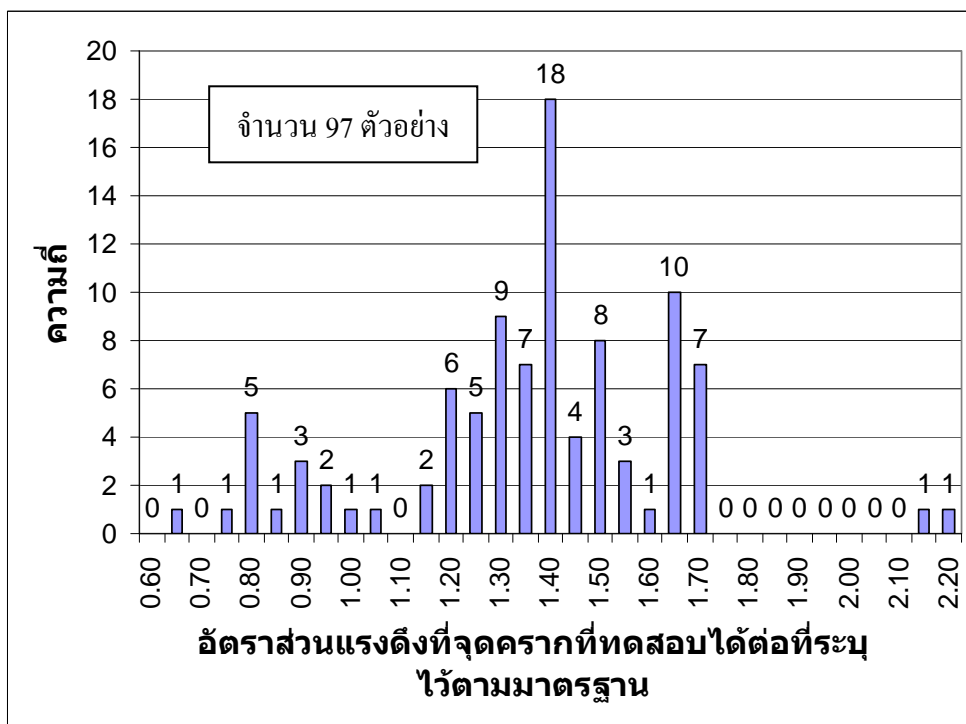
ภาพประกอบ 4.4 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนมวลที่วัดได้ต่อมวลที่ระบุตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB16

ตาราง 4.1 ร้อยละของจำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์มวลต่อความยาวเฉลี่ยของ มอก. ต่อจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

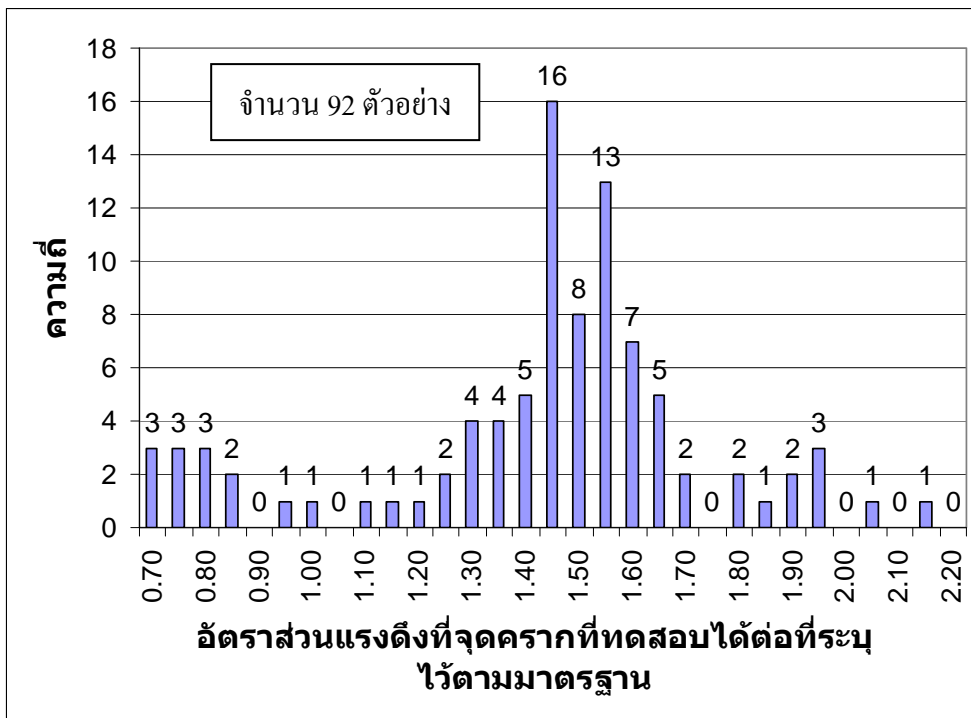
ขนาดเหล็กเส้น	เกณฑ์มวลต่อความยาวที่ผิดพลาดได้	จำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์มวลต่อความยาวเฉลี่ยของ มอก.	จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์มวลต่อความยาวเฉลี่ยของ มอก.
RB6	±5%	72	99	72.7
RB9	±3.5%	70	100	70.0
DB12	±5%	78	98	79.6
DB16	±5%	13	94	13.8



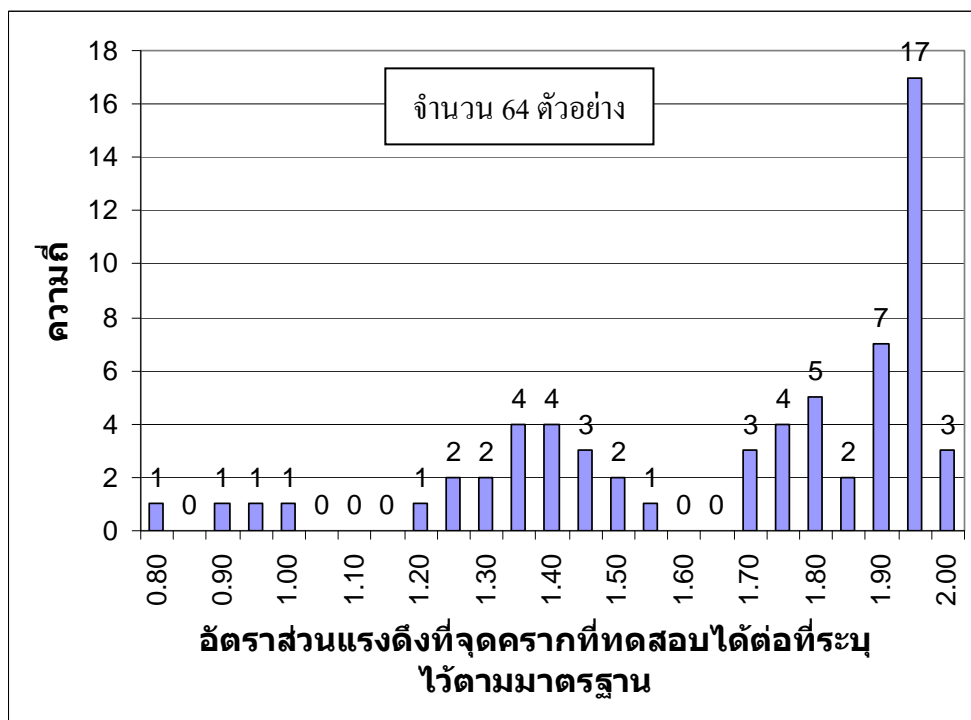
ภาพประกอบ 4.5 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนแรงดึงทดสอบที่จุดครากต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB6



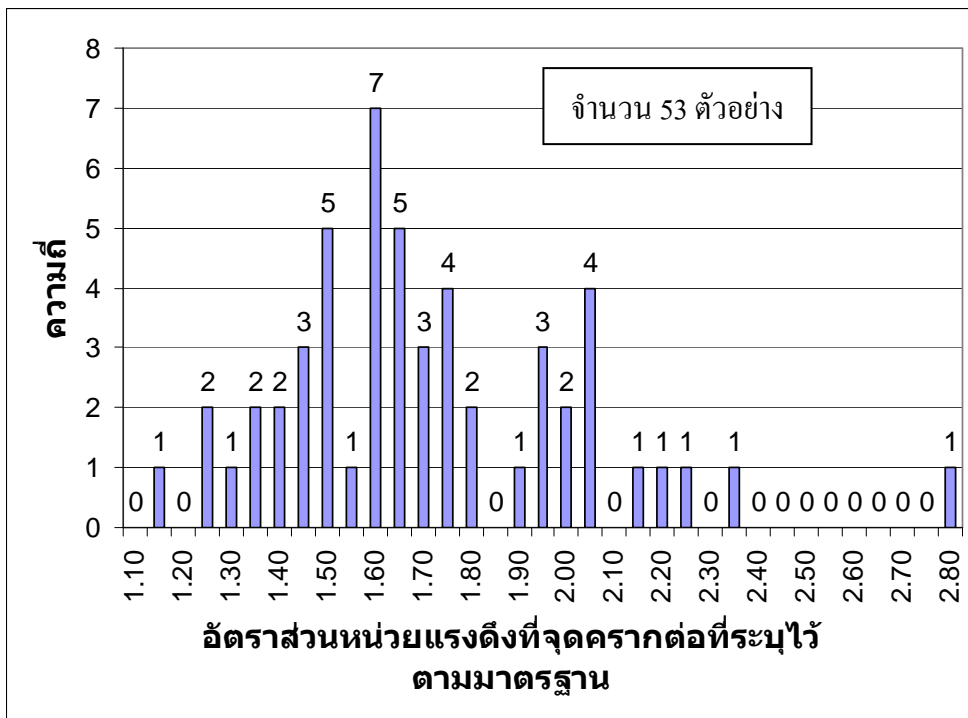
ภาพประกอบ 4.6 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนแรงดึงทดสอบที่จุดครากต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB9



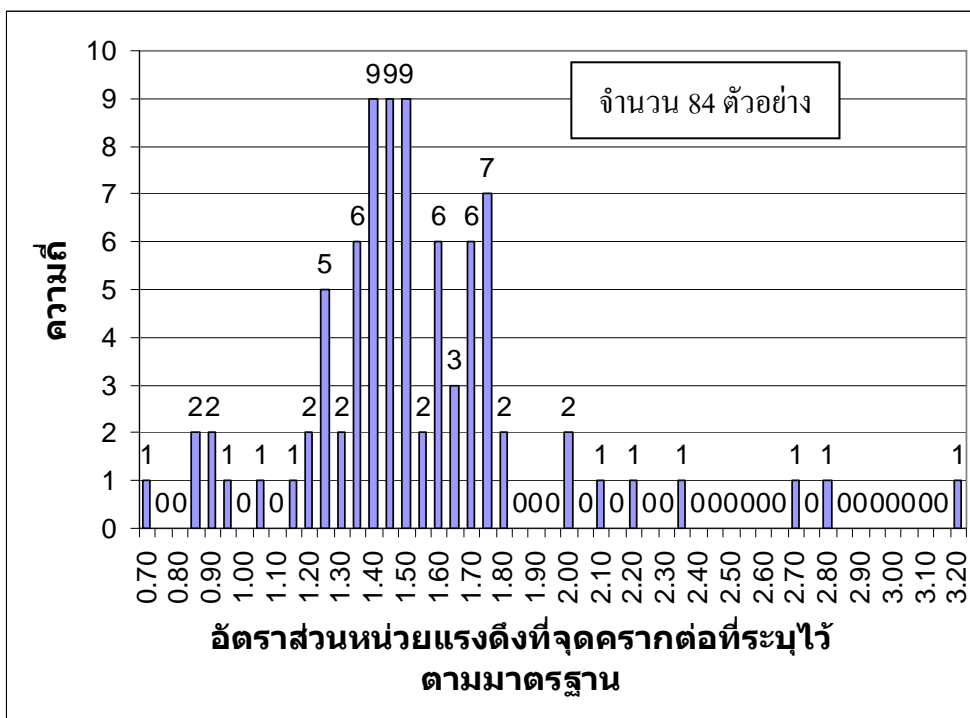
ภาพประกอบ 4.7 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนแรงดันที่ทดสอบที่จุดครากต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB12



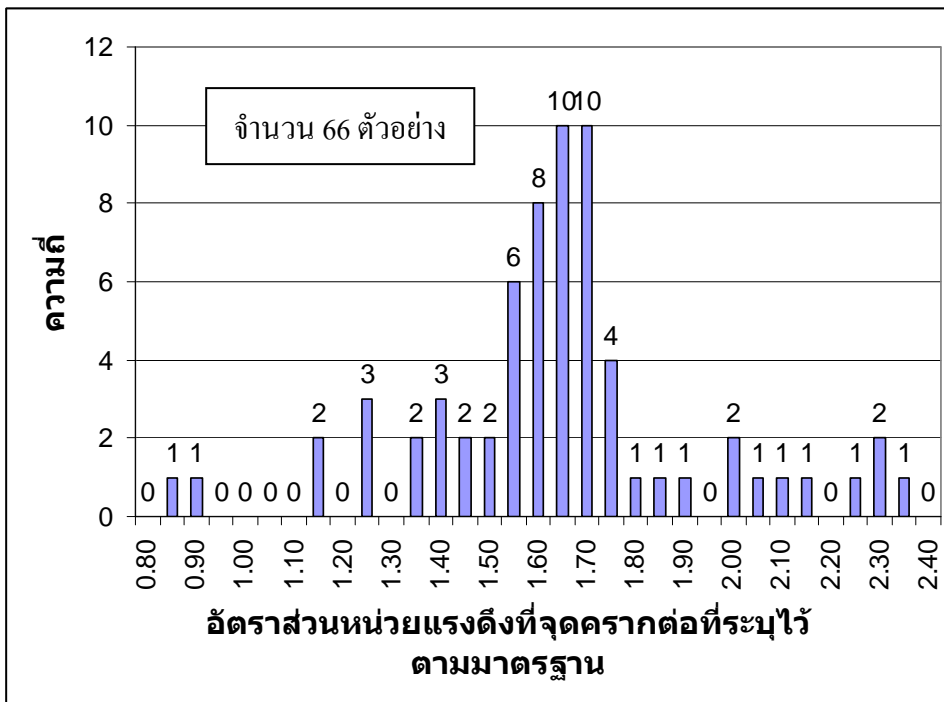
ภาพประกอบ 4.8 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนแรงดันที่ทดสอบที่จุดครากต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB16



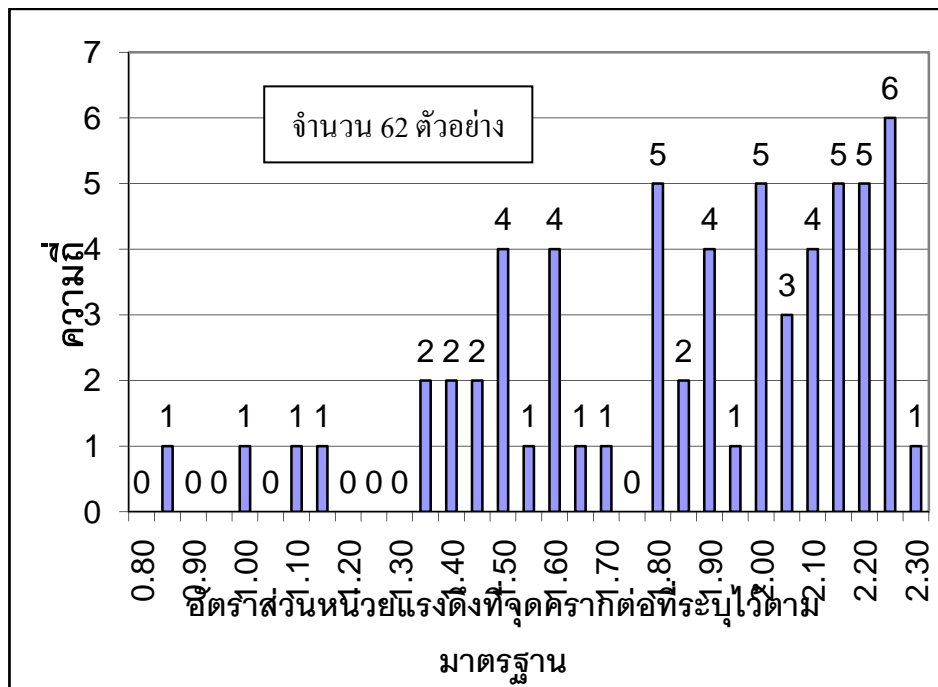
ภาพประกอบ 4.9 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนหน่วยแรงดึงทดสอบที่จุดครากต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB6



