

พฤติกรรมของแผ่นหลังคาอาร์ชบางรูปทรงกระบอกทำด้วยคอนกรีต เสริมใยแก้ว

นายศักดิ์ชัย สกานพงษ์



วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-662-2

008670

i 17432911

BEHAVIOUR OF A CIRCULAR THIN ARCH ROOF MADE OF
GLASS FIBRE REINFORCED CONCRETE

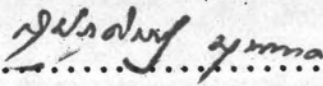
Mr. Sakchai Skanupong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์ พฤติกรรมของแผ่นหลังคาอาร์ชบางรูปทรงกระบอกทำด้วย
คอนกรีต เสริมใยแก้ว
โดย นายศักดิ์ชัย สกานพงษ์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี

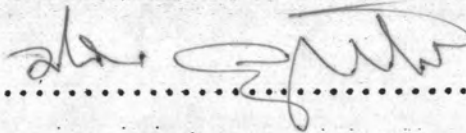
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

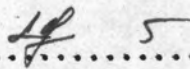
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประคิษฐ์ บุณนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



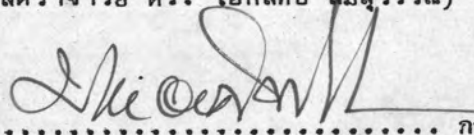
..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิณชาน ลักคุณะประสิทธิ์)



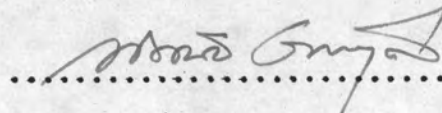
..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)



..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ มานะ วงศ์พิวัฒน์)



..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมของแผ่นหลังคาอาร์ชบางรูปทรงกระบอกทำด้วยคอนกรีตเสริมใยแก้ว
ชื่อ	นายศักดิ์ชัย สกานพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2526



บทคัดย่อ

ปัจจุบันในวงการก่อสร้างได้มีการนำวัสดุที่ค้นคิดขึ้นใหม่ ๆ มาใช้กันอย่างกว้างขวาง เพื่อให้เกิดความรวดเร็ว ประหยัดค่าก่อสร้างและให้ความสวยงาม คอนกรีตเสริมใยแก้วเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่จะสนองความต้องการสิ่งเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี เพราะเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง ทนทาน สามารถผลิตเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาช่วยลดน้ำหนักของโครงสร้างลงได้ อย่างไรก็ตามในวงการก่อสร้างเมืองไทยยังไม่ค่อยนิยมใช้วัสดุประเภทนี้มากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะยังไม่มี การค้นคว้าและศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตเสริมใยแก้วที่ใช้วัสดุที่ผลิตภายในประเทศกันอย่างจริงจัง ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาคุณสมบัติ การรับแรงอัด แรงดึง แล้วนำมาออกแบบก่อสร้างโครงสร้างหลังคาอาร์ชบางโค้งรูปทรงกระบอก เพื่อใช้ศึกษาหาพฤติกรรมต่าง ๆ ภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกแบบต่าง ๆ

การตรวจสอบกำลังของคอนกรีตเสริมใยแก้วซึ่งมีอัตราส่วนผสม ทราย:ซีเมนต์ = 1:3 น้ำ:ซีเมนต์ = 0.35 และใยแก้วยาว 3.5 ซม. ปริมาณ 5 % โดยน้ำหนักพบว่า การรับแรงอัด คอนกรีตเสริมใยแก้วจะเกิดการวิบัติในแนวระนาบที่ใยแก้วจัดเรียงตัวอยู่ โดยมีค่าเฉลี่ยหน่วยแรงอัดประลัย 342 กก/ซม² ส่วนในการรับแรงดึงของคอนกรีตเสริมใยแก้ว เนื้อคอนกรีต กับใยแก้วประสานกันดีเมื่อความเครียดไม่เกิน 0.00032 และเมื่อความเครียดเกินจากนี้เนื้อ คอนกรีตจะเกิดการแตกร้าวและแรงดึงทั้งหมดจะถูกถ่ายให้ใยแก้วรับจนถึงจุดวิบัติ โดยมีค่าเฉลี่ย หน่วยแรงดึงประลัย 75 กก/ซม² ส่วนโมดูลัสยืดหยุ่นในการทดลองแรงอัดและแรงดึงจะมีค่าใกล้เคียงกันมากคือ อยู่ระหว่าง 17×10^4 ถึง 25×10^4 กก/ซม²

