



วิทยานิพนธ์

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับโมดูลัสแตกร้าวสำหรับงานผิวทางคอนกรีต

THE RELATIONSHIP BETWEEN ULTIMATE STRENGTH AND MODULUS
OF RUPTURE FOR CONCRETE PAVEMENT

นายธีรพงศ์ ปัญญาแก้ว

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับโมดูลัสแตกร้าวสำหรับงานผิวทางคอนกรีต

The Relationship between Ultimate Strength and Modulus of Rupture for Concrete Pavement

นามผู้วิจัย นายธำรงค์ ปัญญาแก้ว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์วัชรินทร์ วิทยกุล, M.Eng.)

กรรมการ

(อาจารย์เหม ใจศิริ, วศ.ม.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนิรัตน์ กุศลาศัย, Ph.D)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วรกร ไม้เรียง, Ph.D)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับโมดูลัสแตกร้าวสำหรับงานผิวทางคอนกรีต

The Relationship between Ultimate Strength and Modulus of Rupture for Concrete Pavement

โดย

นายธำรงค์ ปัญญาแก้ว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2550

ชำระค่า ปรากฏาแก้ 2550: ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับโมดูลัสแตกร้า
สำหรับงานผิวทางคอนกรีต ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ปรธานกรรมการที่ปรึกษา:
รองศาสตราจารย์วัชรินทร์ วิทยกุล, M.Eng. 73 หน้า

วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เพื่อพิจารณาค่าโมดูลัสแตกร้าของคอนกรีตสำหรับ
งานผิวทาง โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับโมดูลัสแตกร้า จากการทดสอบใน
ห้องปฏิบัติการ การทดสอบหาค่ากำลังอัดประลัยและโมดูลัสแตกร้าของคอนกรีตของแท่ง
คอนกรีตตัวอย่างทำการออกแบบสัดส่วนการผสมโดยวิธีของ ACI ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ประเภทที่หนึ่ง มวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำปิง มวลรวมหยาบหินม่ซึ่งเป็นหินปูนและกรวด
แม่น้ำ ที่มีขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว วัสดุที่ใช้มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ทำการ
หล่อคอนกรีตที่ใช้หินม่เป็นส่วนผสม แท่งตัวอย่างขนาด กว้าง15 ซม. ลึก 15 ซม. ยาว 76
ซม. จำนวน 45 ตัวอย่าง และหล่อแท่งตัวอย่างสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด กว้าง 15 ซม. ยาว 15 ซม.
หนา 15 ซม. จำนวน 45 ตัวอย่าง และทำเช่นเดียวกันสำหรับส่วนผสมที่ใช้กรวดแม่น้ำ เพื่อ
ทดสอบหาโมดูลัสแตกร้าโดยวิธี Third-point loading และหาลำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่
อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน นำผลที่ได้ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับโมดูลัส
แตกร้า จากการวิเคราะห์การถดถอย ส่วนผสมที่ใช้หินม่มีลักษณะเป็นสมการยกกำลัง
 $y = 0.7653x^{0.6987}$; ($R^2 = 0.9514$) และส่วนผสมที่ใช้กรวดแม่น้ำมีลักษณะเป็นสมการลอการิทึม
 $y = 27.339\ln(x) - 115.51$; ($R^2 = 0.9505$) เมื่อ x คือ กำลังอัดประลัย ที่อยู่ในช่วง 150 ถึง 450
กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ y คือ โมดูลัสแตกร้า มีหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
ดังนั้นจึงสามารถหาค่าโมดูลัสแตกร้าจากสมการดังกล่าวได้โดยการทดสอบหาลำลังอัดประลัย
ในคอนกรีตแท่งตัวอย่างสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

Thumrong Panyakaew 2007: The Relationship between Ultimate Strength and Modulus of Rupture for Concrete Pavement. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Watcharin Witayakul, M.Eng. 73 pages.