ภาพประกอบ 4.10 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนหน่วยแรงดึงทดสอบที่จุดครากต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด RB9



ภาพประกอบ 4.11 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนหน่วยแรงดังทดสอบที่จุดครากต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB12



ภาพประกอบ 4.12 แผนภูมิแท่งความถี่ของอัตราส่วนหน่วยแรงดังทดสอบที่จุดครากต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB16

ตาราง 4.2 ร้อยละของจำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์หน่วยแรงดึงที่จุดครากของ มอก. ต่อจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

ขนาดเหล็กเส้น	ค่าแรงหน่วยแรงดึงตามเกณฑ์ มอก. (kg/cm^2)	จำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์หน่วยแรงดึงที่จุดครากของ มอก.	จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	ร้อยละที่ผ่านเกณฑ์หน่วยแรงดึงที่จุดครากของ มอก.
RB6	2,400	53	53	100.0
RB9	2,400	78	84	92.9
DB12	3,000	64	66	97.0
DB16	3,000	61	62	98.4

เมื่อนำข้อมูลที่วัดได้มาหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของการกระจายอัน ได้แก่ อัตราส่วนของค่าเฉลี่ยต่อค่าที่ระบุ และสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน ได้ดังแสดงในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 อัตราส่วนของค่าเฉลี่ยต่อค่าที่ระบุ และสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน ของมวลต่อความยาว แรงดึงที่จุดคราก หน่วยแรงดึงที่จุดคราก

ขนาดเหล็กเส้น	อัตราส่วนมวลที่วัดได้ต่อมวลที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน		อัตราส่วนแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน		อัตราส่วนหน่วยแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน	
	ค่าเฉลี่ย	สัมประสิทธิ์ความแปรผัน	ค่าเฉลี่ย	สัมประสิทธิ์ความแปรผัน	ค่าเฉลี่ย	สัมประสิทธิ์ความแปรผัน
RB6	0.93	8.54×10^{-2}	1.52	1.88×10^{-1}	1.68	1.87×10^{-1}
RB9	0.93	1.38×10^{-1}	1.38	2.04×10^{-1}	1.51	2.57×10^{-1}
DB12	0.99	9.82×10^{-2}	1.40	2.24×10^{-1}	1.62	1.79×10^{-1}
DB16	0.89	8.20×10^{-2}	1.65	1.91×10^{-1}	1.82	1.94×10^{-1}

จากค่าเฉลี่ยในตาราง 4.3 ของอัตราส่วนมวลที่วัดได้ต่อมวลที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน และ อัตราส่วนหน่วยแรงดึงที่จุดครากที่ทดสอบได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน สามารถนำมาทดสอบข้อสมมุติฐานได้ดังแสดงในตาราง 4.4 (สำหรับทดสอบดังนี้เกณฑ์มวลต่อความยาว) และ ตาราง 4.5 (สำหรับทดสอบดังนี้เกณฑ์หน่วยแรงดึงที่จุดคราก)

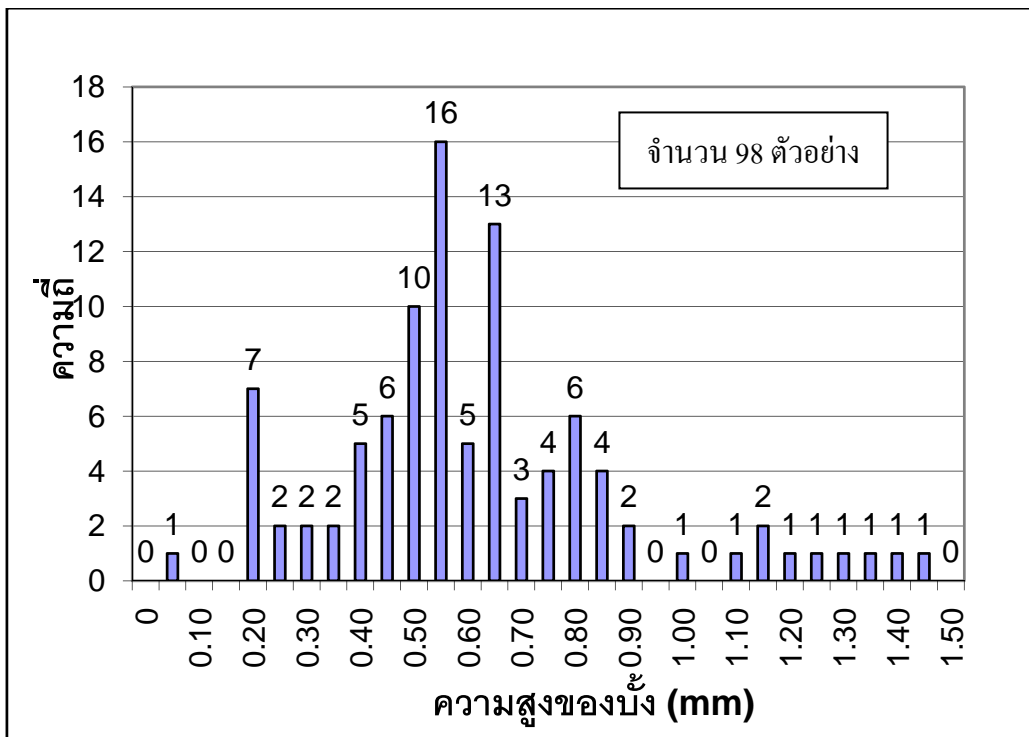
ตาราง 4.4 ทดสอบข้อสมมุติฐานสำหรับเกณฑ์มวลต่อความยาว

ขนาดเหล็กเส้น	ค่าเฉลี่ย μ	เกณฑ์เฉลี่ยของ มอก.	H_0	H_1	ผลการทดสอบ
RB6	0.93	$\pm 5\%$	$0.95 \leq \mu \leq 1.05$	$\mu \leq 0.95$ หรือ $\mu \geq 0.95$	ปฏิเสธ H_0
RB9	0.93	$\pm 3.5\%$	$0.965 \leq \mu \leq 1.035$	$\mu \leq 0.965$ หรือ $\mu \geq 1.035$	ปฏิเสธ H_0
DB12	0.99	$\pm 5\%$	$0.95 \leq \mu \leq 1.05$	$\mu \leq 0.95$ หรือ $\mu \geq 0.95$	ยอมรับ H_0
DB16	0.89	$\pm 5\%$	$0.95 \leq \mu \leq 1.05$	$\mu \leq 0.95$ หรือ $\mu \geq 0.95$	ปฏิเสธ H_0

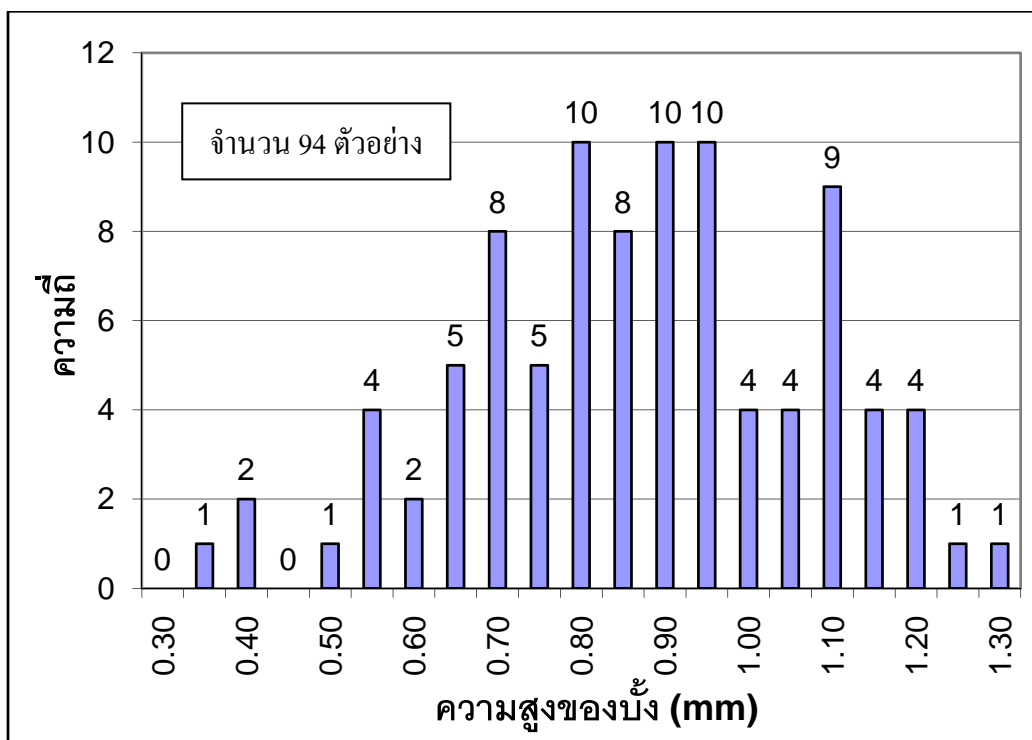
ตาราง 4.5 ทดสอบข้อสมมุติฐานสำหรับเกณฑ์หน่วยแรงดึงที่จุดคราก

ขนาดเหล็กเส้น	ค่าเฉลี่ย μ	ความเชื่อมั่น α	H_0	H_1	ผลการทดสอบ
RB6	1.68	0.05	$\mu \geq 0.95$	$\mu < 0.95$	ยอมรับ H_0
RB9	1.51	0.05	$\mu \geq 0.95$	$\mu < 0.95$	ยอมรับ H_0
DB12	1.62	0.05	$\mu \geq 0.95$	$\mu < 0.95$	ยอมรับ H_0
DB16	1.82	0.05	$\mu \geq 0.95$	$\mu < 0.95$	ยอมรับ H_0

จากตาราง 4.5 ผลการทดสอบของเหล็กเส้นทุกขนาดคือยอมรับ H_0 ซึ่งสรุปได้ว่า ประชากรเหล็กเส้นผ่านเกณฑ์หน่วยแรงดึงที่จุดคราก ส่วนตาราง 4.4 ผลการทดสอบของเหล็กเส้นขนาด RB6 RB9 และ DB16 คือปฏิเสธ H_0 ในขณะที่เหล็กเส้นขนาด DB12 ยอมรับ H_0



ภาพประกอบ 4.13 แผนภูมิแท่งความถี่ของขนาดของบั้ง ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB12



ภาพประกอบ 4.14 แผนภูมิแท่งความถี่ของขนาดของบั้ง ของตัวอย่างเหล็กเส้นขนาด DB16

ข้อมูลการวัดความสูงของบั้ง (เฉพาะเหล็กเส้นข้ออ้อย DB12 และ DB16) รวบรวมไว้ในภาคผนวก ก. ส่วนการกระจายของขนาดบั้งของกลุ่มตัวอย่างเหล็กเส้น DB12 และ DB16 แบบแสดงไว้ในแผนภูมิแท่งความถี่ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

ตาม มอก. 24-2548 (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย, 2548) ได้กำหนดขนาดของบั้งไว้ดังแสดงในตาราง 4.6

ตาราง 4.6 เกณฑ์ความสูงของบั้งที่กำหนดไว้ใน มอก. 24-2548 (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย, 2548)

ชื่อขนาด	ส่วนสูงของบั้ง	
	ต่ำสุด	สูงสุด
DB12	0.5	1.0
DB16	0.7	1.4

เมื่อพิจารณาจากความสูงของบั้งของกลุ่มตัวอย่างเหล็กเส้น กับเกณฑ์ความสูงของบั้งที่กำหนดไว้ใน มอก. 24-2548 พบว่าจำนวนเหล็กเส้นที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ดังแสดงไว้ในตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ร้อยละของจำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ความสูงของบั้งที่กำหนดไว้ใน มอก. 24-2548 (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย, 2548)

ชื่อขนาด	จำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์หน่วยแรงดึงที่ความสูงของบั้ง มอก. 20-2548	จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	ร้อยละของจำนวนตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์ความสูงของบั้ง มอก. 20-2548
DB12	64	98	65.3
DB16	78	94	83.0

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหาค่ากำลังและพฤติกรรมการรับแรงดัดของคานและพื้นทางเดียว

ผลการทดสอบกำลังของวัสดุ (ทั้งคอนกรีตและเหล็กเส้น) ที่นำมาใช้ในชิ้นตัวอย่างคานและพื้นทางเดียว ได้แสดงไว้ในตาราง 4.8

ตาราง 4.8 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในชิ้นส่วนตัวอย่างคานและพื้นทางเดียวที่ทดสอบ

ประเภท	ขนาดเหล็กเส้นที่ใช้	ชื่อของชิ้นตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (f'_c) (kg/cm^2)	หน่วยแรงที่จุดคราก (f_y) (kg/cm^2)	พื้นที่หน้าตัด (A_s) (cm^2)			
คาน	DB12 (SD-30)	B1 เหล็กได้ มาตรฐาน	255.78	261.44	4,858	4,905	1.091	1.091
			267.10		4,952		1.091	
					4,902		1.085	
		B2 เหล็กไม่ได้ มาตรฐาน	255.78	261.44	2,921	2,943	0.774	0.771
			267.10		2,965		0.769	
					2,927		0.772	
พื้นทาง เดียว	RB6 (SR-24)	S1 เหล็กได้ มาตรฐาน	287.47	284.08	3,935	3,915	0.280	0.278
			286.34		3,895		0.277	
			278.42		3,845		0.276	
		S2 เหล็กไม่ได้ มาตรฐาน	287.47	284.08	3,328	3,328	0.210	0.210
			286.34					
			278.42					
	RB9 (SR-24)	S3 เหล็กได้ มาตรฐาน	287.47	284.08	3,690	3,587	0.618	0.619
			286.34		3,625		0.620	
			278.42		3,310		0.628	
		S4 เหล็กไม่ได้ มาตรฐาน	287.47	284.08	4,096	4,013	0.303	0.302
			286.34		3,929		0.300	
			278.42		4,130		0.300	

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหาค่าลึงและพฤติกรรมการรับแรงคัตของคานและพื้นทางเดียว

การเปรียบเทียบกำลังการรับแรงคัต ของคานและพื้นทางเดียว โดยเปรียบเทียบระหว่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้นที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน แสดงไว้ในตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ผลการทดสอบการรับแรงคัตของคานและพื้นตัวอย่าง

เหล็กเสริมรับแรงคัตที่ใช้	น้ำหนักกดที่รับได้สูงสุด P (ton)	แรงคัตที่รับได้สูงสุด $M_{exp} = \frac{PL}{6}$ (kg.m)	แรงคัตที่คำนวณได้จากสูตร* $M_{design} = M_n$ (kg.m)	ร้อยละของอัตราส่วน $\frac{M_{exp}}{M_{design}}$
DB12 (SD-30) (ได้มาตรฐาน)	27.54	8,698	4,397	198
DB12 (SD-30) (ไม่ได้มาตรฐาน)	16.30	5,175		118
RB6 (SR-24) (ได้มาตรฐาน)	0.60	190	188	101
RB6 (SR-24) (ไม่ได้มาตรฐาน)	0.46	146		78
RB 9 (SR-24) (ได้มาตรฐาน)	15.20	481	399	121
RB 9 (SR-24) (ไม่ได้มาตรฐาน)	9.20	291		73