การทดลองหาพฤติกรรมของแผ่นหลังคอาาร์ชบางโค้งรูปทรงกระบอก พบว่าในช่วง
อีลาสติก ความเครียดจะแปร เปลี่ยนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยแรงดัด การแปรเปลี่ยนของ
น้ำหนักบรรทุกและระยะโก่งก็จะมีลักษณะ เป็นเส้นตรง เช่นเดียวกัน ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง
น้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่งที่ได้จากการคำนวณจะต่างกับการทดลองประมาณ 6 % สำหรับในช่วง
เกินอีลาสติก เมื่อกำหนดให้การกระจายหน่วยแรงดัด เป็นไปตามทฤษฎีของ Allen พบว่า การ
คำนวณและการทดลองจะให้ลักษณะพฤติกรรมที่คล้ายกัน แต่การคำนวณจะให้ระยะโก่งตัวมาก
กว่าการทดลอง ส่วนค่าเฉลี่ยความเหนียวของอาร์ชมีค่าประมาณ 3.45 และอัตราส่วนระหว่าง
น้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติกับน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวมีค่าประมาณ 2.21

2

Thesis Title Behaviour of a Circular Thin Arch Made of
 Glass Fibre Reinforced Concrete

Name Mr. Sakchai Skanupong

Thesis Advisor Associate Professor Thaksin Thepchartri, Ph.D.

Department Civil Engineering

Academic Year 1983

ABSTRACT

Newly developed materials, nowadays, are widely used in building construction. The purposes are to speed up construction time, reduce cost and create aesthetics. Glass fibre reinforced concrete (G.R.C.) is one which can meet all these requirements. Higher strength, durability and lighter weight than ordinary concrete are its main favorable properties. Besides, the G.R.C. can easily be formed into various designed shapes. The G.R.C., however, is still not widely used in Thailand. This may be due to lack of research work to study the properties of G.R.C. made locally. This research, therefore, was to study the compression and tension properties of the local made G.R.C.. Then, circular thin arch roofs were built from G.R.C. and tested to study their behaviour under loadings.

Test results of G.R.C. specimens having proportions of sand: cement = 1:3, water cement ratio = 0.35, and 5 % by weight of glass fibre, 3.5 cm. in length, are as follows:

In compressive tests, failure occurred in the plane of orientation of the fibre with the average ultimate compressive strength of 342 kg/cm^2 . In tensile tests, within the elastic range, concrete and glass fibre

carried tensile load together. Cracks were formed when tensile strain reached the value of 0.00032, thereafter glass fibre alone carried the load up to failure with the average tensile strength of 75 kg/cm^2 . Modulus of elasticity was about the same in tension and compression with the average value in the range of 17×10^4 to $25 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$.

Tests of circular thin arch roofs showed that strain varied linearly with flexural stress in the elastic range. Linearity was also observed in the load and deflection relation. In this range, load-deflection curves obtained theoretically deviated from the experimental curves with a maximum discrepancy of 6 percent. In the plastic range, load-deflection curves, computed by using the stress distribution proposed by Allen yielded satisfactory result. Ductility was found to be in the range of 3.45. The ratio of ultimate load to cracking load, on the other hand, was 2.21.

กิติกรรมประกาศ

ในการเขียนวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นผู้ควบคุมการวิจัยและได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำตรวจสอบ แก้ไขวิทยานิพนธ์จนจบ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, รองศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, รองศาสตราจารย์ มานะ วงศ์ทิวัฒน์ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาในการทำการทดลองจนสำเร็จเรียบร้อย



ศักดิ์ชัย สกานพงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ณ
รายการตารางประกอบ	ฉ
รายการรูปประกอบ	ฉ
สัญลักษณ์	ด
นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในภาษาเทคนิค	ค
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของคอนกรีตเสริมใยแก้ว	1
1.2 งานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	6
2. ทฤษฎี	7
2.1 สมมุติฐานเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์คอนกรีตเสริมใยแก้ว ..	7
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับคอนกรีตเสริมใยแก้ว	7
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับอาร์ช	9
3. การจัดเตรียมตัวอย่าง กรรมวิธีการทดลองและผลการทดลองหา	
พฤติกรรมของคอนกรีตเสริมใยแก้ว	16
3.1 การจัดเตรียมตัวอย่าง	16
3.2 กรรมวิธีการทดลองหาพฤติกรรมของคอนกรีตเสริมใยแก้ว	18



บทที่	หน้า
3.3 ผลการทดลองหาพฤติกรรมของคอนกรีตเสริมใยแก้ว	20
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง	30
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับความเคียด	30
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเคียด	30
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงคดกับความเคียด	31
4.4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะโก่งโดยอาศัย ผลการวัดความเคียดที่ผิว	32
4.5 การหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะโก่งโดยอาศัย ทฤษฎี	33
4.6 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับระยะโก่ง	33
4.7 ความเหนียวของอาร์ชบางโค้งรูปทรงกระบอก	34
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการวิจัย	55
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยขั้นต่อไป	55
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	59
ประวัติ	74