The objective of this study was to determine modulus of rupture of concrete pavement by using relationship between ultimate strength and modulus of rupture which was obtained from laboratory. The test for determining ultimate strength of concrete was specified in ACI method for mixing design. The materials used in this study were reached criteria of The Highway Department of Thailand. Portland cement type I, the Ping river sand. As fine aggregate, crushed limestone and round river gravel as coarse aggregate were mixed and tested, by using $\frac{3}{4}$ inch of coarse aggregate. The specimens were performed as 45 beam samples (size 15 cm x 15 cm x 76 cm) and 45 cube samples (size 15 cm x 15 cm x 15 cm). The cube samples were tested for ultimate strength and beam samples were tested for modulus of rupture by third-point loading at 1, 3, 7, 14 and 28 days of curing time. From regression analysis, the results showed well correlation between ultimate. Strength and modulus of rupture $y = 0.7653x^{0.6987}$; ($R^2 = 0.9514$) for crushed limestone and $y = 27.339 \ln(x) - 115.51$; ($R^2 = 0.9505$) for $\frac{3}{4}$ inch of round river gravel when x is ultimate strength in range of 150-450 ksc., and y is modulus of rupture, ksc. Therefore, the modulus of rupture could be calculated from the obtained equation by testing ultimate strength of cubic specimens.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วัชรินทร์ วิทยกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา อาจารย์เหม ใจวัศศิริ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก และผู้ช่วยศาสตราจารย์สุณีย์รัตน์ กุศลาศัย กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ที่ได้กรุณาช่วยเหลืองานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์บุญฤทธิ์ วีระสันติ ที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อ อุปกรณ์ เครื่องมือ พร้อมทั้งสถานที่ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัณฑิต เผ่าวัฒนา อาจารย์นิพนธ์ อ่อนหวาน ที่ได้ให้คำแนะนำ ขอขอบคุณ คุณเสกสิทธิ์ ณ หงษา เจ้าหน้าที่ผู้ชำนาญการประจำห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในการทดสอบตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้ คุณวรินทร์ สิงใส ที่ได้ช่วยเหลือการสืบค้นข้อมูลทางด้านสถิติ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นแรงบันดาลใจ คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ธารรงค์ ปัญญาแก้ว

กันยายน 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อ และคำอธิบายอักษรย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	17
อุปกรณ์	17
วิธีการ	17
ผลและวิจารณ์	27
ผล	27
วิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	46
สรุป	46
ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	48
ภาคผนวก	50
ภาคผนวก ก ผลการคำนวณและอื่นๆ	51
ภาคผนวก ข มาตรฐานการทดสอบ	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดแท่งลูกบาศก์คอนกรีตกับโมดูลัสแตกร้าว โดย Road Research Laboratory (1955)	11
2 ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง	15
3 จำนวนการเก็บตัวอย่าง และการทำซ้ำ ที่อายุคอนกรีตต่างๆ ที่จะทำการทดลอง	19
4 ผลสรุปจำนวนตัวอย่างคอนกรีต ที่ทำการทดลองทั้งหมด	19
5 ผลจากการคำนวณสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ผสมด้วยหินไม่	28
6 ผลจากการคำนวณสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ผสมด้วยกรวดแม่น้ำ	28
7 ผลทดลองของการผสมคอนกรีตที่ผสมด้วยหินไม่ ชุดที่ 1-3	29
8 ค่ากำลังอัดประลัยและโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตที่ผสมด้วยหินไม่ทั้ง 3 ชุด	30
9 ผลทดลองจากการผสมคอนกรีตที่ผสมด้วยกรวด ชุดที่ 1-3	35
10 ค่ากำลังอัดประลัยและโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตที่ผสมด้วยกรวดทั้ง 3 ชุด	36
ตารางผนวกที่	
ก1 ผลการทดสอบคุณสมบัติและเกณฑ์มาตรฐานสำหรับมวลรวมละเอียด	52
ก2 ผลการทดสอบคุณสมบัติและเกณฑ์มาตรฐานสำหรับมวลรวมหยาบหินไม่	53
ก3 ผลการทดสอบคุณสมบัติและเกณฑ์มาตรฐานสำหรับมวลรวมหยาบกรวดแม่น้ำ	54
ก4 ตารางการคำนวณค่าความเบี่ยงเบน ตามอายุคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบหินไม่	55
ก5 ตารางการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนตามอายุคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบกรวดแม่น้ำ	57