*ดูรายการคำนวณในภาคผนวก ข

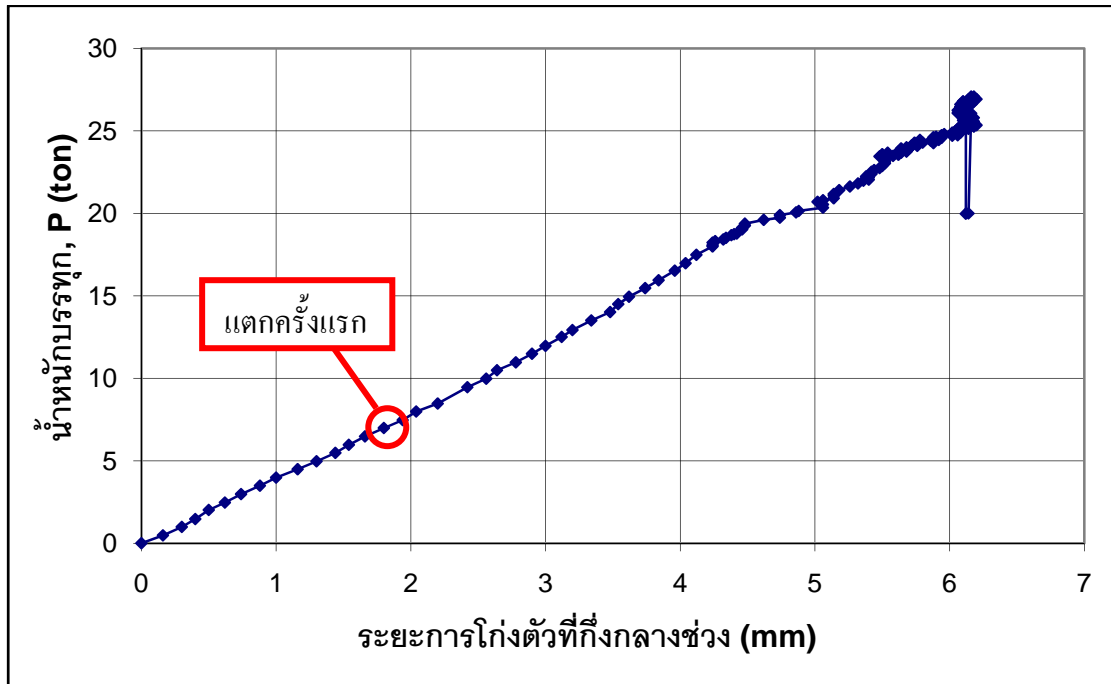
จากตาราง 4.9 ในส่วนของคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น DB12 (SD-30) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงดัดที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบ (ตัดผลของความแปรผันกำลังอัดของคอนกรีตออกไป โดยการคำนวณจากค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หล่อตัวอย่างจริง) กับความสามารถรับแรงดัดที่ได้จากชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งสอง พบว่าชิ้นส่วนตัวอย่าง B1 มีความสามารถรับแรงดัดที่ทดสอบจริงต่อที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบร้อยละ 198 สาเหตุที่เนื่องมาจากเหล็กเสริม DB12 ที่ได้มาตรฐานอันนี้มีค่าหน่วยแรงที่จุดครากสูงกว่าที่มาตรฐานไปมาก (4,905 ksc หรือ 164% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) แต่มีพื้นที่หน้าตัดต่ำกว่าที่มาตรฐานระบุไปไม่มาก (1.091 cm^2 หรือ 97% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) ในขณะที่ชิ้นส่วนตัวอย่าง B2 มีความสามารถรับแรงดัดที่ทดสอบจริงต่อที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบร้อยละ 118 เนื่องมาจากเหล็กเสริม DB12 ที่ไม่ได้มาตรฐานอันนี้มีค่าหน่วยแรงที่จุดครากต่ำกว่าที่มาตรฐานไปไม่มาก (2,943 ksc หรือ 98% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) แต่มีพื้นที่หน้าตัดต่ำกว่าที่มาตรฐานระบุไปมาก (0.771 cm^2 หรือ 68% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) ซึ่งจะสังเกตได้ว่าชิ้นส่วนตัวอย่างทั้งสองนี้ ยังคงทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดเกินกว่าค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบ

จากตาราง 4.9 ในส่วนของคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 (SR-24) พบว่าชิ้นส่วนตัวอย่าง S1 มีความสามารถรับแรงดัดที่ทดสอบจริงต่อที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบร้อยละ 101 สาเหตุที่เนื่องมาจากเหล็กเสริม RB6 ที่ได้มาตรฐานอันนี้มีค่าหน่วยแรงที่จุดครากสูงกว่าที่มาตรฐานไปมาก (3,915 ksc หรือ 163% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) แต่มีพื้นที่หน้าตัดต่ำกว่าที่มาตรฐานระบุไปไม่มาก (0.278 cm^2 หรือ 98% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) ในขณะที่ชิ้นส่วนตัวอย่าง S2 มีความสามารถรับแรงดัดที่ทดสอบจริงต่อที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบร้อยละ 78 เนื่องมาจากเหล็กเสริม RB6 ที่ไม่ได้มาตรฐานอันนี้มีค่าหน่วยแรงที่จุดครากสูงกว่าที่มาตรฐานไปไม่มาก (3,328 ksc หรือ 139% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) แต่มีพื้นที่หน้าตัดต่ำกว่าที่มาตรฐานระบุไปบ้าง (0.210 cm^2 หรือ 74% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งเหล็กเส้น RB6 ที่ได้มาตรฐานที่นำมาใช้ในชิ้นส่วนตัวอย่างนี้ ทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดสูงกว่าค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบ แต่เหล็กเส้น RB6 ที่ไม่ได้มาตรฐาน เมื่อนำมาใช้ในชิ้นส่วนตัวอย่าง ทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบ อันเป็นการลดความปลอดภัยของชิ้นส่วนโครงสร้างลงในระดับหนึ่ง

จากตาราง 4.9 ในส่วนของคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB9 (SR-24) พบว่า ชิ้นส่วนตัวอย่าง S3 มีความสามารถรับแรงดัดที่ทดสอบจริงต่อที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบร้อยละ 121 สาเหตุที่เนื่องมาจากเหล็กเสริม RB6 ที่ได้มาตรฐานอันนี้มีค่าหน่วยแรงที่จุดครากสูงกว่าที่มาตรฐานไปมาก (3,587 ksc หรือ 149% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) แต่มีพื้นที่หน้าตัดต่ำกว่าที่มาตรฐานระบุไปไม่มาก (0.619 cm² หรือ 97% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) ในขณะที่ชิ้นส่วนตัวอย่าง S4 มีความสามารถรับแรงดัดที่ทดสอบจริงต่อที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบร้อยละ 73 เนื่องมาจากเหล็กเสริม RB9 ที่ไม่ได้มาตรฐานอันนี้มีค่าหน่วยแรงที่จุดครากสูงกว่าที่มาตรฐานไปมาก (4,013 ksc หรือ 167% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) แต่มีพื้นที่หน้าตัดต่ำกว่าที่มาตรฐานระบุไปมากเช่นกัน (0.302 cm² หรือ 48% ของค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน) ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งเหล็กเส้น RB6 ที่ได้มาตรฐานที่นำมาใช้ในชิ้นส่วนตัวอย่างนี้ ทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดสูงกว่าค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบ แต่เหล็กเส้น RB6 ที่ไม่ได้มาตรฐาน เมื่อนำมาใช้ในชิ้นส่วนตัวอย่าง ทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนการออกแบบ อันเป็นการลดความปลอดภัยของชิ้นส่วนโครงสร้างลงในระดับหนึ่ง เป็นที่น่าสังเกตว่าเหล็กเส้น RB9 ที่ไม่ได้มาตรฐานที่ใช้ในครั้งนี้มีพื้นที่หน้าตัดต่ำกว่าค่าที่ระบุไปมากจนมรค่าใกล้เคียงกับค่าที่ระบุตามมาตรฐานของเหล็กเส้นขนาด RB6 (แต่ประทับตราว่า “RB9”)

เมื่อนำข้อมูลที่เก็บได้ระหว่างการทดสอบการรับแรงดัด มาเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักกดกับระยะการโก่งตัวที่ตรงกึ่งกลางช่วงในแนวดิ่งได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.15, 4.17, 4.19, 4.21, 4.23 และ 4.25 สำหรับชิ้นส่วนคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 ที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน ชิ้นส่วนพื้นทางเดียวตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก RB6 ที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน และที่เสริมด้วยเหล็ก RB9 ที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐานตามลำดับ

เนื่องจากความสามารถในการรับแรงดัดของคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 ที่ได้มาตรฐานนั้นสูงกว่าที่คาดไว้มาก จึงทำให้โครงข้อแข็งที่ใช้ทำการทดสอบ (Testing frame) ครั้งแรกนั้นไม่สามารถรับแรงได้มากพอ จนถึงจุดที่คานตัวอย่างจะพัง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดค่าแรงกดลง แล้วย้ายคานตัวอย่างดังกล่าวไปใส่ในโครงข้อแข็งที่ใช้ทดสอบใหม่ที่ใหญ่กว่าเดิม ทำให้สูญเสียกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับระยะการโก่งตัวที่แท้จริงไป กราฟแสดงในภาพประกอบ 4.15 เป็นกราฟที่นำข้อมูลการทดสอบทั้งสองครั้ง (โครงข้อแข็งที่ใช้ทำการทดสอบชุดแรกกับชุดที่สอง) มาประติดประต่อกัน ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะใกล้เคียงเส้นตรงไปจนใกล้จะถึงน้ำหนักกดสูงสุด โดยสังเกตเห็นการแตกครั้งแรก (First crack) ที่น้ำหนักกด 7.1 ตัน คานนี้รับแรง



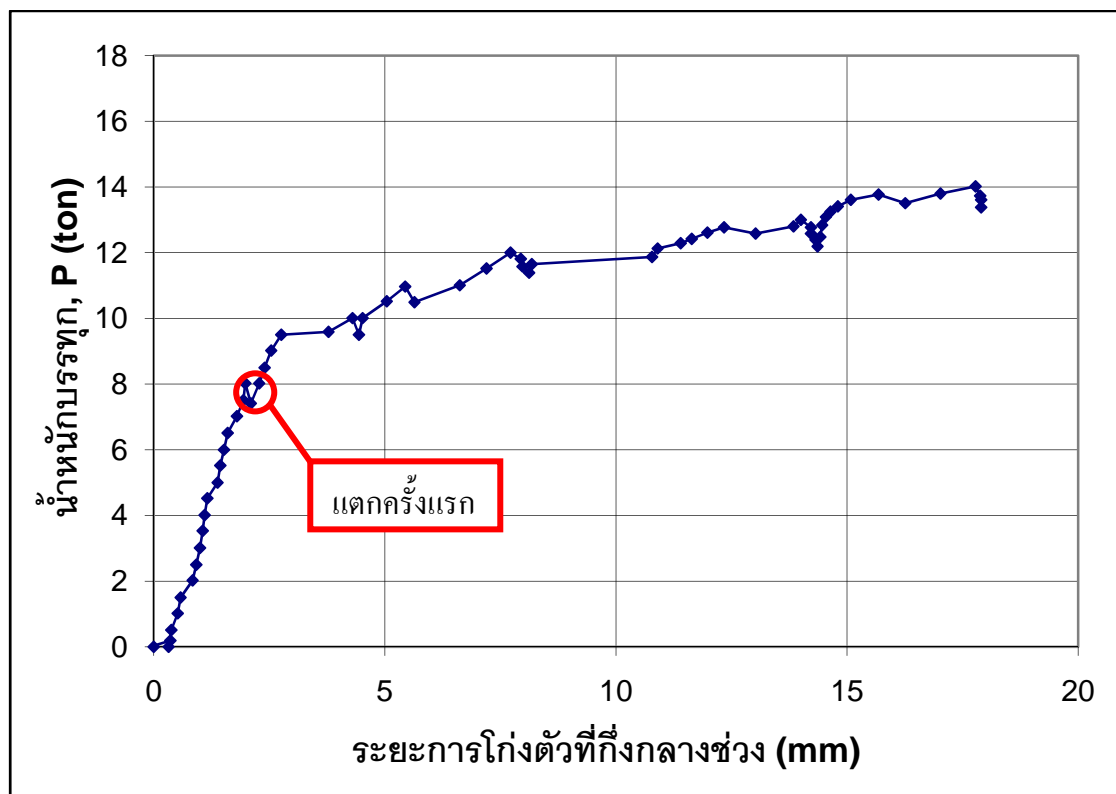
ภาพประกอบ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 (SD-30) ที่ได้มาตรฐาน



ภาพประกอบ 4.16 ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น DB12 (SD-30) ที่ได้มาตรฐาน

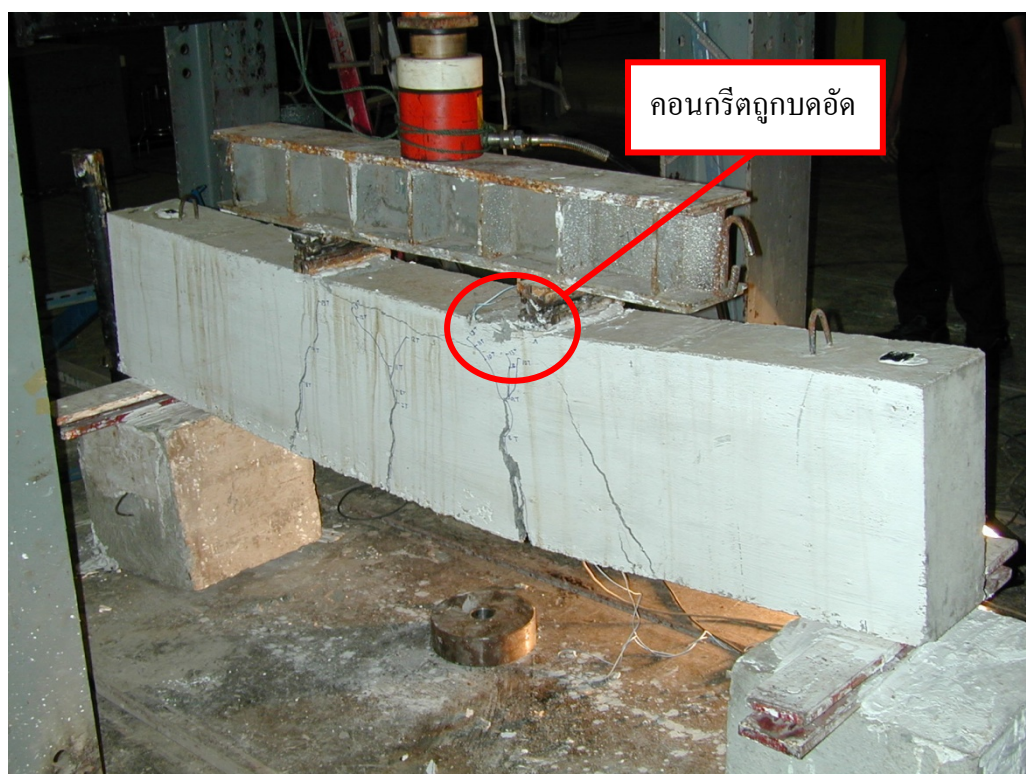
กดสูงสุดได้ 27.5 ตัน ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น DB12 ที่ได้มาตรฐานนี้ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 4.16

จากภาพประกอบ 4.16 จะเห็นลักษณะการแตกของคานคอนกรีตที่เริ่มตั้งแต่วางส่วนล่างมาก่อน แล้วแพร่กระจายมายังส่วนบนเมื่อน้ำหนักกดเพิ่มขึ้น ส่วนกึ่งกลางของช่วงจะเป็นรอยแตกในแนวตั้ง แสดงถึงลักษณะการแตกเนื่องจากการค้ำ ส่วนรอยแตกบริเวณริม (ที่ใกล้กับจุดรองรับ) มีรอยแตกเอียงทำมุม 45° แสดงถึงลักษณะการแตกเนื่องจากแรงเฉือน แต่เนื่องจากคานตัวอย่างได้ถูกออกแบบให้เสริมให้มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (เหล็กเสริมตามขวางหรือเหล็กปลอก) เกินพอ ดังนั้นเมื่อเพิ่มแรงกดไปเรื่อยๆ คานจึงพังเนื่องจากการค้ำ จนในที่สุดเมื่อระยะการค้ำตัวของคอนกรีตมากพอ คอนกรีตบริเวณส่วนผิวบนของคานตัวอย่างที่ทดสอบจึงถูกบดอัดจนแตก (Concrete crushed) (เกิดขึ้นบริเวณด้านขวาใต้น้ำหนักกดด้านซ้ายในภาพประกอบ 4.16)