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
1. การทดลองหาหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต เสริมใยแก้ว ...	35
2. การทดลองหาหน่วยแรงดึงประลัยของคอนกรีต เสริมใยแก้ว ...	36
3. การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก หน่วยแรงค้ำ และความเครียดของตัวอย่าง R-1	37
4. การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก หน่วยแรงค้ำ และความเครียดของตัวอย่าง R-2	38
5. การเปรียบเทียบระยะโก่งในแนวตั้งตรงจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ โดยทฤษฎีกับการทดลองในช่วงอีลาสติกของตัวอย่าง R-1 ...	39
6. การเปรียบเทียบระยะโก่งในแนวตั้งตรงจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ โดยทฤษฎีกับการทดลองในช่วงอีลาสติกของตัวอย่าง R-2 ...	39
7. การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่ง โดยอาศัยผลการทดลองในการวัดความเครียดกรณีตัวอย่างหนา 1.38 ซม.	40
8. การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่ง โดยอาศัยผลการทดลองในการวัดความเครียดกรณีตัวอย่างหนา 1.80 ซม.	41
9. การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่ง ในช่วงอินอีลาสติกโดยอาศัยทฤษฎีกรณีตัวอย่างหนา 1.32 ซม. ..	42
10. การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่ง ในช่วงอินอีลาสติกโดยอาศัยทฤษฎีกรณีตัวอย่างหนา 1.80 ซม.	43

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน	4
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะการเคลื่อนตัว	7
2.2 แสดงลักษณะการกระจายของหน่วยแรงคัตและความเครียดของคาน เมื่อได้รับแรงคัต	8
2.3 แสดงลักษณะหน่วยแรงคัตในช่วงอีลาสติก	8
2.4 แสดงหน่วยแรงคัตในช่วงอินอีลาสติก	8
2.5 แสดงการหาแรงปฏิกิริยาตามแนวนอนที่เกิดขึ้นที่ฐานของอาร์ชโค้ง ..	10
2.6 แสดงการเกิดแรงปฏิกิริยาภายในของส่วนต่าง ๆ ของอาร์ชโค้ง ..	10
2.7 แสดงการหาระยะการเคลื่อนที่ของฐานเมื่อมีแรง 1 หน่วยกระทำ ..	11
2.8 แสดงการเกิดแรงปฏิกิริยาภายในของอาร์ชโค้ง	13
3.1 เครื่องพ่นคอนกรีตเสริมใยแก้ว	22
3.2 ขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตคอนกรีตเสริมใยแก้ว	23
3.3 การพ่นคอนกรีตเสริมใยแก้วลงบนต้นแบบ	24
3.4 การบดอัดคอนกรีตเสริมใยแก้วด้วยลูกกลิ้ง	24
3.5 แสดงการตัดตัวอย่างที่จะทำการทดลองแรงอัด	25
3.6 แสดงตัวอย่างสำหรับทดลองแรงดึง	26
3.7 แสดงตัวอย่างแผ่นหลังคาอาร์ชบางโค้งรูปทรงกระบอก	26
3.8 การติดตั้งแผ่นหลังคาอาร์ชบางโค้งรูปทรงกระบอกเพื่อทดลอง ...	27
3.9 แสดงฐานยึดลักษณะจุดหมุน	27
3.10 แสดงการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกในการทดลองแผ่นหลังคาอาร์ชบางโค้ง รูปทรงกระบอก	28
3.11 แสดงการพิบัติของการทดลองแรงอัด	28

รูปที่

3.12	แสดงลักษณะการวิบัติของการทดลองแรงดึง	29
3.13	แสดงลักษณะการวิบัติของการทดลองแผ่นหลังคาอาร์ชบางโค้งรูป รูปทรงกระบอก	29
4.1	แสดงการขาดและการหลุดของใยแก้วบริเวณที่เนื้อคอนกรีตแตกร้าว ออกจากกัน	31
4.2ก	การทดลองแรงอัดคอนกรีตเสริมใยแก้ว	44
4.2ข	การทดลองแรงอัดของคอนกรีตเสริมใยแก้ว	45
4.3ก	การทดลองแรงดึงคอนกรีตเสริมใยแก้ว	46
4.3ข	การทดลองแรงดึงคอนกรีตเสริมใยแก้ว	47
4.4ก	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดที่ผิวบนและผิวล่าง ตรงจุดกึ่งกลางของโครงหลังคา R1	48
4.4ข	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่งตรงจุดกึ่งกลางของ โครงหลังคา R1	49
4.5ก	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดที่ผิวบนและผิวล่าง ตรงจุดกึ่งกลางของโครงหลังคา R2	50
4.5ข	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่งที่จุดกึ่งกลางของ โครงหลังคา R2	51
4.6ก	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดที่ผิวบนและผิวล่าง ของโครงหลังคา R3 ตรงจุด a	52
4.6ข	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่งที่จุดกึ่งกลางของ โครงหลังคา R3	53
4.6ค	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่งของโครงหลังคา R3 ตรงจุด b	54
1 พ	แสดงรูปคอนกรีตเสริมใยแก้วที่ถูกแรงดึงกระทำ	60