สารบัญภาพ

ตารางที่	หน้า
1 แสดงค่าโมดูลัสแตกร้าวที่ได้จากการทดสอบแต่ละวิธี	11
2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสแตกร้าว (MR) และกำลังประลัย ($f'c$) ของคอนกรีตที่ใช้ส่วนผสมจากหินและกรวด ชนิดต่างๆ โดย Road Research Laboratory (1955)	12
3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุ โมดูลัสแตกร้าว (MR) และปริมาณน้ำที่ใช้ในคอนกรีตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I และ III	13
4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังประลัย ($f'c$) และโมดูลัสแตกร้าว (MR) ของคอนกรีต โดย Portland Cement Association (1955)	14
5 อุปกรณ์การวิเคราะห์หาขนาดผลของมวลรวมหยาบกรวดแม่น้ำ	21
6 การวิเคราะห์หาขนาดผลของมวลรวมหยาบกรวดแม่น้ำ	21
7 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของทราย ก. การชั่งน้ำหนักที่ใช้เครื่องชั่งความละเอียดสูง 0.1 กรัม ข. การควบคุมอุณหภูมิขณะทดสอบที่ 20 องศาเซลเซียส	22
8 การผสมคอนกรีต ก. การวัดปริมาณน้ำด้วยการชั่ง ข. การผสมคอนกรีตด้วยไม้ผสม	22
9 การตรวจสอบความสามารถในการเทได้ ก. คอนกรีตสดที่ใช้มวลรวมหยาบหินไม่ ข. คอนกรีตสดที่ใช้มวลรวมหยาบกรวด	23
10 แบบหล่อสี่เหลี่ยมลูกบาศก์และแบบหล่อคานที่ใช้หล่อตัวอย่างคอนกรีต	23
11 ก. การแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบ ข. คอนกรีตที่แกะออกจากแบบหล่อแล้ว	24
12 ก. แท่งตัวอย่างลูกบาศก์ที่ป้อนในน้ำ และ ข. แท่งตัวอย่างคานที่นำไปป้อนน้ำ	24
13 ก. ตัวอย่างคอนกรีตที่ได้อายุตามกำหนดนำขึ้นจากน้ำและ ข. วัดระยะเตรียมนำไปทดสอบ	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
14 ก. การทดสอบหากล้างอัดประลัยของคอนกรีตแท่งตัวอย่างสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ข. ตัวอย่างที่ทดสอบหากล้างอัดประลัยเสร็จแล้ว	25
15 การทดสอบหาโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตแท่งตัวอย่างคาน	26
16 แท่งตัวอย่างคานคอนกรีตที่ทดสอบเสร็จแล้ว	26
17 แสดงผลการถอดอยสมการเชิงเส้น รูปแบบสมการเส้นตรง	32
18 แสดงผลการถอดอยสมการเชิงเส้น รูปแบบสมการลอการิทึม	32
19 แสดงผลการถอดอยสมการเชิงเส้น รูปแบบสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล	33
20 แสดงผลการถอดอยสมการเชิงเส้น รูปแบบสมการยกกำลัง	33
21 แสดงผลการถอดอยสมการเชิงเส้น รูปแบบสมการเส้นตรง	38
22 แสดงผลการถอดอยสมการเชิงเส้น รูปแบบสมการลอการิทึม	38
23 แสดงผลการถอดอยสมการเชิงเส้น รูปแบบสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล	39
24 แสดงผลการถอดอยสมการเชิงเส้น รูปแบบสมการยกกำลัง	39
25 แสดงเส้นความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังประลัย กับโมดูลัสแตกร้าว จากสมการ การถอดอย ของคอนกรีต ที่ใช้มวลรวมหยาบหินไม่ และที่ใช้มวลรวมหยาบ กรวด	41
26 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสมการถอดอยเชิงเส้นทั้งสามสมการ	44
27 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของสมการถอดอยเชิงเส้นทั้งสอง	45
 ภาพผนวกที่	
ก1 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดทรงลูกบาศก์กับกำลังอัด ทรงกระบอกมาตรฐาน	59

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่หน้าตัดรับแรง
σ	=	ความเค้นปกติ (ความเค้นดึงหรืออัด ณ หน้าตัดนั้นๆ)
S_b	=	ความเค้นดัดสูงสุด
I	=	โมเมนต์ของความเฉื่อย) ของพื้นที่หน้าตัดนั้น
Z	=	โมดูลัสของพื้นที่ และ $Z = I/c$
F, f'_c	=	กำลังอัดประลัย มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
MR	=	โมดูลัสแตกร้าว มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

คำอธิบายอักษรย่อ

AASHTO	=	American Association of State Highway and Transportation Officials
ACI	=	American Concrete Institute
ASTM	=	America Society for Testing and Materials
BS	=	British Standards
PCA	=	Portland Cement Association
WCR	=	Water cement ratio