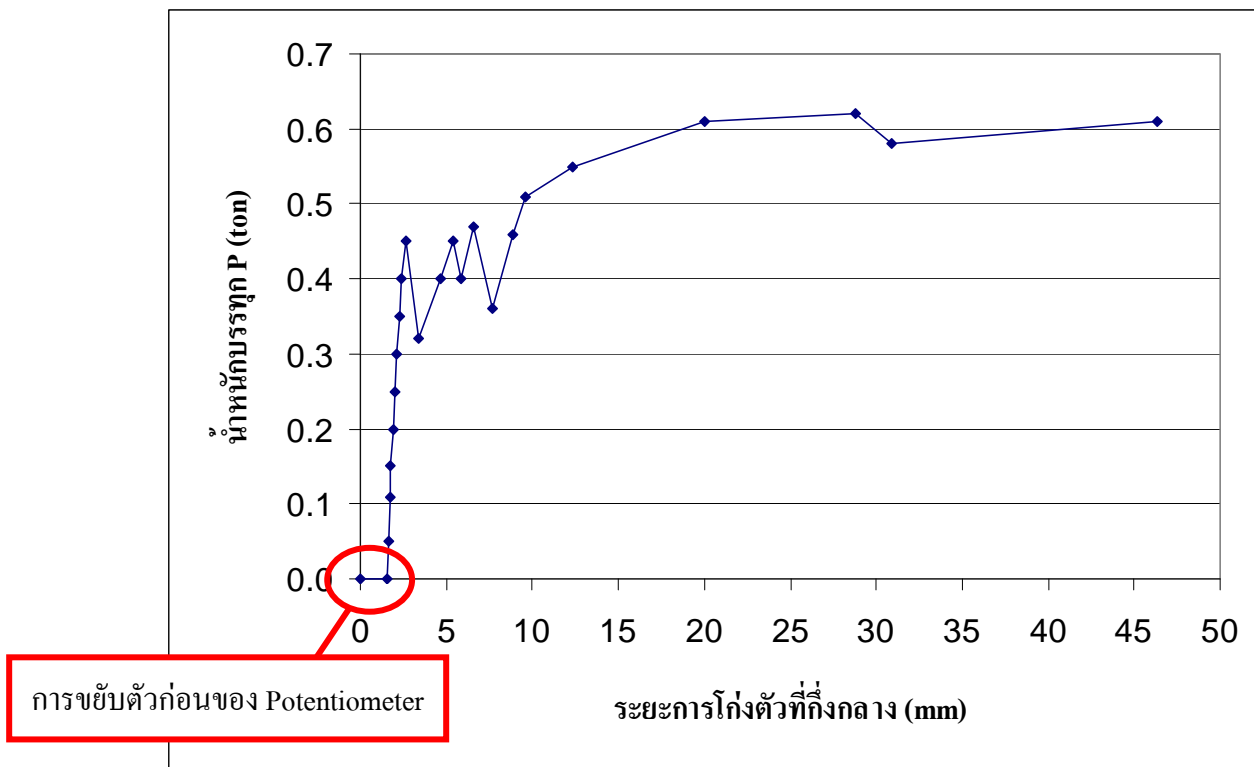
ภาพประกอบ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 (SD-30) ที่ไม่ได้มาตรฐาน

จากภาพประกอบ 4.17 จะเห็นลักษณะการแตกของคอนกรีตครั้งแรกที่สังเกตได้เกิดที่แรงกด 7.0 ตัน ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับน้ำหนักที่ทำให้เกิดการแตกครั้งแรกของคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 ที่ได้มาตรฐานคือ 7.1 ตัน (ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักที่ทำให้เกิดการแตกครั้งแรกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของคอนกรีต) คานนี้รับแรงกดสูงสุดได้ 16.3 ตัน ซึ่งต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวอย่างคานชนิดเดียวกันที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 ที่ได้มาตรฐานอยู่ 51% รูปลักษณะการแตกของคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 ที่ไม่ได้มาตรฐานนี้ ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 4.18



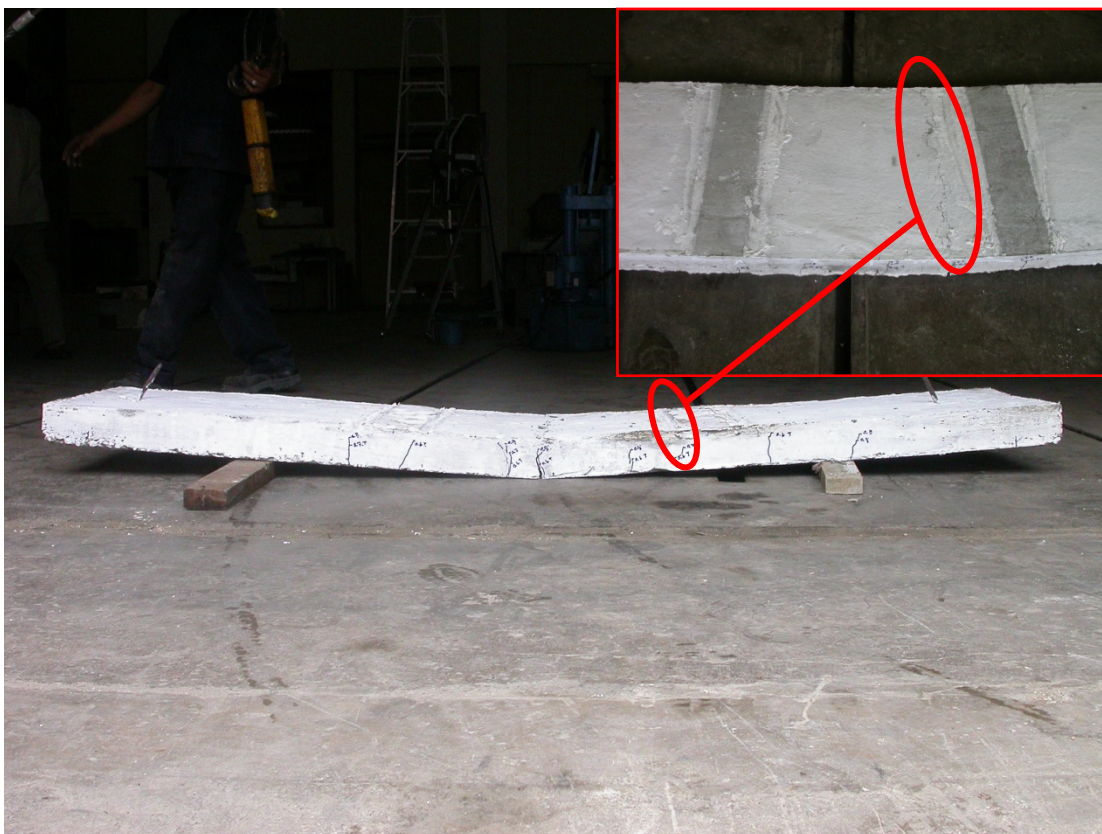
ภาพประกอบ 4.18 ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น DB12 (SD-30) ที่ไม่ได้มาตรฐาน

จากภาพประกอบ 4.18 ลักษณะการแตกของคอนกรีตคล้ายกับคานตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 ที่ได้มาตรฐานแต่มีจำนวนรอยแตกที่น้อยกว่า และมีระยะห่างระหว่างรอยแตกและความกว้างของรอยแตกที่มากกว่า (เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก DB12 ที่ได้มาตรฐาน) สำหรับคานตัวอย่างชิ้นนี้มีคอนกรีตที่ถูกบดอัดจนแตก (Concrete crushed) เกิดขึ้นบริเวณด้านซ้ายใต้น้ำหนักกดด้านขวาในภาพประกอบ 4.18



ภาพประกอบ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของพื้นทางเดียวตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก RB6 (SR-24) ที่ได้มาตรฐาน

สำหรับการทดสอบพื้นตัวอย่างนี้ เมื่อมีการเพิ่มน้ำหนักครั้งแรกมีการขยับตัวของอุปกรณ์ Potentiometer ที่ใช้วัดระยะการโก่งตัวเล็กน้อย น้ำหนักกดที่ทำให้เกิดการแตกครั้งแรกไม่สามารถสังเกตได้เนื่องจากแผ่นพื้นมีความหนาเพียง 8 cm ทำให้ไม่สามารถเห็นรอยแตกของคอนกรีตที่เกิดขึ้นครั้งแรกได้ พื้นทางเดียวชิ้นนี้รับแรงกดสูงสุดได้ 0.60 ตัน ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 ที่ได้มาตรฐานนี้ แสดงไว้ในภาพประกอบ 4.20



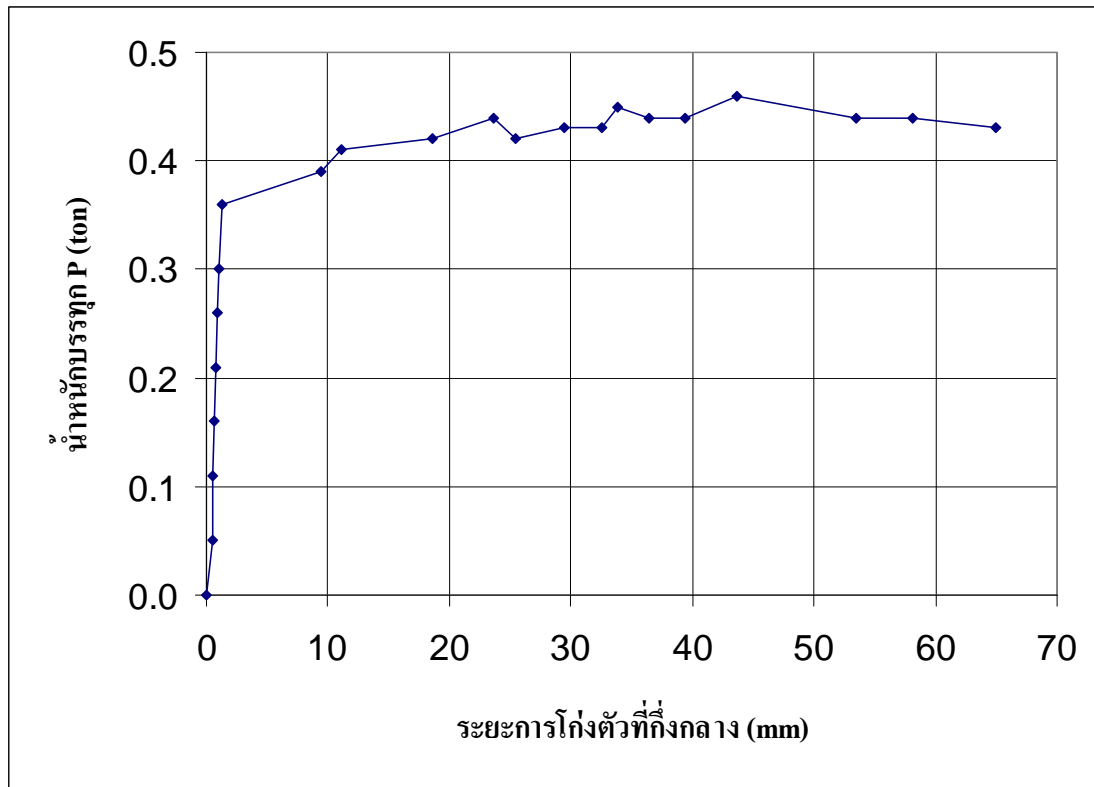
ภาพประกอบ 4.20 ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 (SR-24) ที่ได้มาตรฐาน

จากภาพประกอบ 4.20 การแตกของพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 ที่ได้มาตรฐานนี้ มีลักษณะเหมือนการแตกเนื่องจากการคัดโดยทั่วไป คือเริ่มแตกตั้งแต่ผิวล่าง แล้วรอยแตกจึงค่อย ๆ เพิ่มความยาวขึ้นไปยังผิวบน ก่อนที่คอนกรีตในส่วนที่รับแรงอัดเกิดถูกบดอัดจนแตก (ดังแสดงในภาพประกอบ 4.20 ในส่วนขยาย)

เช่นเดียวกับชิ้นส่วนตัวอย่างพื้นชิ้นอื่น ๆ น้ำหนักกดที่ทำให้เกิดการแตกครั้งแรกไม่สามารถสังเกตได้ พื้นทางเดียวชิ้นนี้รับแรงกดสูงสุดได้ 0.46 ตัน ซึ่งต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวอย่างพื้นชนิดเดียวกันที่เสริมด้วยเหล็ก RB6 ที่ได้มาตรฐานอยู่ 26% ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 ที่ได้มาตรฐานนี้ แสดงไว้ในภาพประกอบ 4.21

ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนพื้นตัวอย่างนี้ มีรอยแตกที่เห็นได้ชัดอยู่เพียงหนึ่งรอยเท่านั้น และรอยแตกนี้มีความกว้างมากกว่า รอยแตกที่เกิดขึ้นในของชิ้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วย

เหล็กเส้น RB6 ที่ได้มาตรฐาน อันเนื่องจากรูปแบบนี้มีมาจากปริมาณเหล็กเสริมที่ต่ำกว่า เช่นเดียวกับชิ้นส่วน

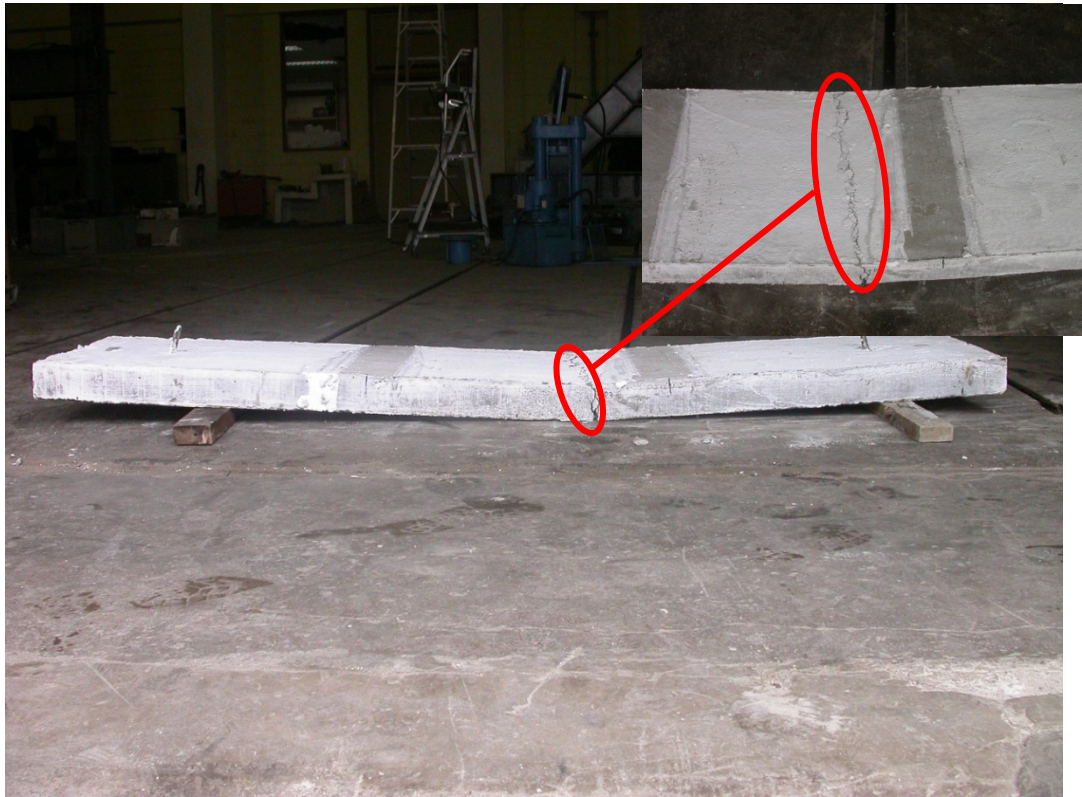


ภาพประกอบ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของพื้นทางเดียวตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก RB6 (SR-24) ที่ไม่ได้มาตรฐาน

ตัวอย่างอื่น ๆ ก่อนที่คอนกรีตในส่วนที่รับแรงอัดเกิดถูกบดอัดจนแตก (ดังแสดงในภาพประกอบ 4.22 ในส่วนขยาย)

สำหรับการทดสอบพื้นตัวอย่างนี้ รับแรงกดสูงสุดได้ 15.20 ตัน ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB9 ที่ได้มาตรฐานนี้ แสดงไว้ในภาพประกอบ 4.24