รูปที่

2 ผ	แสดงรูปการวิเคราะห์โครงหลังคา	62
3 ผ	แสดงความเครียดและหน่วยแรงค้ำในช่วงอีลาสติก	66
4 ผ	แสดงความเครียดและหน่วยแรงค้ำในช่วงอินอีลาสติก	68

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่หน้าตัดของ เนื้อคอนกรีต เสริม โย แก้ว
b	=	ความกว้างของแผ่นหลังคาโค้งรูปทรงกระบอก
C	=	แรงอัด
d	=	ความหนาของแผ่นหลังคาโค้งรูปทรงกระบอก
dn	=	ความหนาของคอนกรีต เสริม โย แก้ว ส่วนที่รับแรงอัด
E	=	โมดูลัสของการยืดหยุ่น
H	=	แรงปฏิกิริยาในแนวราบ
h	=	ความสูงของแผ่นหลังคาโค้งรูปทรงกระบอก
I	=	โมเมนต์อินเนอร์เซีย
I_{cr}	=	โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัด เมื่อ เกิดการแตกร้าว
I_e	=	โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิผล
I_g	=	โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมดก่อนแตกร้าว
M_{cr}	=	โมเมนต์คัตของหน้าตัดที่ยังไม่แตกร้าว
M_{max}	=	โมเมนต์คัต
m	=	โมเมนต์คัต เนื่องจากแรงหนึ่งหน่วยกระทำที่ฐาน
O	=	จุดศูนย์กลางของความโค้ง
P	=	น้ำหนักบรรทุก
R	=	แรงปฏิกิริยาในแนวตั้ง
r	=	รัศมีความโค้ง
T	=	แรงดึง
T_ϕ	=	แรงในแนวแกน
t	=	แรงในแนวแกน เนื่องจากแรงหนึ่งหน่วย
u_1	=	การเคลื่อนตัวตามแนวราบ เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก
u_2	=	การเคลื่อนตัวตามแนวราบ เนื่องจากแรงปฏิกิริยาในแนวนอน
v	=	แรงเฉือน เนื่องจากแรงหนึ่งหน่วย
V	=	ปริมาตร

w	=	น้ำหนักบรรทุกทุกกระจายสม่ำเสมอ
x	=	ระยะแปรตามแนวราบ
y	=	ระยะแปรตามแนวราบ
z	=	ระยะแปรตามแนวตั้ง
σ_c	=	หน่วยแรงอัดของคอนกรีต เสริมใยแก้ว
σ_t	=	หน่วยแรงดึงของคอนกรีต เสริมใยแก้ว
σ_{cu}	=	หน่วยแรงดึงที่ใยแก้วรับ
Δ	=	จำนวนที่เปลี่ยนแปลง
ϵ	=	ความเครียด
l	=	ความยาวของใยแก้วที่ใช้
l_c	=	ความยาวสูงสุดของใยแก้วที่เกิดการขาด

นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในภาษาเทคนิค

คอนกรีตเสริมใยแก้ว	Glass Fibre Reinforced Concrete
การโก่งตัว ระยะโก่ง	Deflection
การเคลื่อนตัว ระยะเคลื่อนที่	Displacement
การวิบัติ	Failure
การวิเคราะห์	Analysis
เกจวัดความเครียด	Strain Gage
เกจวัดระยะโก่ง	Dial Gage
เครื่องอ่าน เกจวัดความเครียด	Strain Indicator
แกน	Axis
แกนสะเทิน	Neutral Axis
ความเค้น หน่วยแรง	Stress
ความเครียด	Strain
ค่าเพื่อความปลอดภัย	Factor of Safety
แตกร้าว	Crack
น้ำหนักบรรทุก	Load
น้ำหนักบรรทุกจร	Live Load
น้ำหนักบรรทุกคงที่	Dead Load
น้ำหนักบรรทุกใช้งาน	Service Load, Allowable Load
น้ำหนักบรรทุกประลัย	Ultimate Load
พิกัดการโก่ง	Allowable Deflection
โมดูลัสยืดหยุ่น	Modulus of Elasticity
โมเมนต์ โมเมนต์ดัด	Moment
โมเมนต์อินเนอร์เซีย	Moment of Inertia
โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิผล	Effective Moment of Inertia
ระยะช่วงฐานรองรับ	Span

หน่วยแรงดึง	Tensile Stress
หน่วยแรงอัด	Compressive Stress
หน่วยแรงเฉือน	Shear Stress
รัศมีความโค้ง	Radius of Curvature
โค้งทรงกระบอก	Cylindrical Arch
การพ่น การฉีด	Spray