จากภาพประกอบ 4.24 การแตกของพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 ที่ได้มาตรฐานนี้ มีลักษณะเหมือนการแตกเนื่องจากการคัดโดยทั่วไป คือเริ่มแตกตั้งแต่ผิวล่าง แล้วรอยแตกจึงค่อย ๆ เพิ่มความยาวขึ้นไปยังผิวบน ก่อนที่คอนกรีตในส่วนที่รับแรงอัดเกิดถูกบดอัดจนแตก



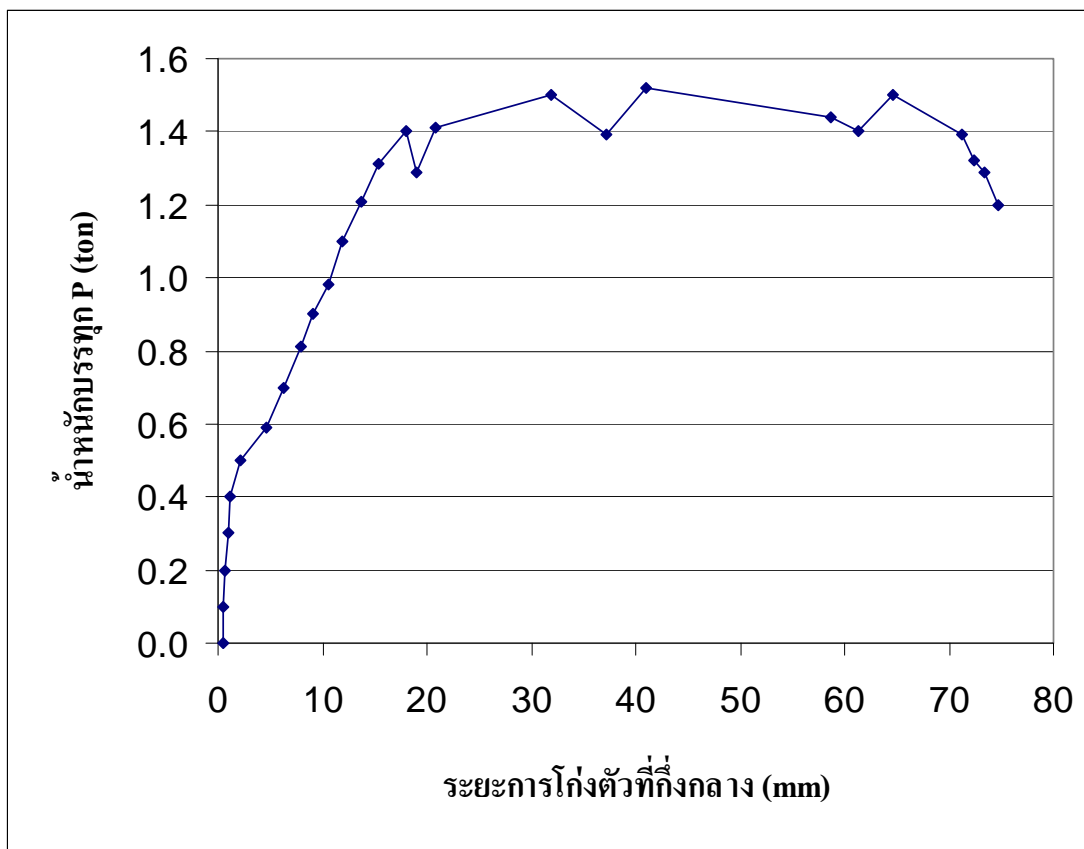
ภาพประกอบ 4.22 ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 (SR-24) ที่ไม่ได้มาตรฐาน

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้การทดสอบแบบ Pullout เพื่อหาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

ผลของการทดสอบแบบ Pullout ซึ่งเปรียบเทียบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม ระหว่างเหล็กเส้นที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน รวมถึงลักษณะการพัง (Failure Mode) ได้แสดงไว้ในตาราง 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

ตาราง 4.10 การทดสอบแบบ Pullout เหล็ก DB 12 (SD-30) ได้มาตรฐาน

ตัวอย่าง	แรงดึงสูงสุด (kg)	ลักษณะการพัง
1	6,300	ขาดที่เหล็กเสริม
2	6,260	ขาดที่เหล็กเสริม



ภาพประกอบ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโง่ตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของพื้นทางเดียวตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก RB9 (SR-24) ที่ได้มาตรฐาน

ตาราง 4.11 การทดสอบแบบ Pullout เหล็ก DB 12 (SD-30) ไม่ได้มาตรฐาน

ตัวอย่าง	แรงดึงสูงสุด (kg)	ลักษณะการพัง
1	3,270	เหล็กหลุดออกจากคอนกรีต
2	3,000	เหล็กหลุดออกจากคอนกรีต

ภาพลักษณะการพังของชิ้นตัวอย่างทดสอบแบบ Pullout ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 4.27

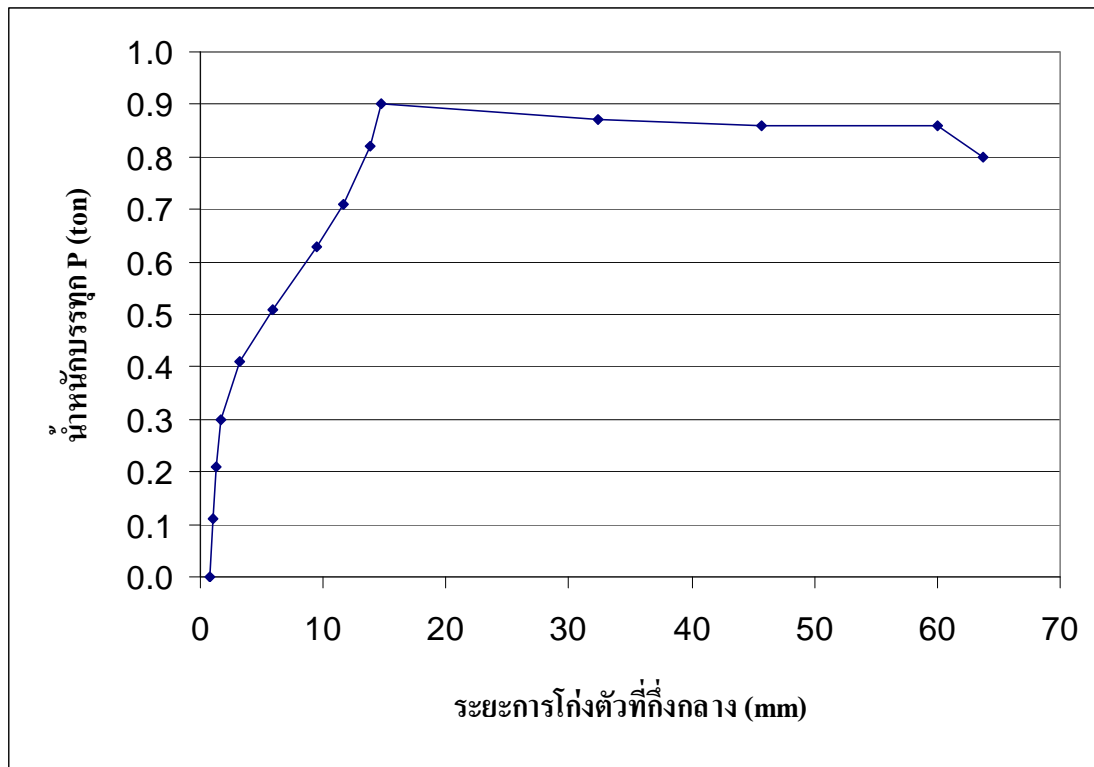


ภาพประกอบ 4.24 ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB9 (SR-24) ที่ได้มาตรฐาน

ขนาดบั้งเฉลี่ยของเหล็กเส้นตัวอย่าง DB12 ที่ใช้ในการทดสอบแบบ Pullout ได้แสดงไว้ในตาราง 4.12

ตาราง 4.12 ขนาดบั้งเฉลี่ยของเหล็กเส้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแบบ Pullout

เหล็กรับแรงดัดที่ใช้	เส้นรอบรูปที่คำนวณได้จากมวลต่อความยาว (cm)	ขนาดบั้งเฉลี่ย (mm)	เกณฑ์ส่วนสูงของบั้ง มอก.	
			ต่ำสุด	สูงสุด
DB12 (SD-30) (ได้มาตรฐาน)	3.7	0.7 (ผ่าน)	0.5	1.0
DB12 (SD-30) (ไม่ได้มาตรฐาน)	3.1	0.4 (ไม่ผ่าน)		



ภาพประกอบ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่กึ่งกลางช่วงของพื้นทางเดียวตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็ก RB9 (SR-24) ที่ไม่ได้มาตรฐาน

สาเหตุที่เหล็กเส้นตัวอย่างที่ไม่ได้มาตรฐานทั้ง 2 ตัวอย่าง หลุดออกจากคอนกรีต ในขณะที่ทำการทดสอบแบบ Pullout ในขณะที่เหล็กเส้นตัวอย่างที่ได้มาตรฐานทั้ง 2 ตัวอย่างไม่หลุด เนื่องจากเหล็กมีขนาดเล็กกว่ามาตรฐาน (ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเหล็กและคอนกรีตน้อยกว่า) และมีความสูงของบั้งน้อยกว่า เหล็กความสูงของบั้งของเหล็กเสริมตัวอย่างที่ได้มาตรฐาน (เป็นความบังเอิญที่เลือกกระยะฝั่งเหมาะสมทำให้ลักษณะการพังของการทดสอบแบบ Pullout ของเหล็กเสริมทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกัน)



ภาพประกอบ 4.26 ลักษณะการแตกของชิ้นส่วนพื้นตัวอย่างที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB9 (SR-24) ที่ไม่ได้มาตรฐาน



ภาพประกอบ 4.27 ลักษณะการดึงของชิ้นตัวอย่างทดสอบแบบ Pullout

- (ก) เหล็ก DB 12 (SD-30) ได้มาตรฐาน มีลักษณะของการดึงแบบขาดที่เหล็กเสริม
- (ข) เหล็ก DB 12 (SD-30) ไม่ได้มาตรฐาน มีลักษณะของการดึงแบบเหล็กหลุดออกจากคอนกรีต

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตขนาด RB6 RB9 DB12 และ DB16 จากสถานที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่ไม่มีการควบคุมสภาพของวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง (ไม่มีการเก็บตัวอย่างวัสดุที่ใช้ไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ) ซึ่งอยู่ในเขต กทม. และปริมณฑล จำนวน 100 แห่ง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกำลังการรับแรงคด เปรียบเทียบระหว่างคานและพื้นทางเดียว

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมและคอนกรีต

5.2 สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากเหล็กเส้นอย่างน้อยจะต้องผ่านเกณฑ์ทั้งสองดังกล่าว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสำหรับเหล็กเส้นขนาด RB6 RB9 และ DB16 มีการแพร่กระจายของเหล็กเส้นที่ไม่ได้มาตรฐานอย่างแน่ชัด ส่วนเหล็กเส้นขนาด DB12 ไม่มีการแพร่กระจายของเหล็กเส้นที่ไม่ได้มาตรฐานอย่างแน่ชัด จากกลุ่มตัวอย่างเหล็กเส้นจากการศึกษาครั้งนี้

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบกำลังการรับแรงคดของคานและพื้นตัวอย่างที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ พบว่ากำลังการรับแรงคดของชิ้นส่วนตัวอย่างที่เป็นคานที่เสริมด้วยเหล็กเส้น DB12 (SD-30) และพื้นทางเดียวที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6 และ RB9 (SR-24) มีค่าที่แตกต่างกันมากเกินกว่าร้อยละ 5 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า องค์อาคาร โครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กเส้นที่ได้มาตรฐานและไม่ได้มาตรฐาน มีกำลังการรับแรงคด ไม่แตกต่างกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

ผลที่ได้นี้น่าจะนำไปเผยแพร่เพื่อให้เจ้าของบ้านและผู้รับเหมาได้ตระหนักถึงความสำคัญของการเลือกใช้เหล็กเสริมต่อไป

ค่าทางสถิติในตารางที่ 4.3 นี้สามารถนำไปใช้ในการเลือกตัวคูณลดกำลัง (Strength reduction factor) สำหรับ “กรณีที่ 2” ในร่างกฎกระทรวงด้านวิศวกรรมโครงสร้างและปฐพี คือกรณีที่ไม่มีการระบุมาตรฐานงานก่อสร้าง และการควบคุมคุณภาพวัสดุเป็นอย่างดีสำหรับมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตสำหรับประเทศไทยต่อไปในอนาคต ซึ่งผู้วิจัยได้นำไปใช้แล้วใน (ฉัตร สุจินดา, 2548, 2549a, 2549b)

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

นั้ตร สุจินดา. “การเลือกตัวคูณลดกำลังสำหรับการออกแบบเสาสั้นรับแรงอัดตามแนวแกน โดยพิจารณาถึงข้อมูลทางสถิติของมาตรฐานงานก่อสร้างและวัสดุในเขต กทม.” การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 2 25-27 ตุลาคม 2549, โรงแรมเจริญศรี แกรนด์ รอยัล จ. อุตรธานี.

นั้ตร สุจินดา. “การเลือกตัวคูณลดกำลังสำหรับการออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือนในคาน โดยพิจารณาถึงการกระจายของกำลังครากของเหล็กเส้นจากบ้านพักอาศัย ในเขตกรุงเทพมหานคร.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11 20 - 22 เมษายน 2549 Merlin Beach Hotel จ. ภูเก็ต.

นั้ตร สุจินดา. “การเลือกตัวคูณลดกำลังเพื่อใช้ในการออกแบบโมเมนต์ดัดในคานและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยพิจารณาถึงการกระจายของมวลต่อความยาวของเหล็กเส้น สำหรับบ้านพักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล” การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 1 25 - 27 ตุลาคม 2548 ระยองรีซอร์ท จ. ระยอง.

คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา ประจำปี 2537-2538, มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ว.ส.ท. 1008-38. กทม : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2538.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย, เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม (มอก.20-2543). กทม, 2543.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย, เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย (มอก.24-2548). กทม, 2548.

AISC. **Specification of Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-050)**. Chicago, IL, 2005.

ACI Committee 318. **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-63)**. Farmington Hill, MI : American Concrete Institute, 1963.

ACI Committee 318. **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-71)**. Farmington Hill, MI : American Concrete Institute, 1971.

- ACI Committee 318. **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-05)**. Farmington Hill, MI : American Concrete Institute, 2005.
- ASCE Committee. **Minimum Design Load for Buildings and Other Structures (SEI/ASCE 7-02)**. New York, 2002.
- ASTM Subcommittee C09.61. **Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Specimens (ASTM C39/C39M-05)**. ASTM, 2005.
- ASTM Subcommittee C09.64. **C900-06 Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete**. West Conshohocken, PA : ASTM, 2006.
- Ellingwood, B., Galambos, T. V., MacGregor, J. G. and Cornell, C. A. **Development of Probability Based Load Criterion for American National Standard A58, NBS Special Report 577**. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1980.
- Mattock, A. H.; Kriz, L. B.; and Hognestad, E. "Rectangular Concrete Stress Distribution in Ultimate Stress Design," **ACI Journal**. 57(8) : 875-928 ; Feb, 1961.
- Melchers, R. E. **Structural Reliability Analysis and Prediction**. 2nd ed. West Sussex, England: John Wiley & Sons, 1999.
- Nowak, A. S. and Collins, K. R. **Reliability of Structures**. New York : McGraw-Hill, 2000.
- Nowak, A. S. and Szerszen, M. M. "Calibration of Design Code for Building (ACI318): Part 1 – Statistical Models for Resistance," **ACI Structural Journal**. 100(3) : 377-382; May-June, 2003.
- Szerszen, M. M. and Nowak, A. S. "Calibration of Design Code for Building (ACI318): Part 2 – Reliability Analysis and Resistance Factor." **ACI Structural Journal**. 100(3) : 383-391; May-June, 2003.

Vose, D. **Risk Analysis – A Quantitative Guide**. West Sussex, England: John Wiley and Sons, 2000.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่าง

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
1	6.00	700	0.16	0.22	99.9%	0.283	1.19	1.64	4,208	5,799	131%	
2	5.97	699	0.15	0.22	98.9%	0.280						
3	5.97	701	0.15	0.22	98.9%	0.280						
4	6.00	701	0.16	0.22	99.9%	0.283	1.162	1.626	4,109	5,750	136%	
5	5.97	701	0.15	0.22	98.9%	0.280						
6	5.92	700	0.15	0.22	97.3%	0.275	1.042	1.464	3,785	5,318	148%	
7	5.70	700	0.14	0.20	90.2%	0.255						
8	5.97	701	0.15	0.22	98.9%	0.280						
9	5.96	700	0.15	0.22	98.6%	0.279	1.064	1.434	3,813	5,139	131%	NTS
10	5.98	700	0.15	0.22	99.3%	0.281						
11	5.97	700	0.15	0.22	98.9%	0.280	0.916	1.302	3,272	4,650	133%	CTS
12	6.00	700	0.16	0.22	99.9%	0.283	0.884	1.288	3,126	4,554	134%	บลกท
13	5.27	701	0.12	0.17	77.1%	0.218	0.844	1.122	3,869	5,143	131%	-
14	5.22	700	0.12	0.17	75.6%	0.214						

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
15	5.93	693	0.15	0.22	97.6%	0.276	0.826	1.128	2,990	4,083	130%	-
16	5.27	699	0.12	0.17	77.1%	0.218	0.836	1.124	3,832	5,152	131%	-
17	6.00	702	0.16	0.22	99.9%	0.283	0.85	1.134	3,006	4,010	137%	-
18	5.12	707	0.11	0.16	72.8%	0.206	0.968	1.456	4,701	7,070	127%	บลกท
19	5.28	700	0.12	0.17	77.4%	0.219	0.846	1.142	3,863	5,215	130%	
20	6.00	697	0.15	0.22	99.9%	0.283	0.958	1.432	3,388	5,064	131%	บลกท
21	5.30	701	0.12	0.17	78.0%	0.221	0.884	1.176	4,006	5,329	195%	
22	6.00	701	0.16	0.22	99.9%	0.283	0.822	1.132	2,907	4,003	131%	-
23	5.27	700	0.12	0.17	77.1%	0.218	0.996	1.464	4,565	6,710	134%	บลกท
24	5.92	701	0.15	0.22	97.3%	0.275	0.984	1.47	3,574	5,340	131%	บลกท
25	5.65	702	0.14	0.20	88.6%	0.251	0.874	1.192	3,485	4,753	142%	CTS
26	5.75	702	0.14	0.20	91.8%	0.260	1.022	1.384	3,935	5,329	129%	NTS
27	5.90	702	0.15	0.21	96.6%	0.273	0.864	1.182	3,160	4,323	138%	CTS
28	5.68	701	0.14	0.20	89.6%	0.253	0.894	1.2	3,528	4,735	135%	CTS

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
29	5.85	701	0.15	0.21	95.0%	0.269	1.04	1.398	3,869	5,200	131%	NTS
30	5.85	701	0.15	0.21	95.0%	0.269	1.082	1.438	4,025	5,349	131%	NTS
31	6.00	695	0.15	0.22	99.9%	0.283	1.11	1.694	3,925	5,990	121%	LL
32	5.90	702	0.15	0.21	96.6%	0.273	1.178	1.584	4,308	5,793	126%	-
33	5.93	702	0.15	0.22	97.6%	0.276	1.03	1.4	3,729	5,068	133%	NTS
34	5.88	701	0.15	0.21	96.0%	0.272	0.932	1.43	3,432	5,265	132%	บลกท
35	5.80	701	0.15	0.21	93.4%	0.264						
36	5.95	701	0.15	0.22	98.3%	0.278	0.752	1.02	2,704	3,668	131%	-
37	5.25	702	0.12	0.17	76.5%	0.217	1.052	1.418	4,859	6,549	139%	NTS
38	6.00	702	0.16	0.22	99.9%	0.283						
39	5.28	701	0.12	0.17	77.4%	0.219	1.162	1.63	5,306	7,443	115%	-
40	5.35	700	0.12	0.18	79.5%	0.225	1.174	2.322	5,221	10,327	118%	BSBM
41	5.90	702	0.15	0.21	96.6%	0.273						
42	5.88	700	0.15	0.21	96.0%	0.272						

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
43	5.90	703	0.15	0.21	96.6%	0.273						
44	5.60	703	0.14	0.19	87.0%	0.246						
45	5.65	701	0.14	0.20	88.6%	0.251						
46	5.88	700	0.15	0.21	96.0%	0.272						
47	5.80	700	0.15	0.21	93.4%	0.264						
48	5.85	701	0.15	0.21	95.0%	0.269	0.914	1.268	3,400	4,717	143%	
49	6.00	701	0.16	0.22	99.9%	0.283						
50	5.55	702	0.13	0.19	85.5%	0.242						
51	5.88	702	0.15	0.21	96.0%	0.272						
52	5.85	702	0.15	0.21	95.0%	0.269						
53	5.18	700	0.12	0.17	74.5%	0.211						
54	6.00	702	0.16	0.22	99.9%	0.283						
55	5.90	701	0.15	0.21	96.6%	0.273	1.002	1.398	3,664	5,112	129%	NTS
56	5.90	701	0.15	0.21	96.6%	0.273						

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
57	6.00	701	0.16	0.22	99.9%	0.283						
58	5.90	701	0.15	0.21	96.6%	0.273						
59	5.87	700	0.15	0.21	95.6%	0.271						
60	5.78	701	0.14	0.21	92.7%	0.262						
61	5.68	701	0.14	0.20	89.6%	0.253						
62	5.93	699	0.15	0.22	97.6%	0.276						
63	5.73	701	0.14	0.20	91.1%	0.258						
64	6.00	699	0.16	0.22	99.9%	0.283						
65	6.00	701	0.16	0.22	99.9%	0.283						
66	5.55	705	0.13	0.19	85.5%	0.242						
67	5.93	697	0.15	0.22	97.6%	0.276						
68												
69	5.88	698	0.15	0.21	96.0%	0.272						
70	6.00	699	0.16	0.22	99.9%	0.283						

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
71	6.00	697	0.15	0.22	99.9%	0.283						
72	6.00	699	0.16	0.22	99.9%	0.283						
73	5.53	698	0.13	0.19	84.9%	0.240						
74	5.60	700	0.14	0.19	87.0%	0.246						
75	6.00	700	0.16	0.22	99.9%	0.283						
76	6.00	686	0.15	0.22	99.9%	0.283						
77	5.93	700	0.15	0.22	97.6%	0.276						
78	6.00	700	0.16	0.22	99.9%	0.283						
79	6.00	699	0.16	0.22	99.9%	0.283						
80	5.98	701	0.15	0.22	99.1%	0.280						
81	5.95	697	0.15	0.22	98.3%	0.278	1.298	1.67	4,667	6,005	128%	
82	5.90	700	0.15	0.21	96.6%	0.273	1.322	1.682	4,835	6,151	137%	
83	5.55	702	0.13	0.19	85.5%	0.242	0.914	1.23	3,777	5,083	135%	
84	5.93	700	0.15	0.22	97.6%	0.276	1.102	1.516	3,989	5,488	141%	

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
85	5.73	700	0.14	0.20	91.1%	0.258	0.918	1.572	3,559	6,095		
86	6.00	700	0.16	0.22	99.9%	0.283	1.288	1.66	4,554	5,870	135%	
87	5.85	700	0.15	0.21	95.0%	0.269	1.374	1.544	5,111	5,743	142%	
88	6.00	701	0.16	0.22	99.9%	0.283	1.562	1.682	5,523	5,948	140%	
89	5.95	697	0.15	0.22	98.3%	0.278	1.292	1.672	4,646	6,012	134%	
90	6.00	698	0.15	0.22	99.9%	0.283	1.326	1.506	4,689	5,325	140%	
91	5.53	697	0.13	0.19	84.9%	0.240	0.838	1.19	3,488	4,954	138%	
92	5.30	695	0.12	0.17	78.0%	0.221	0.838	1.188	3,798	5,384	144%	
93	6.00	700	0.16	0.22	99.9%	0.283	1.164	1.648	4,116	5,827	130%	
94	5.20	697	0.12	0.17	75.1%	0.212	1.422	1.434	6,695	6,751	118%	
95	5.95	697	0.15	0.22	98.3%	0.278	1.144	1.426	4,114	5,128	141%	
96	5.58	699	0.13	0.19	86.4%	0.245	1.202	1.694	4,914	6,926	136%	
97	5.88	702	0.15	0.21	96.0%	0.272	0.884	1.376	3,255	5,066	141%	
98	5.43	697	0.13	0.18	81.8%	0.232	1.12	1.366	4,836	5,898	143%	

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้น ผ่า ศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อ ความยาว kg/m	มวล เทียบกับ มอก. %	พื้นที่ หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
99	6.00	702	0.16	0.22	99.9%	0.283	1.064	1.334	3,762	4,717	139%	
100	5.43	697	0.13	0.18	81.8%	0.232	0.95	1.282	4,102	5,535	145%	

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 ที่ไม่ทราบมวลต่อความยาว (ตัวอย่างบางส่วนที่ถูกดึงโดยไม่มีกรับฉีกหมายเลข)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
1							1.002	1.362			137%	
2							0.986	1.354			141%	
3							0.822	1.13			153%	
4							1.004	1.356			131%	
5							0.918	1.296			133%	
6							1.122	1.394			129%	
7							1.152	1.582			133%	
8							0.926	1.36			130%	
9							1.066	1.406			127%	
10							0.894	1.208			125%	
11							0.89	1.158			126%	
12							0.984	1.3			133%	
13							0.982	1.374			137%	
14							1.208	1.638			122%	

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 ที่ไม่ทราบมวลต่อความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
15							0.936	1.3			115%	
16							0.756	1.068			126%	
17							0.946	1.308			123%	
18							0.88	1.238			138%	
19							0.822	1.21			138%	
20							0.815	1.285			241%	
21							0.994	1.414			246%	
22							0.992	1.368			148%	
23							0.966	1.376			225%	
24							0.954	1.402			255%	
25							1.01	1.464			242%	
26							0.945	1.188			237%	
27							0.984	1.466			246%	
28							0.756	1.484			236%	

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 ที่ไม่ทราบมวลต่อความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
29							1.101	1.46			237%	
30							1.004	1.346			256%	
31							0.998	1.324			245%	
32							0.826	1.078			248%	
33							0.9	1.176			246%	
34							1.1	1.578			261%	
35							1.018	1.458			249%	
36							1.062	1.5			247%	
37							1.172	1.482			252%	
38							1.132	1.59			259%	
39							1.17	1.506			248%	
40							2.066	2.222			238%	
41							1.47	1.634			260%	
42							0.966	1.268			259%	

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB6 ที่ไม่ทราบมวลต่อความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
43							0.976	1.284			268%	
44							0.91	1.244			259%	

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
1	9.00	698	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.29	3	3,600	4,716	32%	
2	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.15	2.99	3,380	4,700	66%	
3	9.00	698	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.22	2.83	3,490	4,448	54%	
4	9.00	700	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.03	2.72	3,191	4,276	62%	
5	9.00	700	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.43	3.01	3,820	4,731	29%	
6	8.90	701	0.34	0.49	97.8%	0.622	2.36	3.14	3,793	5,047	47%	
7	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.5	3.48	3,930	5,470	44%	
8	8.97	700	0.35	0.50	99.4%	0.632	2.38	3.19	3,766	5,048	53%	
9	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	1.77	2.3	2,782	3,615	55%	
10	7.22	700	0.22	0.32	64.4%	0.409	2.28	3	5,569	7,327	51%	
11	8.42	699	0.31	0.44	87.6%	0.557	1.53	2.27	2,748	4,077	35%	
12	9.00	699	0.35	0.50	100.0%	0.636	1.04	3.33	1,635	5,234	39%	
13	6.55	700	0.19	0.26	53.0%	0.337						
14	6.83	700	0.20	0.29	57.6%	0.366	2.35	3.18	6,414	8,679	47%	

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
15	8.96	701	0.35	0.49	99.1%	0.631	1.41	1.82	2,236	2,886	38%	
16	7.50	700	0.24	0.35	69.5%	0.442						
17	8.77	698	0.33	0.47	95.0%	0.604						
18	8.88	699	0.34	0.49	97.4%	0.619	2.64	3.89	4,263	6,281	41%	
19	7.33	701	0.23	0.33	66.4%	0.422	2.2	2.9	5,213	6,872	65%	
20	8.92	700	0.34	0.49	98.3%	0.625	2.3	3.38	3,680	5,409	47%	
21	9.00	705	0.35	0.50	100.0%	0.636	1.25	1.75	1,965	2,751	52%	
22	8.93	701	0.34	0.49	98.5%	0.626	1.29	1.75	2,060	2,794	48%	
23	6.60	702	0.19	0.27	53.8%	0.342	2.6	3.84	7,600	11,224	43%	
24	8.98	700	0.35	0.50	99.6%	0.633	2.65	3.85	4,184	6,079	40%	
25	9.00	704	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.54	2.95	3,993	4,637	47%	
26	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.13	3	3,348	4,716	58%	
27	8.35	702	0.30	0.43	86.1%	0.548	2.61	2.97	4,766	5,424	41%	
28	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.58	2.98	4,055	4,684	49%	

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
29	8.85	701	0.34	0.48	96.7%	0.615	2.15	3.13	3,495	5,088	53%	
30	8.90	702	0.34	0.49	97.8%	0.622	2.17	2.87	3,488	4,613	61%	
31	8.95	695	0.34	0.49	98.9%	0.629						
32	8.92	701	0.34	0.49	98.3%	0.625	2.06	2.89	3,296	4,625	48%	
33	8.88	701	0.34	0.49	97.4%	0.619	2.18	3.15	3,520	5,086	59%	
34	9.00	700	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.1	2.97	3,301	4,668	50%	
35	8.95	702	0.35	0.49	98.9%	0.629	2.18	3.11	3,465	4,943	58%	
36	9.00	702	0.35	0.50	100.0%	0.636	1.35	1.99	2,122	3,128	48%	
37	7.68	700	0.25	0.36	72.8%	0.463	2.21	3.14	4,771	6,778	53%	
38	8.60	702	0.32	0.46	91.3%	0.581	1.17	1.6	2,014	2,754	42%	
39	7.20	701	0.22	0.32	64.0%	0.407	1.25	1.59	3,070	3,905	51%	
40	6.48	700	0.18	0.26	51.9%	0.330	2.2	3.36	6,671	10,188	46%	
41	8.88	702	0.34	0.49	97.4%	0.619	2.58	3.02	4,166	4,876	38%	
42	8.80	699	0.33	0.48	95.6%	0.608	2.07	2.87	3,403	4,719	57%	

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
43	9.00	703	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.07	2.85	3,254	4,480	60%	
44	9.00	703	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.13	2.99	3,348	4,700	57%	
45	8.90	700	0.34	0.49	97.8%	0.622	2.15	3.12	3,456	5,015	53%	
46	9.00	699	0.35	0.50	100.0%	0.636						
47	9.00	700	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.65	2.93	4,165	4,606	47%	
48	8.93	703	0.35	0.49	98.5%	0.626	2.54	2.93	4,055	4,678	47%	
49	8.93	701	0.34	0.49	98.5%	0.626	2.17	3.18	3,465	5,077	56%	
50	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.54	2.87	3,993	4,511	41%	
51	9.00	702	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.25	3.29	3,537	5,171	50%	
52	9.00	702	0.35	0.50	100.0%	0.636	1.99	2.95	3,128	4,637	39%	
53	8.83	699	0.34	0.48	96.3%	0.612	1.51	2.03	2,466	3,315	49%	
54	7.50	702	0.24	0.35	69.5%	0.442	2.19	3.23	4,957	7,311	54%	
55	8.98	701	0.35	0.50	99.6%	0.633	2.12	3.11	3,347	4,910	52%	
56	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	1.78	2.54	2,798	3,993	65%	

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
57	8.90	703	0.34	0.49	97.8%	0.622	2.04	2.8	3,279	4,501	55%	
58	8.83	701	0.34	0.48	96.3%	0.612	2.15	2.81	3,511	4,589	56%	
59	9.00	702	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.14	3.17	3,364	4,983	56%	
60	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.54	2.95	3,993	4,637	45%	
61	7.85	700	0.27	0.38	76.1%	0.484	1.42	2.06	2,934	4,256	50%	
62	8.93	699	0.34	0.49	98.5%	0.626	2.59	3.13	4,135	4,997	56%	
63	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.61	3.11	4,103	4,889	47%	
64	9.00	699	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.26	3.14	3,552	4,936	57%	
65	8.88	701	0.34	0.49	97.4%	0.619	2.31	3.36	3,730	5,425	43%	
66	7.88	699	0.27	0.38	76.7%	0.488	1.61	2.28	3,301	4,675	50%	
67	8.90	702	0.34	0.49	97.8%	0.622	2.33	3.34	3,745	5,369	46%	
68	8.00	702	0.28	0.39	79.0%	0.503	2.14	2.93	4,257	5,829	54%	
69	8.95	700	0.35	0.49	98.9%	0.629	1.88	2.54	2,988	4,037	61%	
70	9.00	699	0.35	0.50	100.0%	0.636	1.9	2.62	2,987	4,118	62%	

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
71	9.00	699	0.35	0.50	100.0%	0.636	1.89	2.63	2,971	4,134	49%	
72	9.00	699	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.03	2.85	3,191	4,480	55%	
73	8.35	695	0.30	0.43	86.1%	0.548	2.12	2.98	3,871	5,442	51%	
74	8.13	702	0.29	0.41	81.6%	0.519	1.93	2.6	3,718	5,008	55%	
75	9.00	699	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.06	2.92	3,238	4,590	56%	
76	8.93	702	0.34	0.49	98.5%	0.626	2.53	3.82	4,039	6,099	36%	
77	8.68	698	0.32	0.46	93.0%	0.592	2.33	3.31	3,938	5,594	50%	
78	8.90	699	0.34	0.49	97.8%	0.622	2.56	3.82	4,115	6,140	40%	
79	9.00	702	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.6	3.79	4,087	5,957	39%	
80	8.55	700	0.32	0.45	90.3%	0.574	1.85	2.54	3,222	4,424	56%	
81	8.95	678	0.33	0.49	98.9%	0.629	2.06	2.93	3,274	4,657	57%	
82	8.93	701	0.34	0.49	98.5%	0.626	1.93	2.63	3,081	4,199	67%	
83	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.15	3.14	3,380	4,936	48%	
84	9.00	699	0.35	0.50	100.0%	0.636	2.16	3.17	3,395	4,983	47%	

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
85	8.23	700	0.29	0.42	83.6%	0.532	1.88	2.38	3,534	4,474	47%	
86	8.90	699	0.34	0.49	97.8%	0.622	1.97	2.7	3,167	4,340	62%	
87	8.98	700	0.35	0.50	99.5%	0.633	2.18	3.15	3,446	4,979	51%	
88	9.00	701	0.35	0.50	100.0%	0.636	1.89	2.69	2,971	4,228	57%	
89	9.00	697	0.35	0.50	100.0%	0.636						
90	8.93	698	0.34	0.49	98.5%	0.626						
91	8.00	698	0.28	0.39	79.0%	0.503	1.912	2.614	3,804	5,200	202%	
92	7.98	695	0.27	0.39	78.6%	0.500						
93	9.00	700	0.35	0.50	100.0%	0.636						
94	6.73	700	0.20	0.28	55.9%	0.356						
95	9.00	698	0.35	0.50	100.0%	0.636						
96	7.80	698	0.26	0.37	75.1%	0.478						
97	9.00	700	0.35	0.50	100.0%	0.636						
98	9.00	697	0.35	0.50	100.0%	0.636						

ตารางที่ ก.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
99	9.00	699	0.35	0.50	100.0%	0.636						
100	8.28	697	0.29	0.42	84.7%	0.538						

ตารางที่ ก.4 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด RB9 ที่ไม่ทราบมวลต่อความยาว (ตัวอย่างบางส่วนที่ถูกดึงโดยไม่มีกรับฉีกหมายเลข)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
1							1.264	1.586			219%	
2							1.26	1.502			215%	
3							2.562	2.988			200%	
4							2.375	3.2			358%	
5							2.205	3.28			367%	
6							1.985	2.7			353%	
7							3.41	3.96			324%	
8							3.345	3.92			334%	
9							1.955	2.765			362%	
10							2.365	3.415			348%	
11							2.01	2.85			378%	
12							1.455	1.935			370%	
13							1.405	1.915			358%	

ตารางที่ ก.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
1	11.10	700	0.53	0.76	85.50%	0.966						
2	11.47	700	0.57	0.81	91.30%	1.032	5.110	7.920	4,953	7,677	128.3%	
3	11.50	701	0.57	0.81	91.77%	1.037						
4	11.50	699	0.57	0.81	91.77%	1.037						
5	11.57	700	0.58	0.82	92.90%	1.050						
6	11.52	700	0.57	0.82	92.09%	1.041						
7	11.28	700	0.55	0.78	88.30%	0.998						
8	11.17	700	0.54	0.77	86.58%	0.978						
9	11.65	701	0.59	0.84	94.18%	1.064						
10	10.27	700	0.45	0.65	73.19%	0.827						
11	11.40	700	0.56	0.80	90.19%	1.019						
12	11.65	700	0.59	0.84	94.18%	1.064						
13	9.80	700	0.41	0.59	66.65%	0.753						
14	9.82	701	0.42	0.59	66.92%	0.756						

ตารางที่ ก.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
15	11.35	700	0.56	0.79	89.40%	1.010						
16	10.10	702	0.44	0.63	70.79%	0.800						
17	11.37	699	0.56	0.80	89.71%	1.014						
18	11.45	701	0.57	0.81	90.98%	1.028	6.870	7.915	6,683	7,699	124.0%	
19	10.13	703	0.44	0.63	71.21%	0.805						
20	11.60	699	0.58	0.83	93.38%	1.055						
21	10.03	699	0.43	0.62	69.81%	0.789	3.675	5.725	4,659	7,257	129.7%	
22	11.63	702	0.59	0.83	93.86%	1.061						
23	9.92	701	0.43	0.61	68.29%	0.772	5.250	8.380	6,803	10,860	8.8%	
24	11.23	700	0.54	0.78	87.52%	0.989						
25	11.55	703	0.58	0.82	92.57%	1.046	5.150	7.910	4,923	7,561	120.8%	
26	11.70	701	0.59	0.84	94.99%	1.073						
27	11.20	701	0.54	0.77	87.05%	0.984	5.160	8.130	5,246	8,265	125.0%	
28	11.70	701	0.59	0.84	94.99%	1.073	4.990	8.090	4,649	7,537	129.7%	

ตารางที่ ก.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
29	11.20	700	0.54	0.77	87.05%	0.984	4.760	7.010	4,839	7,127	123.3%	
30	11.35	700	0.56	0.79	89.40%	1.010	5.050	7.780	4,999	7,702	122.8%	
31	11.80	701	0.60	0.86	96.63%	1.092	4.330	6.240	3,966	5,715	128.8%	
32	11.82	702	0.60	0.86	96.95%	1.096	5.535	8.015	5,052	7,316	129.7%	
33	11.42	702	0.56	0.80	90.50%	1.023	4.710	6.655	4,606	6,507	133.5%	
34	11.20	701	0.54	0.77	87.05%	0.984	5.065	7.123	5,149	7,241	130.5%	
35	11.55	702	0.58	0.82	92.57%	1.046	5.160	7.705	4,933	7,366	126.5%	
36	11.45	702	0.57	0.81	90.98%	1.028	2.605	3.610	2,534	3,511	134.2%	
37	9.83	701	0.42	0.60	67.06%	0.758	5.250	8.060	6,929	10,637	127.8%	
38	11.50	702	0.57	0.81	91.77%	1.037	2.790	3.940	2,690	3,799	128.7%	
39	9.63	699	0.40	0.57	64.35%	0.727	2.655	3.610	3,651	4,964	133.7%	
40	9.98	698	0.43	0.61	69.12%	0.781	4.780	6.800	6,120	8,706	130.2%	
41	11.30	701	0.55	0.79	88.61%	1.001						
42	11.28	697	0.55	0.78	88.30%	0.998	4.750	7.100	4,761	7,116	133.7%	

ตารางที่ ก.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
43	11.15	704	0.54	0.77	86.27%	0.975	4.820	7.030	4,944	7,211	120.8%	
44	11.45	702	0.57	0.81	90.98%	1.028	4.790	7.060	4,659	6,867	128.2%	
45	10.87	701	0.51	0.73	81.99%	0.927	4.690	6.660	5,062	7,188	125.8%	
46	11.23	699	0.54	0.78	87.52%	0.989	4.500	6.540	4,550	6,613	132.0%	
47	11.63	700	0.58	0.83	93.86%	1.061	5.000	7.900	4,714	7,448	132.7%	
48	11.53	703	0.58	0.82	92.25%	1.042	5.160	8.120	4,950	7,789	123.8%	
49	11.48	701	0.57	0.81	91.46%	1.033	4.830	7.080	4,674	6,851	128.5%	
50	11.58	701	0.58	0.83	93.06%	1.052	5.130	8.150	4,879	7,751	125.0%	
51	11.68	701	0.59	0.84	94.67%	1.070	5.440	7.560	5,085	7,067	132.2%	
52	11.88	702	0.61	0.87	97.94%	1.107	5.565	7.755	5,028	7,007	127.2%	
53	11.38	697	0.56	0.80	89.87%	1.016	5.325	7.960	5,244	7,838	125.0%	
54	11.45	701	0.57	0.81	90.98%	1.028	4.255	6.325	4,139	6,152	133.3%	
55	11.45	705	0.57	0.81	90.98%	1.028	4.630	6.565	4,504	6,386	128.7%	
56	11.50	700	0.57	0.81	91.77%	1.037	4.525	6.945	4,363	6,697	132.8%	

ตารางที่ ก.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
57	11.88	700	0.61	0.87	97.94%	1.107	4.440	6.745	4,012	6,095	128.3%	
58	11.68	701	0.59	0.84	94.67%	1.070	4.895	7.015	4,576	6,557	125.5%	
59	11.55	701	0.58	0.82	92.57%	1.046	5.015	8.130	4,794	7,772	127.3%	
60	11.48	701	0.57	0.81	91.46%	1.033						
61	9.83	703	0.42	0.60	67.06%	0.758	2.835	3.870	3,741	5,107	132.7%	
62	11.25	700	0.55	0.78	87.83%	0.992	4.975	7.095	5,013	7,149	125.0%	
63	11.50	701	0.57	0.81	91.77%	1.037	5.150	8.110	4,966	7,820	127.0%	
64	11.20	699	0.54	0.77	87.05%	0.984	6.185	7.680	6,288	7,808	126.2%	
65	11.48	704	0.57	0.81	91.46%	1.033	4.200	6.325	4,064	6,120	133.3%	
66	10.75	703	0.50	0.71	80.19%	0.906						
67	11.58	700	0.58	0.83	93.06%	1.052	5.340	8.300	5,078	7,893	120.0%	
68	10.80	702	0.50	0.72	80.94%	0.915						
69	11.40	700	0.56	0.80	90.19%	1.019	5.980	7.465	5,868	7,325	125.0%	
70	11.83	698	0.60	0.86	97.12%	1.097	5.255	8.290	4,788	7,554	125.2%	

ตารางที่ ก.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
71	11.43	700	0.56	0.81	90.66%	1.024	5.100	8.840	4,978	8,629	121.0%	
72	11.45	698	0.56	0.81	90.98%	1.028						
73	10.90	968	0.71	0.73	82.45%	0.932	5.300	8.200	5,689	8,801	118.7%	
74	10.95	702	0.52	0.74	83.21%	0.940	4.450	6.050	4,733	6,435	125.2%	
75	11.48	700	0.57	0.81	91.46%	1.033						
76	11.43	700	0.56	0.81	90.66%	1.024	4.410	6.250	4,305	6,101	131.2%	
77	11.45	703	0.57	0.81	90.98%	1.028						
78	11.43	699	0.56	0.81	90.66%	1.024						
79	11.43	698	0.56	0.81	90.66%	1.024	5.425	8.355	5,295	8,155	123.3%	
80	11.03	700	0.52	0.75	84.35%	0.953	4.090	6.175	4,291	6,479	132.0%	
81	11.40	696	0.56	0.80	90.19%	1.019						
82												
83	11.38	700	0.56	0.80	89.87%	1.016	4.930	6.910	4,855	6,804	125.3%	
84	11.23	699	0.54	0.78	87.52%	0.989	4.795	6.680	4,849	6,755	130.2%	

ตารางที่ ก.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
85												
86	11.40	699	0.56	0.80	90.19%	1.019	6.475	7.525	6,354	7,384	125.5%	
87	11.65	700	0.59	0.84	94.18%	1.064	5.225	7.990	4,909	7,507	126.5%	
88	11.35	700	0.56	0.79	89.40%	1.010	5.940	6.645	5,880	6,578	126.0%	
89	11.48	696	0.57	0.81	91.46%	1.033	5.705	6.480	5,520	6,270	123.3%	
90	11.35	698	0.55	0.79	89.40%	1.010						
91	10.68	699	0.49	0.70	79.15%	0.894						
92	11.00	696	0.52	0.75	83.97%	0.949	3.980	5.825	4,195	6,139	132.5%	
93	11.68	697	0.59	0.84	94.67%	1.070	5.500	8.640	5,141	8,077	124.2%	
94	9.33	702	0.38	0.54	60.41%	0.683	2.310	3.350	3,384	4,908	133.3%	
95	11.50	698	0.57	0.81	91.77%	1.037	4.740	6.750	4,571	6,509	162.2%	
96	9.80	700	0.41	0.59	66.65%	0.753	5.185	7.815	6,885	10,377	75.3%	
97	11.10	699	0.53	0.76	85.50%	0.966	3.260	4.935	3,374	5,108	137.0%	
98	11.55	695	0.57	0.82	92.57%	1.046	5.025	7.355	4,804	7,031	129.5%	

ตารางที่ ก.5 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
99	11.45	703	0.57	0.81	90.98%	1.028	3.750	5.415	3,648	5,267	82.2%	
100	11.68	698	0.59	0.84	94.67%	1.070	4.780	7.435	4,468	6,950	143.5%	

ตารางที่ ก.6 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 ที่ไม่ทราบมวลต่อความยาว (ตัวอย่างบางส่วนที่ถูกดึงโดยไม่มีการบันทึกหมายเลข)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
1							6.490	7.390			244.0%	
2							4.755	6.715			258.7%	
3							6.280	7.185			239.7%	
4							6.455	8.150			236.7%	
5							2.328	3.590			258.8%	
6							2.400	3.620			259.2%	
7							7.155	7.835			229.0%	
8							4.770	6.695			260.7%	
9							2.395	3.625			250.8%	
10							2.390	3.625			260.2%	
11							5.265	8.250			238.7%	
12							2.710	3.645			256.7%	
13							5.650	8.330			237.8%	
14							3.090	4.055			260.0%	

ตารางที่ ก.6 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB12 ที่ไม่ทราบมวลต่อความยาว (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้น ผ่า ศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อ ความยาว kg/m	มวล เทียบกับ มอก. %	พื้นที่ หน้าตัด cm ²	Yeild Load ton	Ultimate Load ton	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ข้อ ข้อ
15							4.810	6.710			250.0%	
16							4.800	6.670			256.7%	
17							4.310	6.310			253.3%	
18							4.800	6.710			256.7%	
19							4.810	6.705			251.7%	
20							4.775	6.690			249.0%	
21							4.855	6.730			249.5%	
22							5.550	7.445			235.2%	
23							2.370	3.620			248.0%	
24							-	8.320			232.2%	
25							6.345	7.485			237.7%	
26							5.270	8.310			125.5%	
27							5.320	8.300			116.7%	

ตารางที่ ก.7 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB16 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load kg	Ultimate Load kg	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
15	15.48	703	1.04	1.48	93.58%	1.881	10.10	13.06	5,370	6,943	123.9%	SSS
16												
17	15.82	703	1.08	1.54	97.73%	1.964	10.48	13.25	5,335	6,745	120.0%	SSS
18	15.55	702	1.05	1.49	94.43%	1.898	10.09	12.89	5,316	6,791	122.9%	SSS
19												
20	15.55	693	1.03	1.49	94.43%	1.898	10.52	13.49	5,543	7,108	120.6%	SSS
21												
22	15.27	704	1.01	1.44	91.06%	1.830	6.01	8.94	3,284	4,885	133.4%	บลกท
23												
24	15.60	701	1.05	1.50	95.03%	1.910	10.32	13.22	5,403	6,921	119.8%	SSS
25	15.75	702	1.07	1.53	96.87%	1.947	11.78	13.19	6,050	6,774	118.1%	บลส
26	15.40	701	1.02	1.46	92.61%	1.862	11.49	12.95	6,172	6,957	121.5%	บลส
27	15.55	702	1.05	1.49	94.43%	1.898	10.74	16.41	5,659	8,646	119.8%	BSI
28	15.50	700	1.04	1.48	93.82%	1.886	11.76	13.26	6,236	7,032	120.3%	บลส

ตารางที่ ก.7 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB16 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load kg	Ultimate Load kg	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
29	15.53	702	1.04	1.49	94.18%	1.893	11.33	12.92	5,985	6,825	121.3%	บลส
30	14.80	701	0.95	1.35	85.54%	1.719	11.61	12.90	6,753	7,503	124.1%	บลส
31	15.20	703	1.00	1.42	90.22%	1.813	7.23	11.00	3,987	6,066	128.8%	-
32	15.20	702	1.00	1.42	90.22%	1.813	11.58	13.02	6,385	7,180	126.8%	-
33	15.65	702	1.06	1.51	95.64%	1.922	4.76	6.81	2,476	3,542	131.8%	SSS
34	15.33	701	1.02	1.45	91.77%	1.845	11.54	13.03	6,256	7,064	121.9%	บลส
35	14.95	701	0.97	1.38	87.28%	1.754	11.58	13.14	6,601	7,490	124.3%	บลส
36	15.05	703	0.98	1.40	88.45%	1.778	5.28	7.93	2,970	4,460	142.4%	PTS
37	14.93	701	0.96	1.37	87.05%	1.750	10.60	13.30	6,058	7,602	124.8%	บลส
38	15.10	702	0.99	1.41	89.04%	1.790						
39	13.13	702	0.75	1.06	67.32%	1.353	7.25	9.27	5,358	6,850	125.8%	SSS
40	12.68	700	0.69	0.99	62.79%	1.262		13.45	0	10,658	121.6%	BSI
41	15.05	700	0.98	1.40	88.45%	1.778	11.45	12.91	6,440	7,261	118.4%	บกส
42	15.03	700	0.97	1.39	88.22%	1.773	11.40	12.70	6,429	7,162	122.8%	บลส

ตารางที่ ก.7 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB16 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load kg	Ultimate Load kg	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
43	15.15	702	0.99	1.41	89.63%	1.802						
44	15.00	704	0.98	1.39	87.86%	1.766	8.93	13.70	5,056	7,757	126.6%	-
45	15.75	700	1.07	1.53	96.87%	1.947	11.63	13.15	5,973	6,754	120.9%	บลส
46	15.00	701	0.97	1.39	87.86%	1.766	11.63	13.09	6,585	7,412	120.6%	บกส
47	15.13	699	0.99	1.41	89.39%	1.797	11.49	13.02	6,395	7,246	124.1%	
48	14.90	703	0.96	1.37	86.70%	1.743	11.64	12.99	6,680	7,454	121.4%	บลส
49	15.10	700	0.98	1.41	89.04%	1.790	11.74	13.21	6,560	7,381	121.4%	บลส
50	15.00	701	0.97	1.39	87.86%	1.766	11.79	13.23	6,676	7,491	121.8%	บลส
51	15.60	701	1.05	1.50	95.03%	1.910						
52	15.50	701	1.04	1.48	93.82%	1.886	8.17	12.43	4,332	6,591	129.5%	BSI
53	15.50	700	1.04	1.48	93.82%	1.886	11.17	12.61	5,923	6,687	125.3%	บกส
54	15.00	700	0.97	1.39	87.86%	1.766		12.29		6,959	130.5%	BSBM
55	15.65	702	1.06	1.51	95.64%	1.922	11.49	14.46	5,977	7,522	117.8%	TSC
56	15.48	700	1.03	1.48	93.58%	1.881	7.34	12.28	3,902	6,529	130.9%	-

ตารางที่ ก.7 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB16 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load kg	Ultimate Load kg	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
57	15.25	700	1.00	1.43	90.82%	1.825	8.01	11.73	4,388	6,426	131.9%	NS
58	15.35	700	1.02	1.45	92.01%	1.849	7.61	11.30	4,115	6,110	131.3%	-
59	14.93	700	0.96	1.37	87.05%	1.750	11.67	13.13	6,670	7,504	126.3%	บลส
60	14.88	702	0.96	1.36	86.46%	1.738	11.44	12.99	6,583	7,474	115.6%	บลส
61	14.48	702	0.91	1.29	81.88%	1.646	5.67	8.01	3,445	4,867	133.1%	BSI
62	14.90	699	0.96	1.37	86.70%	1.743	11.63	13.12	6,674	7,529	124.9%	บลส
63	15.05	701	0.98	1.40	88.45%	1.778	11.77	13.27	6,620	7,464	115.4%	บลส
64	14.95	699	0.96	1.38	87.28%	1.754	11.45	12.80	6,527	7,296	119.8%	บลส
65	15.48	701	1.04	1.48	93.58%	1.881						
66	14.20	704	0.87	1.24	78.74%	1.583						
67	15.45	705	1.04	1.47	93.22%	1.874	10.48	13.15	5,593	7,018	116.6%	SSS
68	14.68	700	0.93	1.33	84.16%	1.692	7.91	8.29	4,676	4,901	124.4%	NBA
69	15.43	698	1.02	1.47	92.97%	1.869	11.60	13.85	6,207	7,411	120.9%	SSS
70	15.30	699	1.01	1.44	91.41%	1.837	9.06	13.80	4,931	7,510	119.8%	-

ตารางที่ ก.7 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB16 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load kg	Ultimate Load kg	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
71	15.00	699	0.97	1.39	87.86%	1.766	11.58	13.10	6,557	7,418	120.4%	NTS
72	15.35	699	1.01	1.45	92.01%	1.849	10.86	12.88	5,872	6,964	124.9%	บลทท
73	15.55	695	1.04	1.49	94.43%	1.898	8.09	11.95	4,262	6,296	127.0%	NS
74	15.18	702	1.00	1.42	89.99%	1.809						
75	15.30	700	1.01	1.44	91.41%	1.837	11.75	13.63	6,395	7,418	126.6%	บลทท
76	15.43	696	1.02	1.47	92.97%	1.869	10.98	14.11	5,875	7,550	118.4%	SSS
77	15.48	702	1.04	1.48	93.58%	1.881	10.06	13.13	5,348	6,981	114.8%	SSS
78	15.38	698	1.02	1.46	92.37%	1.857	10.83	13.70	5,833	7,379	121.0%	SSS
79	15.43	700	1.03	1.47	92.97%	1.869	11.43	14.06	6,116	7,524	121.5%	-
80	14.55	701	0.91	1.30	82.67%	1.662						
81	15.93	697	1.09	1.56	99.10%	1.992						
82	15.33	702	1.02	1.45	91.77%	1.845						
83	15.65	700	1.06	1.51	95.64%	1.922						
84	15.00	701	0.97	1.39	87.86%	1.766						

ตารางที่ ก.7 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB16 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load kg	Ultimate Load kg	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
85	14.93	697	0.96	1.37	87.05%	1.750						
86	15.10	698	0.98	1.41	89.04%	1.790						
87	15.40	699	1.02	1.46	92.61%	1.862						
88	15.30	700	1.01	1.44	91.41%	1.837						
89	13.18	698	0.75	1.07	67.84%	1.364						
90	15.53	698	1.04	1.49	94.18%	1.893						
91	15.20	699	1.00	1.42	90.22%	1.813						
92	15.08	695	0.97	1.40	88.80%	1.785						
93	15.68	699	1.06	1.52	96.01%	1.930						
94	13.23	700	0.76	1.08	68.35%	1.374						
95	15.00	697	0.97	1.39	87.86%	1.766						
96	14.59	700	0.92	1.31	83.13%	1.671						
97	15.33	700	1.01	1.45	91.77%	1.845						
98	14.10	696	0.85	1.23	77.64%	1.561						

ตารางที่ ก.7 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้นตัวอย่างขนาด DB16 (ต่อ)

ลำดับ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	มวล kg	มวลต่อความยาว kg/m	มวลเทียบกับมอก. %	พื้นที่หน้าตัด cm ²	Yeild Load kg	Ultimate Load kg	Yeild Stress kg/cm ²	Ultimate Stress kg/cm ²	Elongation %	ยี่ห้อ
99	15.10	699	0.98	1.41	89.04%	1.790						
100	15.05	697	0.97	1.40	88.45%	1.778						

ภาคผนวก ข

รายการคำนวณกำลังรับแรงดัดของชิ้นส่วนตัวอย่าง

ข.1. รายการคำนวณเพื่อหาค่าลึงการรับโมเมนต์ดัดของคานที่เสริมด้วยเหล็กเส้น DB12

$$f'_c \text{ เกลี่ยจากแท่งตัวอย่างคอนกรีต} = 261.61 \text{ ksc}$$

$$A_s \text{ ตามที่ระบุ มอก. 24-2548} = 4 \times 1.13 \text{ cm}^2, A'_s = 2 \times 1.13 \text{ cm}^2$$

$$f_y \text{ ตามที่ระบุ มอก. 24-2548 (SD-30)} = 3,000 \text{ ksc}$$

$$\text{ระยะนี้} = \max(\text{ระยะหุ้มของเหล็กเสริมตามยาว}, \text{ระยะหุ้มของเหล็กปลอก} + \text{ขนาดปลอก})$$

$$= \max(3.0, 3.0 + 0.6) = 3.6 \text{ cm (กรณีคานอยู่ในร่ม)}$$

$$d = 40 - (3.6 + 1.2 + \frac{2.5}{2}) = 33.95 \text{ cm}$$

$$d' = 3.6 + \frac{1.2}{2} = 4.2 \text{ cm}$$

$$(\rho - \rho') = \frac{A_s - A'_s}{bd} = \frac{(4 - 2) \times 1.13}{20 \times 33.95} = 3.328 \times 10^{-3}$$

$$\frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \left[\frac{6120}{6120 + f_y} \right] = \frac{0.85 \times 261.61 \times 0.85}{3,000} \left[\frac{6120}{6120 + 3,000} \right] = 4.228 \times 10^{-2}$$

$$\rho \leq \frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \left[\frac{6120}{6120 + f_y} \right] \Rightarrow \text{เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากก่อนคอนกรีตพัง}$$

$$\frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \left(\frac{d'}{d} \right) \left[\frac{6120}{6120 - f_y} \right] = \frac{0.85 \times 261.61 \times 0.85}{3,000} \left(\frac{4.2}{33.95} \right) \left[\frac{6120}{6120 - 3,000} \right] = 1.529 \times 10^{-2}$$

$$\rho < \frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \left(\frac{d'}{d} \right) \left[\frac{6120}{6120 - f_y} \right] \Rightarrow \text{เหล็กเสริมรับแรงอัดไม่ถึงจุดครากก่อนคอนกรีตพัง}$$

$$A_s f_y = 0.85 f'_c b \beta_1 c + A'_s E_s 0.003 \left(\frac{c - d'}{c} \right) (4 \times 1.13) \times 3,000 =$$

$$0.85 \times 261.61 \times 20 \times 0.85 c + (2 \times 1.13) \times (2.04 \times 10^6) \times 0.003 \times \left(\frac{c - 4.2}{c} \right)$$

$$\text{แก้สมการหาค่า } c = -3.57 \text{ cm}, 3.51 \text{ cm} \text{ ใช้ค่าบวก } c = 3.51 \text{ cm} < d' = 4.2 \text{ cm}$$

แสดงว่าเหล็กบนอยู่ในพื้นที่รับแรงดึง ดังนั้นจึงวิเคราะห์เหมือนหน้าตัดที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงอัด

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{(4 \times 1.13) \times 3,000}{0.85 \times 261.61 \times 20} = 3.05 \text{ cm}$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = (4 \times 1.13) \times 3,000 \times \left(33.95 - \frac{3.05}{2} \right) = 4397 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

ข.2. รายการคำนวณเพื่อหาค่าลึงการรับโมเมนต์ดัดของพื้นทางเดียวที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB6

$$f'_c \text{ เกลี่ยจากแท่งตัวอย่างคอนกรีต} = 259.83 \text{ ksc}$$

$$A_s \text{ ตามที่ระบุ มอก. 20-2548} = 5 \times 0.283 \text{ cm}^2$$

$$f_y \text{ ตามที่ระบุ มอก. 20-2543 (SR-24)} = 2,400 \text{ ksc}$$

$$d = 8 - \left(2 + \frac{0.6}{2}\right) = 5.70 \text{ cm}$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{(5 \times 0.238) \times 2,400}{0.85 \times 259.83 \times 50} = 0.308 \text{ cm}$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = (5 \times 0.283) \times 2,400 \times \left(5.7 - \frac{0.308}{2}\right) = 188 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

ข.3. รายการคำนวณเพื่อหาค่าลึงการรับโมเมนต์ดัดของพื้นทางเดียวที่เสริมด้วยเหล็กเส้น RB9

$$f'_c \text{ เกลี่ยจากแท่งตัวอย่างคอนกรีต} = 284.08 \text{ ksc}$$

$$A_s \text{ ตามที่ระบุ มอก. 20-2548} = 5 \times 0.636 \text{ cm}^2$$

$$f_y \text{ ตามที่ระบุ มอก. 20-2543 (SR-24)} = 2,400 \text{ ksc}$$

$$d = 8 - \left(2 + \frac{0.9}{2}\right) = 5.55 \text{ cm}$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{(5 \times 0.636) \times 2,400}{0.85 \times 284.08 \times 50} = 0.632 \text{ cm}$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = (5 \times 0.636) \times 2,400 \times \left(5.55 - \frac{0.632}{2}\right) = 399 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

อภิธานศัพท์

เหล็กเสริม	(Reinforcing steel)	=	เหล็กเส้นที่ใช้เสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อรับแรงดึงหรือแรงอัด
เหล็กเสริมกลม	(Rounded bars)	=	เหล็กเสริมคอนกรีต มีหน้าตัดค่อนข้างกลม
เหล็กเสริมข้ออ้อย	(Deformed bars)	=	เหล็กเสริมคอนกรีต มีหน้าตัดคล้ายวงรี และมีบั้ง
มวลต่อความยาว	(Weight per length)	=	อัตราส่วนของมวลของเหล็กเส้นที่ชั่งได้ (กก) ต่อความยาวของเหล็กเสริมนั้น (ม)
พื้นที่หน้าตัด	(Cross-sectional area)	=	อัตราส่วนของน้ำหนักต่อความยาว (กก/ม) ต่อความหนาแน่นของเหล็ก (กก/ม ³)
บั้ง	(Rib)	=	ส่วนยื่นรอบ ๆ เหล็กข้ออ้อย เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวเชิงกลระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม
หน่วยแรงคราก	(Yield stress)	=	ค่าหน่วยแรง (กก/ซม ²) ที่เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและการยืดตัวเริ่มมีการเปลี่ยนความชัน
หน่วยแรงประลัย	(Ultimate stress)	=	ค่าหน่วยแรง (กก/ซม ²) ณ จุดที่วัสดุรับแรงได้สูงสุดก่อนที่วัสดุจะพังหรือขาด
แรงที่จุดคราก	(Yield load)	=	ค่าแรง (กก) ที่เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและการยืดตัวเริ่มมีการเปลี่ยนความชัน
แรงที่จุดประลัย	(Ultimate load)	=	ค่าแรง (กก) ณ จุดที่วัสดุรับแรงได้สูงสุดก่อนที่วัสดุจะพังหรือขาด

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	ดร. นัทร สุจินดา
สถานที่เกิด	อำเภอยานาวา จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สถานที่ปัจจุบัน	61 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพ 10900
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2532	วศ.บ. จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2534	วศ.ม. จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2543	Ph.D. จาก Georgia Institute of Technology